

## ENERGIA LIVRE DA REAÇÃO DE ADSORÇÃO DE BORO EM SOLOS<sup>1</sup>

Luís Reynaldo Ferraciù Alleoni<sup>2</sup>  
Otávio Antônio de Camargo<sup>3</sup>

### INTRODUÇÃO

O boro é elemento essencial ao crescimento das plantas, e sua deficiência tem sido detectada com frequência no Estado de São Paulo. Por se tratar de um micronutriente, o intervalo entre os teores que causam deficiência e toxicidade é muito pequeno, o que dificulta o quadro de entendimento de sua biodisponibilidade.

Uma grande variedade de atributos do solo afeta o comportamento do boro (EVANS & SPARKS, 1983; KEREN & BINGHAM, 1985). Quando o elemento é liberado pelos minerais, pela energia orgânica após sua mineralização, ou quando é adicionado ao solo por meio de fertilizantes e resíduos, uma parte permanece na solução, e outra parte é adsorvida ou "fixada" pelas partículas do solo (GUPTA *et al.*, 1985).

Os teores de argila, carbono orgânico e óxidos de ferro e de alumínio são alguns dos atributos que apresentam correlações significativas com o boro adsorvido em diferentes tipos de solo. Os minerais de argila podem adsorver boro principalmente nas bordas das lâminas silicatadas que contêm íons não totalmente coordenados

<sup>1</sup> Parte da Tese de Doutorado do primeiro autor, apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas, da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz (USP), 1996.

<sup>2</sup> Departamento de Ciência do Solo - ESALQ/USP, Caixa Postal 9, CEP 13418-900 Piracicaba, SP. Endereço eletrônico: lfalleo@carpa.ciagri.usp.br

<sup>3</sup> Centro de Solos e Recursos Agroambientais - Instituto Agronômico de Campinas, Caixa Postal 28, CEP 13001-970 Campinas, SP, Bolsista do CNPq. Endereço eletrônico: o.camargo@sigmabbs.com.br

(KEREN & TALPAZ, 1984). Quanto aos óxidos de Fe e de Al, SIMS & BINGHAM (1968) e McPHAIL et al. (1972) sugeriram que a adsorção do boro é específica, ocorrendo por troca de ligantes, ou seja, a espécie química contendo boro desloca uma hidroxila da superfície e estabelece ligações covalentes. Esse mecanismo ocorre tanto na superfície dos óxidos e hidróxidos, como nas arestas quebradas de minerais de argila (CAMARGO, 1991). Em relação à matéria orgânica, o boro pode formar complexos borato-diol com diversos compostos derivados de sua decomposição, tais como xilose, manose, glucose e galactose (PARKS & WHITE, 1952).

Algumas práticas de manejo também promovem aumento na adsorção do boro nos solos, dentre elas a calagem. Quando os solos recebem calcário, as diversas formas de alumínio trocável são substituídas pelo cálcio e/ou pelo magnésio e precipitam-se na forma de  $Al(OH)_3$ , que por sua vez pode adsorver boro (HATCHER et al., 1967). Outra possível causa para o aumento na adsorção de boro é sua ligação com o carbonato de cálcio, podendo haver ou precipitação de boratos de cálcio, ou substituição do carbono por boro no carbonato ou adsorção do boro no  $CaCO_3$  (ICHIKUNI & KIKUCHI, 1972). Quanto menor o teor de boro no solo, mais significativo é o efeito da calagem no aumento da adsorção do elemento (GUPTA & MacLEOD, 1977).

Em vista do exposto, torna-se importante compreender apropriadamente o comportamento do boro no solo, principalmente em relação a sua retenção, para que se possam quantificar, na medida do possível, os fatores que influenciam sua biodisponibilidade, a fim de se oferecerem subsídios para a previsão de possível deficiência ou toxicidade (GOLDBERG, 1997).

De posse dos resultados obtidos por curvas de adsorção do elemento em diferentes materiais, pode-se calcular a energia livre molar do sistema. As mudanças na energia livre que ocorrem quando um elemento é adsorvido podem servir como uma medida da extensão ou da força que guia determinada reação (SINGH, 1971). A equação termodinâmica, em condições de equilíbrio para material de solo é:  $\Delta G_0 = RT (\log_e \text{ boro equilíbrio} - \log_e \text{ boro adicionado})$ , em que  $\Delta G_0 =$  energia livre ( $J.mol^{-1}$ ),  $R = 8,30 J.mol^{-1}.K^{-1}$ ,  $T = 298 K$ , e as

concentrações em  $\text{mol.L}^{-1}$ . Quanto maior a magnitude do valor da energia livre, maior a força de reação de determinado soluto pela superfície adsorvente.

