

# CARACTERIZAÇÃO DO FATOR CAPACIDADE DE FÓSFORO EM SOLOS DE ENTRE RÍOS, ARGENTINA<sup>(1)</sup>

N. G. BOSCHETTI A.<sup>(2)</sup>, C. E. QUINTERO G.<sup>(2)</sup> & R. A. BENAVIDEZ Q.<sup>(2)</sup>

## RESUMO

Trinta amostras de solos foram selecionadas com o objetivo de caracterizar o Fator Capacidade de Fósforo (FCP) e sua relação com propriedades de solos de Entre Ríos, Argentina. Foram estimadas isotermas de adsorção e realizado um teste rápido de adsorção de P, denominado P-remanescente. As equações de Freundlich e Langmuir descreveram adequadamente o fenômeno de adsorção de P. A capacidade máxima de adsorção variou de 46 a 716 mg kg<sup>-1</sup> de P no solo, apresentando os solos analisados de muito baixo a médio FCP. A capacidade de adsorção de P aumentou com a quantidade de argila e não foi afetada pelo teor de carbono orgânico do solo. O P-remanescente permitiu caracterizar os solos em relação ao fator capacidade e estimar sua capacidade máxima de adsorção de P.

**Termos de indexação:** fósforo, fator capacidade, argila, isotermas de adsorção, P-remanescente, carbono orgânico.

## SUMMARY: CHARACTERIZATION OF THE CAPACITY FACTOR OF PHOSPHORUS IN SOILS OF ENTRE RÍOS, ARGENTINA

*Samples of 30 soils were taken with the objective of characterizing the Capacity Factor of Phosphorus (CFP) and its relation with several properties of soils of Entre Ríos, Argentina. Isotherms of adsorption and a quick test of P adsorption were estimated. Langmuir and Freundlich equations described the adsorption phenomenon satisfactorily. The maximum adsorption capacity varied between 46 and 716 mg kg<sup>-1</sup> of P in the soil, considering that the soils analyzed have from medium to low CFP. The adsorption capacity of P increased with clay content and wasn't affected by the soil's organic carbon concentration. The quick adsorption test permitted the characterization of the buffer capacity of soils and the estimate of its maximum adsorption capacity of P.*

*Index terms: phosphorus, buffer capacity, clay, isotherms of adsorption, remaining-P, organic carbon.*

<sup>(1)</sup> Trabalho apresentado no XXV Congresso Brasileiro de Ciência do Solo. Recebido para publicação em março de 1996 e aprovado em janeiro de 1998.

<sup>(2)</sup> Professor do Departamento de Ciência da Terra, Universidade Nacional de Entre Ríos. Faculdade de Ciências Agropecuárias. CC24 Paraná ER (3100), Argentina. <ediaz@unl.edu.ar>.

## INTRODUÇÃO

A capacidade dos solos em adsorver P influencia, marcadamente, a resposta das plantas à aplicação de fertilizantes e à calibração do P disponível do solo. Portanto, o conhecimento da capacidade tampão ou fator capacidade de P do solo ou de alguma propriedade do solo a ele correlacionada poderia melhorar a interpretação de análises dos solos e a estimativa do requerimento de fósforo para os cultivos (Freire et al., 1979; Cajuste et al., 1992; Moughli et al., 1993; Ron et al., 1995).

Para determinar a capacidade de adsorção de P dos solos, duas aproximações têm sido, normalmente, utilizadas. Frequentemente, equilibram-se amostras de solo com soluções diluídas de fosfato, determinando-se a quantidade de P adsorvida (Olsen & Watanabe, 1957; Ozanne & Shaw, 1968). Isotermas de adsorção são ajustadas aos resultados obtidos desse equilíbrio. Dadas as dificuldades desse procedimento, estimativas mais simples têm sido propostas, com o objetivo de serem adotadas nos laboratórios de rotina (Alvarez V., 1982; Muniz et al., 1985). Para a segunda alternativa, identificam-se propriedades de solo que têm mostrado estreita relação com a capacidade de adsorção de P dos solos. Tais propriedades podem incluir a textura, pH, C orgânico, Fe e Al reativos, etc (López Camelo & Heredia, 1989; Dear et al., 1992).

Na Argentina, foram realizadas determinações do fator capacidade de P em regiões do Pampa Úmido (López Camelo & Heredia, 1989) do Pampa Central (Buschiazzo et al., 1990) e outras, a nível nacional, incluindo alguns solos de Entre Ríos (Bolaño, 1984; López Camelo et al., 1984, Mendoza, 1986).