O objetivo do presente trabalho é avaliar a força direcional da reação de adsorção do boro em cinco solos paulistas com diferentes atributos químicos e físicos, antes e após a aplicação de calcário, pelo estudo da energia livre da reação.

## MATERIAL E MÉTODOS

Utilizaram-se amostras superficiais (0 – 0,2 m) e subsuperficiais (na maior expressão do horizonte B) de cinco solos geográfica e economicamente representativos do Estado de São Paulo: Latossolo Roxo distrófico textura muito argilosa (LR), de Ribeirão Preto, Podzólico Vermelho-Amarelo eutrófico textura arenosa/média (PV), de Pindorama; Latossolo Vermelho-Amarelo álico textura média (LV), de Mogi-Guaçu; Latossolo Vermelho-Escuro álico textura muito argilosa ( $\text{LE}_1$ ), de Limeira; e Latossolo Vermelho-Escuro álico textura média ( $\text{LE}_2$ ), de Conchal. A caracterização química e física dos solos seguiu a metodologia descrita por CAMARGO et al. (1986) (Tabela 1).

Para testar o efeito da calagem na adsorção do elemento, uma subamostra da camada superficial de cada solo recebeu uma quantidade de  $\text{CaCO}_3$  que, teoricamente, seria necessária para elevar a porcentagem de saturação por bases a 70% (VAN RAIJ et al., 1996). As quantidades de  $\text{CaCO}_3$  para o PV, o  $\text{LE}_2$ , o LR, o LV e o  $\text{LE}_1$ , foram, respectivamente: 0,11; 0,51; 2,29; 3,06 e 4,31  $\text{g.kg}^{-1}$  de terra.

No estudo de adsorção, utilizou-se o método preconizado por OKAZAKI & CHAO (1968), com uma modificação, ou seja, ao invés de concentrações de boro adicionado de 0 a 100  $\mu\text{g.mL}^{-1}$ , foi utilizada a faixa de 0 a 16  $\mu\text{g.mL}^{-1}$  (CORREA et al., 1985), que parece mais adequada para representar os teores do elemento em solução de solos brasileiros.

**Tabela 1.** Alguns atributos químicos e físicos dos solos: C = carbono orgânico; Bsol = boro solúvel em  $\text{CaCl}_2$   $0,01 \text{ mol.L}^{-1}$  a quente;  $\text{Fe}_t$ ,  $\text{Fe}_d$ ,  $\text{Fe}_o$  = óxidos de ferro totais, livres e amorfos;  $\text{Al}_t$ ,  $\text{Al}_d$ ,  $\text{Al}_o$  = óxidos de alumínio totais, livres e amorfos, respectivamente.

Solo	Hori- zonte	pH $\text{CaCl}_2$	C	CTC	Bsol. $\text{mg dm}^{-3}$	$\text{Fe}_t$	$\text{Fe}_d$	$\text{Fe}_o$	$\text{Al}_t$	$\text{Al}_d$	$\text{Al}_o$	Argila	Superfície Específica $\text{m}^2 \text{g}^{-1}$
----- $\text{g dm}^{-1}$ ----- $\text{mmol dm}^{-1}$ ----- $\text{mg dm}^{-3}$ ----- $\text{g kg}^{-1}$ ----- $\text{m}^2 \text{g}^{-1}$ -----													
LR	A	4,4	9	108,8	0,38	326	208	3,4	189	36	0,7	610	69,7
	B	4,5	7	79,2	0,28	341	208	4,5	189	29	0,7	670	60,6
PV	A	5,3	5	52,6	0,07	23	10	0,7	29	5	0,2	60	20,7
	B	4,7	4	77,9	0,37	47	27	1,0	114	6	0,2	340	33,2
LV	A	3,2	10	159,5	0,24	18	17	1,0	43	8	0,4	140	7,3
	B	3,6	5	49,4	0,17	21	20	0,7	43	13	0,5	200	8,2
LE <sub>1</sub>	A	3,7	13	156,5	0,61	167	120	2,4	179	18	0,6	720	76,9
	B	3,5	9	117,6	0,25	174	144	2,1	179	21	1,3	790	69,9
LE <sub>2</sub>	A	4,4	9	61,7	0,17	60	20	1,0	60	13	0,3	170	34,8
	B	3,5	5	83,6	0,21	80	23	1,0	80	12	0,3	220	23,8