O objetivo deste trabalho foi caracterizar o fator capacidade de P de diferentes solos do Estado de Entre Ríos, Argentina, bem como avaliar sua relação com algumas propriedades desses solos.

## MATERIAL E MÉTODOS

### Solos e propriedades avaliadas

Foram coletadas 27 amostras superficiais e três subsuperficiais de solos do Estado de Entre Ríos, que representam os mais importantes tipos de solos da região (sete Molisols, nove Vertisols, sete Alfisols, três Entisols, um Inceptisol e três de horizontes B textural de Vertisols). As amostras foram secas ao ar e passadas por peneira de 1 mm. As principais propriedades físicas e químicas dos solos encontram-se no quadro 1.

**Quadro 1. Classificação, propriedades físicas e químicas e resultados dos índices que refletem o fator capacidade de P dos solos estudados**

Solo	Classificação <sup>(1)</sup>	Ar	Silte	Argila	CO	pH	P	Xm	K	CRF	a	CTM	PR
		g kg <sup>-1</sup>					mg kg <sup>-1</sup>		L mg <sup>-1</sup>	mg kg <sup>-1</sup>	L kg <sup>-1</sup>		mg L <sup>-1</sup>
1	Quartzipsamment	988	2	10	1,3	5,5	9,8	143	0,137	3,2	54	257	54,5
2	Udifluent	929	36	35	3,2	6,2	7,1	88	0,167	1,3	15	41	59,8
3	Udipsamment	925	51	25	7,4	6,4	11,1	46	0,758	1,6	20	79	58,4
4	Haplumbrept	908	52	40	6,8	6,0	4,9	117	0,135	1,9	22	56	56,2
5	Argiudoll	314	441	244	19,8	6,2	5,8	321	0,169	5,7	70	142	44,0
6	Argiaquoll	381	318	301	28,9	5,8	3,1	340	0,251	7,6	94	288	38,9
7	Argiudoll	629	158	213	21,0	6,0	3,2	195	0,503	5,2	66	207	47,0
8	Argiudoll	200	525	275	27,6	6,4	42,0	244	0,136	4,0	46	56	48,5
9	Argiudoll	160	597	243	20,5	6,7	36,7	255	0,136	4,4	51	102	48,1
10	Hapludoll	816	94	90	12,9	5,9	2,5	201	0,137	3,8	48	124	48,8
11	Argiudoll	241	521	238	24,6	7,9	53,8	261	0,078	3,1	31	31	48,7
12	Ochraqualf	166	571	263	17,6	7,4	2,5	313	0,112	5,4	68	156	46,5
13	Ochraqualf	176	502	321	15,3	7,0	5,6	267	0,161	5,1	62	134	45,5
14	Ochraqualf	152	505	343	25,3	6,7	2,8	333	0,252	7,3	93	301	40,5
15	Ochraqualf	121	511	298	16,7	6,6	6,5	217	0,672	6,4	80	284	48,4
16	Natraqualf	132	601	267	30,6	7,3	4,2	321	0,169	6,0	72	145	43,8
17	Ochraqualf	100	594	306	17,3	6,4	1,9	277	0,220	6,0	76	193	43,6
18	Ochraqualf	156	503	341	17,8	6,3	2,5	294	0,237	8,5	85	284	42,3
19	Pelludert	235	408	357	37,4	6,4	5,3	320	0,231	6,7	81	189	43,0
20	Pelludert	84	625	291	33,8	6,4	4,0	278	0,204	5,5	66	214	44,6
21	Pelludert	188	496	315	16,7	8,0	3,7	298	0,118	3,9	42	238	42,1
22	Pelludert	204	510	285	23,4	7,1	5,0	305	0,189	8,1	73	144	43,0
23	Pelludert	441	237	322	25,9	6,0	2,9	485	0,111	9,0	115	534	33,6
24	Pelludert	470	240	290	23,8	6,6	3,9	370	0,995	11,1	16	1.211	42,9
25	Pelludert	96	592	312	25,5	6,1	3,8	295	0,178	6,0	78	236	42,2
26	Pelludert	197	560	242	39,2	6,3	5,3	261	0,213	4,5	51	65	52,8
27	Pelludert	246	428	326	28,7	6,6	7,2	304	0,256	6,7	82	182	39,6
28	Chromudert (Bt)	188	451	361	9,1	7,2	5,9	581	0,117	10,3	130	587	30,0
29	Pelludert (Bt)	228	368	228	16,0	7,1	4,4	421	0,192	8,6	107	344	32,8
30	Chromudert (Bt)	247	337	415	8,5	8,7	2,5	716	0,117	11,6	126	350	21,7