Amostras de 4,000 g de terra fina seca em estufa foram mantidas em agitação lenta, em tubos de polietileno, por 24h, com 20 mL de uma solução de  $\text{CaCl}_2$   $0,01 \text{ mol.L}^{-1}$ , com diferentes quantidades de boro (0; 1; 2; 4; 8 e  $16 \mu\text{g.mL}^{-1}$ ), usando-se ácido bórico como fonte de boro. As determinações foram feitas em duplicata. Depois de centrifugado, o boro da solução de equilíbrio foi determinado por espectrometria de emissão atômica por plasma induzido de argônio.

Os valores calculados de energia livre da reação, num total de 15 amostras, relativas aos cinco solos  $\times$  3 amostras por solo (horizonte A sem calcário, horizonte A com calcário e horizonte B) foram relacionados com os atributos químicos e físicos dos solos através de correlações, com o programa Ajuste (ZULLO JÚNIOR & ARRUDA, 1986).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Todos os valores de  $\Delta G_0$  foram negativos, o que mostra que a quantidade de boro em equilíbrio na solução foi sempre inferior ao valor adicionado, ou seja, a reação de adsorção de boro foi termodinamicamente espontânea (**Tabela 2**).

Os maiores valores médios, em módulo, foram encontrados nos solos argilosos ( $973,9 \text{ J.mol}^{-1}$  para o  $\text{LE}_1$  e  $480,3 \text{ J.mol}^{-1}$  para o LR). O PV teve uma  $\Delta G_0$  média dos dois horizontes, para todas as concentrações, de  $465,2 \text{ J.mol}^{-1}$ , valor bastante próximo aos do LR, devido principalmente ao elevado teor de argila em profundidade (**Tabela 1**). Nesses solos podzolizados, o horizonte B pode representar papel significativo na retenção de íons e tornar-se muito importante se estiver localizado numa profundidade de intenso desenvolvimento radicular das plantas. Os Latossolos de textura média tiveram os menores valores médios de energia livre ( $256 \text{ J.mol}^{-1}$  para o  $\text{LE}_2$  e 218

J.mol<sup>-1</sup> para o LV), um pouco menores do que a média, com e sem calcário, do horizonte superficial arenoso do PV (343 J.mol<sup>-1</sup>). CORREA et al. (1985) utilizaram soluções com concentrações de boro iguais às deste trabalho e mais a de 0,5 µg.mL<sup>-1</sup>, obtendo maiores valores de boro adsorvido no Latossolo Roxo argiloso do que no Latossolo Vermelho-Escuro arenoso. Em outro trabalho realizado com solos brasileiros, adicionaram-se até 80 µg.mL<sup>-1</sup> de boro a três solos de Piracicaba, com variação também do seu pH. Na faixa de pH próxima à dos solos deste trabalho, os valores de boro adsorvido foram semelhantes e também positivamente correlacionados com suas texturas (CATANI et al., 1971).

As amostras que receberam calcário apresentaram valores médios maiores do que aquelas sem ele, o que indica maior retenção do boro após aplicação de CaCO<sub>3</sub> (Tabela 2). HATCHER et al. (1967) obtiveram aumentos de duas a cinco vezes na adsorção de boro após aplicação de calcário em diversos solos ácidos americanos, acompanhando aumento de pH. Esses autores observaram também que a correlação entre o aumento na adsorção de boro devido à calagem e a diminuição no teor de alumínio trocável foi altamente significativa (r = 0,98). No Brasil, aumentos no pH de 4,2 a 5,6, causados pela aplicação de doses crescentes de calcário num Latossolo Vermelho-Escuro de textura média causaram acréscimo significativo na quantidade de boro adsorvido (CRUZ et al., 1987).

Em todas as amostras, ΔG<sub>0</sub> decresceu com o aumento da concentração de boro adicionado inicialmente; isto indica que, quanto mais concentrada a solução, menos firmemente o elemento foi adsorvido. Devido à menor energia de adsorção, houve decréscimo na porcentagem de boro adsorvido à medida que a concentração do elemento em solução aumentava (ALLEONI, 1996), à semelhança do que ocorreu em outros estudos (KEREN & GAST, 1981; GU & LOWE, 1990; GOLDBERG & FORSTER, 1991).

**Tabela 2.** Valores de energia livre ( $\Delta G_0$ ) para adsorção de boro, em diferentes concentrações de equilíbrio do elemento ( $A^*$  = horizonte A após aplicação de calcário).

Solo	Camada	Boro adicionado ( $\mu\text{g.mL}^{-1}$ )				
		1	2	4	8	16
LR	A	-647	-506	-359	-313	-250
	A*	-679	-583	-453	-380	-269
	B	-847	-662	-529	-420	-302
PV	A	-521	-446	-274	-176	-111
	A*	-614	-552	-337	-250	-150
	B	-1143	-847	-583	-348	-203
LV	A	-344	-233	-179	-114	-69
	A*	-431	-344	-233	-133	-94
	B	-402	-288	-193	-124	-85
LE <sub>1</sub>	A	-1305	-1065	-630	-424	-262
	A*	-1975	-1348	-787	-510	-283
	B	-2329	-1690	-981	-647	-369
LE <sub>2</sub>	A	-344	-274	-166	-104	-69
	A*	-552	-487	-295	-199	-120
	B	-402	-344	-240	-173	-98

A correlação entre os valores de energia livre e pH dos solos não foi significativa ao nível de 5% ( $r = -0.08$ ); isto confirma uma tendência geral encontrada na literatura, de que o efeito isolado do pH do solo na energia de retenção de boro parece ser relativamente pequeno em solos ácidos. HARADA & TAMAI (1968) estudaram solos japoneses de diferentes formações geológicas, com pH de 4,4 a 7,0 e também não obtiveram correlação com boro adsorvido. A correlação não significativa da energia livre com o pH, na faixa de reação ácida, pode ser devida ao fato de que o elemento está predominantemente na forma de ácido bórico e não na forma de  $H_2BO_3^-$  (BINGHAM *et al.*, 1971). EM pH 6,8 – por exemplo – esta forma iônica responde por apenas 0,4% do total das formas solúveis de boro (EVANS, 1987). Como a adsorção de boro pode ocorrer em condições ácidas, o fenômeno parece ser resultado da adsorção molecular do ácido, como comprovado por SCHALSCHA *et al.* (1973), ao observarem retas praticamente paralelas de retenção do  $H_2BO_3$  em solos chilenos derivados de cinzas vulcânicas, com pHs de 4,0 a 7,0.

Outro atributo que não se correlacionou significativamente com a energia livre de adsorção de boro foi o teor de matéria orgânica ( $r = -0.03$ ;  $p < 0.05$ ). Considera-se que seu efeito é pouco pronunciado quando o teor no solo é menor do que  $15 \text{ g.dm}^{-3}$  (MEZUMAN & KEREN, 1981), sendo que neste estudo todos os valores estiveram abaixo deste limite (Tabela 1). A literatura tem mostrado que o pH do meio influencia o efeito da matéria orgânica na adsorção de boro, principalmente porque a afinidade dos adsorventes orgânicos pelo ácido bórico é relativamente baixa (YERMIYAHU *et al.*, 1988). Sendo assim, a fração dos sítios de adsorção da matéria orgânica ocupada por boro em solos ácidos é pequena. Isso pode Ter sido uma causa da baixa correlação existente entre carbono orgânico e boro nesse trabalho.

## CONCLUSÕES

A adsorção de boro nos solos estudados pode ser considerada espontânea, uma vez que a energia livre apresentou valores negativos em toda a faixa estudada. A energia de adsorção de boro foi maior nas

menores concentrações de boro em equilíbrio e correlacionou-se positivamente com a textura do solo. A aplicação de calcário promoveu maior adsorção de boro, o que pode ser quantificado pelos valores de energia livre calculados.