<sup>(1)</sup>Soil Taxonomy. Ar: Areia. CO: Carbono orgânico, Walkley-Black. pH em água, relação 1:2,5. P: Fósforo disponível, Bray-Kurtz 1. Xm: Capacidade máxima de adsorção de P. K: Constante relacionada com a energia de adsorção de P. a: Constante de Freundlich. CRF: Capacidade reguladora de fósforo. CTM: Capacidade tampão máxima calculada com os valores de Xm e K da primeira região. PR: Fósforo remanescente.

**Índices do fator capacidade de fósforo (FCP)**

- Índice de ponto único ou teste rápido: foi realizada a determinação de fósforo-remanescente (PR), que expressa a concentração de P na solução de equilíbrio depois de agitar uma solução de 60 mg L<sup>-1</sup> de P em CaCl<sub>2</sub> 0,01 mol L<sup>-1</sup>, por uma hora, em uma relação de solo solução 1:10, a 21°C (Alvarez V., 1982).

- Isotermas de adsorção: foi utilizada uma relação solo-solução de 1:10, agitação vertical por 24 horas, à temperatura de 21°C. Como fonte de P, utilizou-se KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub> em uma solução de CaCl<sub>2</sub> 0,01 mol L<sup>-1</sup>, com duas gotas de tolueno. Para selecionar as doses aplicadas, foram levadas em conta as sugestões de Alvarez V. & Fonseca (1990) e testes preliminares. Os solos foram classificados em quatro grupos em função de seu PR; foram utilizadas onze doses de P (Quadro 2).

Para descrever o fenômeno de adsorção de P, ajustou-se a equação de Langmuir (Equação 1) (Olsen & Watanabe, 1957), estimando-se suas constantes correspondentes à segunda região de adsorção, em que se cumprem as pressuposições para o uso adequado dessa isoterma (Alvarez V., 1982; Quintero et al., 1996). Ajustou-se, também, a equação de Freundlich (Equação 2).

$$q = \frac{KXmC}{1 + KC} \tag{1}$$

$$q = aC^b \tag{2}$$

em que

q = Fósforo adsorvido (mg kg<sup>-1</sup> de P no solo). C = Concentração da solução de equilíbrio (mg L<sup>-1</sup> de P em solução). K = Constante relacionada com a energia de adsorção de fósforo (L mg<sup>-1</sup>). Xm = Capacidade máxima de adsorção de fósforo (mg kg<sup>-1</sup> de P no solo). a e b: Constantes de Freundlich.

Utilizaram-se como índices do fator capacidade as constantes K e Xm de Langmuir e a de Freundlich. Além disso, foi estimada a Capacidade Tampão Máxima (CTM) como a declividade máxima da isoterma de Langmuir, quando a concentração da solução de equilíbrio tende a zero (Holford & Mattingly, 1976). Foi também calculada a Capacidade Reguladora de Fosfatos (CRF), definida como a

**Quadro 2. Doses de fósforo adicionadas aos diferentes grupos de solos, de acordo com o P-remanescente (PR), para determinação das isotermas de adsorção**

PR	Doses de P										
	mg L <sup>-1</sup>										
< 30	0	5,0	9,0	15	24	36	50	60	70	80	100
30-45	0	5,0	9,0	15	20	30	40	50	60	70	80
45-55	0	3,5	7,0	9	15	20	24	30	40	50	60
> 55	0	2,0	3,5	5	7	9	12	15	20	24	30

quantidade de P adsorvido pelo solo quando a concentração de equilíbrio aumenta de 0,25 para 0,35 mg L<sup>-1</sup> de P (Ozanne & Shaw, 1968).

**RESULTADOS E DISCUSSÃO**

**Caracterização do fator capacidade de fósforo**

Tanto para a equação de Langmuir como para a de Freundlich, conseguiram-se ajustes satisfatórios, com valores de R<sup>2</sup> acima de 0,94, o que indica a adequada descrição do fenômeno de adsorção de P pelos solos. Em todos os solos, observaram-se as três regiões de adsorção da forma linear de Langmuir, propostas por Muljadi et al. (1966). Os resultados obtidos para os distintos solos são apresentados no quadro 1.

Os valores de Xm encontrados para Molisols, Vertisols e Alfisols são superiores aos apresentados por López Camelo et al. (1984); Mendoza (1986); López Camelo & Heredia (1989) e Buschiazzo et al. (1990). Possivelmente, esses autores utilizaram concentrações de fósforo menores e estimaram essa constante a partir da primeira região de adsorção, onde Xm é menor (Alvarez, V., 1982; Quintero et al., 1996). No caso dos Entisols e Inceptisols, os valores observados são similares aos encontrados por López Camelo et al. (1984) mas inferiores aos propostos por Buschiazzo et al. (1990), provavelmente em virtude da utilização de materiais derivados de cinzas vulcânicas por esses autores.

A equação de Freundlich comportou-se satisfatoriamente em todas as amplitudes de concentrações de P utilizadas. Apesar de ser uma isoterma empírica, sua constante a correlacionou-se significativamente com o valor de Xm dos solos estudados. Todos os índices estimados (PR, Xm, a, CRF, CTM) correlacionaram-se significativamente entre si (Quadro 3).

Em trabalhos com Latossolos, tem-se observado que o PR apresenta estreita correlação com Xm, sendo, portanto, um bom indicador do fator capacidade de P do solo, por expressar a natureza e a extensão da superfície adsorvente de P e ser de fácil determinação em laboratório (Silva, 1990). A análise conjunta de valores de PR e Xm de Latossolos do Brasil (Alvarez V., & Fonseca, 1990; Silva & Braga, 1993) e de Andosols do México (Alvarez V., 1982), bem como os obtidos neste trabalho, mostra excelente ajuste (Figura 1). Isto reafirma a sensibilidade do PR como medida do fator capacidade de P do solo, mesmo quando solos tão diferentes são utilizados. A partir de medidas de PR desses solos, foi possível caracterizá-los quanto a essa medida do fator capacidade de P (Quadro 4).

Os horizontes superficiais dos solos argentinos analisados pertencem às classes baixa e muito baixa de fator capacidade, indicando não haver sérios problemas de adsorção e de fixação de P e que doses de P requeridas para obter elevada produção vegetal são relativamente baixas. As amostras dos horizontes Bt apresentam poder de adsorção médio que alcança

**Quadro 3. Coeficientes de correlação linear simples entre propriedades dos solos e constantes das equações de Langmuir e de Freundlich**

Variável	pH	P	Argila	PR	Xm	K	a	CRF	CTM
CO	-0,02	0,09	0,51**	-0,17	0,17	-0,01	0,18	0,22	0,01
pH		0,22	0,49**	-0,51**	0,58**	-0,15	0,27	0,38*	0,06
P			-0,11	0,25	-0,18	-0,19	-0,39*	-0,35*	-0,30
Argila				-0,84**	0,79**	-0,09	0,73**	0,80**	0,36*
PR					-0,96**	0,17	-0,84**	-0,91**	-0,47**
<b>Xm</b>						-0,22	0,82**	0,89**	0,50**
<b>K</b>							0,24	0,15	0,52**
<b>a</b>								0,98**	0,85**
CRF									0,76**

CO: Carbono orgânico. pH em água. P: Fósforo disponível. **Xm**: Capacidade Máxima de Adsorção de P. **K**: Constante Relacionada com a Energia de Adsorção de P. **a**: Constante de Freundlich. CRF: Capacidade Reguladora de Fósforo. CTM: Capacidade Tampão Máxima. PR: Fósforo remanescente.

\* p < 0,05; \*\* p < 0,01.

**Quadro 4. Classes de solos quanto ao fator capacidade de P estimado a partir do P-remanescente (PR)**

PR	Capacidade de adsorção de P	Xm
mg L <sup>-1</sup>		mg kg <sup>-1</sup>
0-10	Muito Alta	> 1.100
10-20	Alta	1.100-700
20-30	Média	700-500
30-45	Baixa	500-300
45-60	Muito baixa	< 300

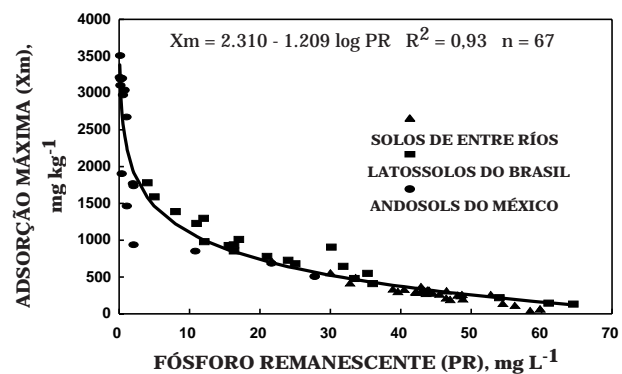
Xm: Capacidade Máxima de Adsorção de P.

um valor de **Xm** de 716 mg kg<sup>-1</sup>, que demonstra que problemas de fixação de P poderão aumentar nos solos erodidos.