## RESUMO

A energia livre da reação de adsorção do boro foi estudada em solos paulistas, antes e após a aplicação de calcário, cuja quantidade aplicada seria a necessária, teoricamente, para elevar a porcentagem de saturação por bases a 70%. Utilizaram-se amostras superficiais (0 - 0,2 m) e subsuperficiais (na maior expressão do horizonte B) de cinco solos, a saber: latossolo roxo distrófico textura muito argilosa (LR), podzólico vermelho-amarelo eutrófico textura arenosa/média (PV), latossolo vermelho-amarelo álico textura média (LV), latossolo vermelho-escuro textura muito argilosa (LE<sub>1</sub>) e latossolo vermelho-escuro álico textura média (LE<sub>2</sub>). A adsorção de boro pelos solos pode ser considerada espontânea, uma vez que a energia livre apresentou valores negativos em toda a faixa estudada (0 a 16  $\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$  de boro). A energia de adsorção de boro foi maior nas menores concentrações do elemento em equilíbrio na solução, correlacionando-se positivamente com a textura do solo, mas não se correlacionando nem com pH nem com carbono orgânico. A aplicação de calcário promoveu uma maior adsorção de boro, o que pode ser verificado pelos valores de energia livre calculados.

**Palavras-chave:** Boro, adsorção, energia livre, calagem, solo.

## SUMMARY

### FREE ENERGY OF BORON ADSORPTION REACTION IN SOILS

Free energy of boron adsorption reaction on surface and subsurface samples of five soils from the State of São Paulo, Brazil (Rhodic Hapludox, Arenic Paleudalf and three Typic Hapludox) were

thermodynamically calculated. The effect of calcium carbonate application (in a quantity theoretically sufficient to raise the base saturation to 70%) on the free energy was also quantified. Boron adsorption could be considered spontaneous, for free energy was negative in all range of added boron (0 to 16  $\mu\text{g.mL}^{-1}$ ). In all cases, free energy values decreased with the increase in concentration of the added solution, and were positively correlated to soil texture. Calcium carbonate promoted an increase in the amount of adsorbed boron in all soils, as showed by free energy values.

**Key words:** Boron, adsorption, free energy, lime, soil.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALLEONI, L.R.F., 1996. Adsorção de Boro em Podzólico e Latossolos Paulistas. Piracicaba. 127p. (Doutorado – ESALQ/USP).
- BINGHAM, F.T.; A.L. PAGE; N.T. COLEMAN; K. FLACH, 1971. Boron Adsorption Characteristics of Selected Amorphous Soils from Mexico and Hawaii. *Soil Sci. Am. Proc.*, Madison, **35**: 546-550.
- CAMARGO, O.A., 1991. Reações e Interações de Micronutrientes no Solo. In: FERREIRA, M.E.F. & M.C.P. CRUZ (Coord.). *Micronutrientes na Agricultura*. Piracicaba, POTAFOS. Cap. 5, p.243-272.
- CAMARGO, O.A.; A.C. MONIZ; J.A. JORGE; J.M.A.S. VALADADES, 1986. Métodos de Análise Química, Mineralógica e Física de Solos do Instituto Agronômico de Campinas. Campinas, IAC. 94p. (Boletim Técnico, 106).
- CATTANI, R.A.; J.C. ALCARDE & F.M. KROLL, 1971. A Adsorção de Boro pelo Solo. *Anais ESALQ*, Piracicaba, **28**: 189-198.
- CORREA, A.E.; M.A. PAVAN & M. MIYAZAWA, 1985. Aplicação de Boro no Solo e Respostas do Cafeeiro. *Pesq. Agropec. Bras.*, Brasília, **20**: 177-181.