#### Relação de FCP com propriedades dos solos

Como outros autores têm observado (Bolaño, 1984; López Camelo et al., 1984; Mendoza, 1986; López Camelo & Heredia, 1989; Silva, 1990; Singh & Gilkes, 1991; Moughli et al., 1993), a quantidade de argila é a principal responsável pela variação do fator capacidade de P dos solos. Esta propriedade correlaciona-se significativamente com todos os índices avaliados, à exceção da energia de adsorção (Quadro 3). Entretanto, deve-se levar em conta o tipo de argila, dados os valores mais altos de adsorção encontrados nos Andosols por Alvarez V. (1982) em solos apenas com 210 g kg<sup>-1</sup> de argila.

Diversos autores verificaram relação direta entre o teor de carbono orgânico e a adsorção máxima de P (Bahia Filho, 1974; Bolaño, 1984; Hepper et al., 1995). Esses autores não esclareceram se essa correlação se deve a uma associação indireta entre o conteúdo de argila e carbono orgânico, como demonstraram Moughli et al. (1993). Neste trabalho, não se observou correlação linear simples significativa entre carbono



**Figura 1. Regressão entre a capacidade máxima de adsorção de P e o fósforo remanescente. Os coeficientes são significativos a 0,001%.**

orgânico e capacidade máxima de adsorção de P (Quadro 3). Resultados similares foram apresentados por Mendoza (1986); López Camelo (1989) e Singh & Gilkes (1991). Por outro lado, López Camelo et al. (1986), trabalhando com solos semelhantes, comprovaram que **Xm** diminuiu, quando foram incorporados ácidos húmicos, e aumentou, quando parte do carbono orgânico do solo foi eliminado. Tais resultados refletem que o papel da matéria orgânica em relação à adsorção de P não tem tendência definida.

#### CONCLUSÕES

1. Os solos de Entre Ríos caracterizam-se por terem fator capacidade de fósforo de baixo a muito baixo.
2. A capacidade máxima de adsorção de P dos solos mostrou-se correlacionada com teor de argila, mas não com o de carbono orgânico.
3. Um índice simples, o fósforo remanescente, permite classificar os solos quanto ao seu fator capacidade e estimar sua capacidade máxima de adsorção de P.



**AGRADECIMENTOS**

A C.J. Vesco, pela identificação e classificação das amostras dos solos. Este trabalho foi financiado por SCYTFRH-UNER.