- CRUZ, M.C.P.; A.M. NAKAMURA & M.E. FERREIRA, 1987. Adsorção de Boro pelo Solo: Efeito da Concentração e do pH. *Pesq. Agropec. Bras.*, Brasília, **22** 621-626.
- EVANS, C.M. & D.L. SPARKS, 1983. On the Chemistry and Mineralogy of Boron in Pure and Mixed Systems: A Review. *Com. Soil. Sci. Pl. Anal.*, New York, **14**(19): 827-846.
- EVANS, L.J., 1987. Retention of Boron by Agricultural Soils From Ontario. *Can. J. Soil Sci.*, Ottawa, **67**: 33-42.
- GOLDBERG, S., 1977. Reactions of Boron With Soils. *Pl. Soil*. The Hague, **193**: 35-48.
- GOLDBERG, S. & H.S. FORSTER, 1991. Boron Adsorption on Calcareous Soils and Reference Calcites. *Soil Sci.*, Baltimore, **152**: 304-310.
- GU, B. & L.E. LOWE, 1990. Studies on the Adsorption of Boron on Humic Acids. *Can. J. Soil Sci.*, Ottawa, **70**: 305-311.
- GUPTA, U.C. & J.A. MacLEOD, 1977. Influence of Calcium and Magnesium Sources on Boron Uptake and Yield of Alfafa and Rutabagas as Related to Soil pH. *Soil Sci.*, Baltimore, **124**: 279-284.
- GUPTA, U.C.; Y.W. JAME; C.A. CAMPBELL; A.J. LEYSHON; W. NICHOLAICHUK, 1985. Boron Toxicity and Deficiency: A Review. *Can. J. Soil Sci.*, Ottawa, **65**: 381-409.
- HARADA, T. & M. TAMAI, 1968. Some Factors Affecting Behaviour of Boron in Soil. I. Some Soil Properties Affecting Boron Adsorption of Soil. *Soil Sci. Pl. Nutr.*, Tokyo, **14**: 215-224.
- HATCHER, J.T.; C.A. BOWER & M. CLARCK, 1967. Adsorption of Boron by Soils as Influenced by Hydroxialuminium and Surface Area. *Soil Sci.*, Baltimore, **104**: 422-426.
- ICHIKUNI, M. & K. KIKUCHI, 1972. Retention of Boron by Travertines. *Chem. Geol.*, Amsterdam, **9**: 13-21.
- KEREN, R. & F.T. BINGHAM, 1985. Boron in Water, Soils, and Plants. *Adv. Soil Sci.*, New York, **1**: 229-276.
- KEREN, R. & R.G. GAST, 1981. Effects of Wetting and Drying, and of Exchangeable Cations, on Boron Adsorption and Release by Montmorillonite. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, Madison, **45**: 478-482.

- KEREN, R. & H. TALPAZ, 1984. Boron Adsorption by Montmorillonite as Affected by Particle Size. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, Madison, **48**: 555-559.
- McPHAIL, M.; A.L. PAGE & F.T. BINGHAM, 1972. Adsorption Interactions of Monosilicic and Boric Acid on Hydrous Oxides of Iron and Aluminium. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, Madison, **36**: 510-514.
- MEZUMAN, U. & R. KEREN, 1981. Boron Adsorption by Soils Using a Phenomenological Adsorption Equation. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, Madison, **45**: 722-726.
- OKAZAKI, E. & T.T. CHAO, 1968. Boron Adsorption and Desorption by Some Hawaiian Soils. *Soil Sci.*, Baltimore, **105**: 255-259.
- PARKS, W.L. & J.L. WHITE, 1952. Boron Retention by Clay and Humus Systems Saturated With Various Cations. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, Madison, **16**: 298-300.
- SCHALSCHA, E.B.; F.T. BINGHAM; G.G. GALINDO; H.P. GALVAN, 1973. Boron Adsorption by Volcanic Ash Soils in Southern Chile. *Soil Sci.*, Baltimore, **116**: 70-76.
- SIMS, J.R. & F.T. BINGHAM, 1968. Retention of Boron by Layer Silicates, Sesquioxides and Soil Materials. II. Sesquioxides. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, Madison, **32**: 364-369.
- SINGH, M., 1971. Equilibrium Adsorption of Boron in Soils and Clays. *Geoderma*, Amsterdam, **5**: 209-217.
- VAN RAIJ, B.; H. CANTARELLA; J.A. QUAGGIO; A.M.C. FURLANI, 1996. *Recomendações de Adubação e Calagem para o Estado de São Paulo*. 2. ed. Campinas, Instituto Agrônomo & Fundação IAC. 285p. (Boletim Técnico, 100).
- YERMIYAHU, U.; R. KEREN & Y. CHEN, 1988. Boron Adsorption on Composted Organic Matter. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, Madison, **52**: 1309-1313.
- ZULLO JR., J. & F.B. ARRUDA, 1986. *Programa Computacional para Ajuste de Equações em Dados Experimentais*. Campinas, Instituto Agrônomo. 23p. (Boletim Técnico, 113).