**LITERATURA CITADA**

- ALVAREZ V., V.H. Efecto de los factores cantidad, intensidad y capacidad amortiguadora de fosfato en la evaluación del fósforo disponible, de suelos derivados de cenizas volcánicas de la Mesata Tarasca. Chapingo, México, Colegio de Postgraduados, 1982. 300p. (Tese de Doutorado)
- ALVAREZ V., V.H. & FONSECA, D.M. Definição de doses de fósforo para determinação da capacidade máxima de adsorção de fosfatos e para ensaios em casa de vegetação. R. Bras. Ci. Solo, 14:49-55, 1990.
- BAHIA FILHO, A.F. Fósforo em Latossolos do estado de Minas Gerais: Intensidade, capacidade tampão e quantidade de fósforo, fósforo "disponível" e crescimento vegetal. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1974. 69p. (Tese de Mestrado)
- BOLAÑO, A.A. Determinación de la capacidad reguladora y concentración ajustada de fósforo en suelos de la región Pampeana. Ci. Suelo, 2:99-106, 1984.
- BUSCHIAZZO, D.E.; HEVIA, G.G. & HEPPER, E.N. Variación de la adsorción de fósforo y parámetros edáficos en una climosecuencia de suelos de la región Semiárida Pampeana Central. Ci. Suelo, 8:119-126, 1990.
- CAJUSTE, L.J.; ALVAREZ V., V.H. & LAIRD, R.J. Evaluation of chemical extractants for assessing phosphate availability in volcanic ash soils. Comm. Soil Sci. Plant Anal., 23:2189-2206, 1992.
- DEAR, B.S.; HELYAR, K.R.; MULLER, W.J. & LOVELAND, B. The P fertilizer requirements of subterranean clover, and the soil P status, sorption and buffering capacities from two P analyses. Aust. J. Soil Res., 30:27-44, 1992.
- FREIRE, F.M.; NOVAIS, R.F.; BRAGA, J.M.; FRANCA, G.E.; SANTOS, H.L. & SANTOS, P.R. Adubação fosfatada para a cultura da soja (*Glycine max*) baseada no fósforo disponível e no fator "capacidade". R. Bras. Ci. Solo, 3:105-111, 1979.
- HEPPER, E.N.; HEVIA, G.G. & BUSCHIAZZO D.E. Adsorción de fósforo y su relación con los parámetros edáficos en una climotoposecuencia de la región semiárida pampeana central Argentina. Agrochimica, 39:26-32, 1995.
- HOLFORD, I.C.R. & MATTINGLY, G.E. G. Phosphate adsorption and availability. Plant Soil, 44:377-386, 1976.
- LÓPEZ CAMELO, L.G.; HEREDIA, O.S.; NERVI, A. & SESE, Z.M. Adsorción de fósforo en algunos suelos argentinos. I - Condiciones experimentales e isothermas de adsorción. R. Fac. Agron., 5:165-174, 1984.
- LÓPEZ CAMELO, L.G.; HEREDIA, O.S. & SESE, Z.M. Evaluación preliminar de la influencia de la materia orgánica sobre la adsorción de fósforo en algunos suelos argentinos. Ci. Suelo, 2:125-131, 1986.
- LÓPEZ CAMELO, L.G. & HEREDIA O.S. Indices de sorción de fósforo en algunos molisoles de la pradera pampeana. R. Fac. Agron., 9:145-154, 1989.
- MENDOZA, R.E. Isothermas de adsorción de fósforo en suelos argentinos. II - Aplicabilidad de las isothermas e interrelación de sus parámetros con variables de suelo y planta. Ci. Suelo, 2:117-124, 1986.
- MOUGHLI, L.; WESTFALL, D.G. & ALI BOUKHIAL. Use of adsorption and buffer capacity in soil testing for phosphorus. Comm. Soil Sci. Plant Anal., 24:1959-1974, 1993.
- MULJADI, D.; POSNER, A.M. & QUIRK, J.P. The mechanism of phosphate adsorption by kaolinite, gibbsite, and pseudoboehmite. Part 1. The isotherms and effect of pH on adsorption. J. Soil Sci., 17:212-229, 1966.
- MUNIZ, A.S.; NOVAIS, R.F.; BARROS, N.F. & NEVES, J.C.L. Nivel crítico de fósforo na parte aérea de soja como variável do fator de capacidade de fósforo no solo. R. Bras. Ci. Solo, 9:2337-243, 1985.
- OLSEN, S.R. & WATANABE, F.S. A method to determine a phosphorus adsorption maximum of soils as measured by the Langmuir Isotherm. Proc. Soil Sci. Soc. Am., 21:144-149, 1957.
- OZANNE, P.G. & SHAW, T.C. Advantages of the recently developed phosphate sorption test over the older extractant methods for soil phosphate. In: INTERNATIONAL CONGRESS OF SOIL SCIENCE, 9., Adelaide, Australia, 1968. Transactions. Adelaide, 1968. v.2. p.273-280.
- QUINTERO, C.E.; BOSCHETTI, N.G. & BENAVIDEZ, R.A. Estimación de la capacidad máxima de adsorción de fosfatos en suelos de Entre Ríos (Argentina). Ci. Suelo, 14:79-82, 1996.
- RON, M.M.; BUSSETTI, S.G. & LOEWY, T. Uso de un índice de sorción como complemento del fósforo extraíble para la fertilización de trigo. Ci. Suelo, 13:35-37, 1995.
- SILVA, J.T.A. & BRAGA, J.M. Influência das características físicas e químicas sobre o fator capacidade-tampão de fósforo em latossolos do estado de Minas Gerais. R. Ceres, 41:575-583, 1993.
- SILVA, J.T.A. Relações entre características do solo que refletem a capacidade-tampão de fósforo e o nível crítico para sorgo, em dois latossolos de Minas Gerais, em casa de vegetação. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1990, 87p. (Tese de Mestrado)
- SINGH, B. & GILKES, R.J. Phosphorus sorption in relation to soil properties for the major soil types of south-western Australia. Aust. J. Soil Res., 29:603-618, 1991.