

EFEITO DA APLICAÇÃO DE FÓSFORO NA COMPOSIÇÃO IÔNICA DA SOLUÇÃO DO SOLO^{1/}

Rosa Maria Rabelo Junqueira ^{2/}
José Mário Braga ^{2/}
Antônio Carlos Ribeiro ^{2/}
José Domingos Fábris ^{3/}

1. INTRODUÇÃO

Das três fases que compõem o solo, a líquida, solução do solo, tem sido estudada com interesse pelos químicos do solo, particularmente os processos que nela ocorrem como resultado da ação dos agentes biológicos, hidrológicos e geológicos (23). Entretanto, o estudo da composição da solução do solo é complexo, em razão das dificuldades na sua extração e na determinação das concentrações de seus constituintes, que, em geral, são muito baixas.

O isolamento de uma solução de solo inalterada tem sido amplamente estudado. Para tanto, foram propostos diversos métodos, dentre os quais se destacam: deslocamento, pressão, prensagem e centrifugação (2, 7, 10, 17).

O método mais empregado é o do deslocamento, que está fundamentado no princípio de que em uma amostra bem homogênea (1) a composição da solução do solo é uniforme e (11), em seu movimento através do solo, capaz de se misturar com uma solução deslocante. Dessa maneira, cada incremento sucessivo da solução deslocada terá a mesma composição da anterior, até que a solução deslocante apareça no efluente.

^{1/} Parte da tese do primeiro autor, para a obtenção do título de M.S. em Solos e Nutrição de Plantas, na Universidade Federal de Viçosa.

Aceito para publicação em 16-03-1987.

^{2/} Departamento de Solos da U.F.V. 36570, Viçosa, MG.

^{3/} Centro Nacional de Pesquisa de Milho e Sorgo-EMBRAPA 35700 Sete Lagoas.

Há um consenso no sentido de que a solução obtida por deslocamento é a verdadeira e inalterada solução do solo. Entretanto, o método requer muita habilidade do operador, não só no manuseio em si como na escolha das dimensões da coluna, das condições de empacotamento e do líquido deslocante (2, 5, 7, 10, 20).

Conforme verificado por SPOSITO (22), a solução do solo contém de 10 a 20 diferentes cátions metálicos, que reagem a ligantes orgânicos e inorgânicos, possibilitando a formação de 300 a 400 complexos solúveis diferentes, ocorrendo ainda reações de oxirredução, troca iônica e adsorção específica.

Embora os métodos analíticos possam fornecer os valores das concentrações dos íons na solução do solo, a determinação das concentrações dos íons livres deve levar em consideração as associações iônicas. Isso pode ser feito através de correção das concentrações para atividades iônicas, que envolve número razoável de modelos de equilíbrio e cálculos iterativos (5). Todos apresentam pelo menos duas limitações: o risco de omissão de espécies importantes nas equações discriminadas no balanço de massa e a pouca confiabilidade dos valores tabelados para as constantes de formação das várias espécies (5). Dos modelos propostos, o recomendado por ADAMS (1) é o mais simplificado, pois não considera a complexação da matéria orgânica na solução do solo. Os cálculos dos coeficientes de atividade são feitos com a utilização da equação de Debye-Hückel, adequada para soluções com força iônica de até 0,05 M, intervalo esse que inclui a maior parte das soluções de solos estudadas.

Usando essa equação, os cálculos são conduzidos por meio de aproximações sucessivas, sendo os valores iniciais os obtidos no passo anterior. Esse ciclo se repete até que não se verifiquem mais variações das atividades.

Os objetivos deste trabalho foram obter dados sobre a composição química da solução do solo e avaliar o efeito da adição de doses de fósforo sobre essa composição.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Em razão das dificuldades operacionais inerentes ao método de obtenção da solução do solo por deslocamento, foi selecionado um solo com alto teor de fósforo disponível e com percentagens de frações texturais dentro da amplitude normal dos solos (2, 7). A escolha recaiu sobre um Latossolo Vermelho-Escuro Epieutrópico, A proeminente, localizado no município de Iturama-MG (6, 14), cujas características químicas constam do Quadro 1.

A amostragem do solo foi feita na camada de zero a 20 cm, aproximadamente, sendo o material coletado secado ao ar, passado em peneira de malhas de 2 mm de abertura e homogeneizado. Tomaram-se 40 kg do material do solo em estudo, procedendo-se em seguida a quarteamentos sucessivos, até a obtenção de subamostras de cinco quilos. A um litro do material de solo, com uma repetição, foram adicionados 50 ppm de K, como KCl, 25 ppm de Mg, como $MgSO_4 \cdot 7H_2O$, e doses suplementares de $Ca(H_2PO_4)_2 \cdot H_2O$, equivalentes a 50, 100, 150 e 200 ppm de P. Os sais foram aplicados, em cada amostra de solo, na forma de solução, utilizando-se seringa de 25 ml, para facilitar a aplicação das soluções sobre o solo, seco e espalhado numa folha de plástico, sobre uma mesa. Esses tratamentos incluíam também a adição de água destilada, para elevar o teor de umidade a 2% acima da água retida a 0,01 MPa (19,2%). Após homogeneização, incubação, secagem, umedecimento e nova incubação, por sete dias, as amostras estavam preparadas para serem empacotadas, procedendo-se em seguida à extração da solução do solo. O método consistiu em empacotar as porções de solo umedecidas em coluna de

QUADRO 1 - Análise química de materiais do solo em estudo

pH em água	6,3
pH em KCl	5,2
Ca meq / 100 g	3,2
Mg meq / 100 g	1,3
K meq / 100 g	0,2
Al meq / 100 g	0,0
P ppm	7
Na ppm	1

vidro de 61,5 cm de altura e 4 cm de diâmetro. No fundo da coluna foi adaptado um sistema combinado de tela de plástico, 1.º de vidro e papel de filtro quantitativo, com o mesmo diâmetro da coluna, para suportar o solo e filtrar a solução deslocada. A parte superior da coluna de solo foi fechada firmemente com rolha de borracha e conectada a um reservatório de uma solução saturada de CaSO_4 com 0,04% de KSCN (solução deslocante). Esta foi adicionada no topo da coluna, mantendo-se constante a altura (3cm) do líquido, acima do nível do solo na coluna. O fornecimento contínuo da solução deslocante foi mantido por meio de um reservatório colocado a uma altura que determinasse a vazão de saída constante da solução deslocante. Coletava-se a solução deslocada em alíquotas de 10 a 15 ml. Nessas alíquotas era gotejada uma solução de FeCl_3 que acusava o aparecimento da solução deslocante, determinando-se o final do processo, que transcorre à temperatura ambiente.

Nas alíquotas recolhidas foram determinados os teores de Ca, Mg, Na e K, os valores de pH em H_2O e em KCl segundo a EMBRAPA (13), e o teor de P, segundo BRAGA e DEFELIPO (9).

A umidade residual do solo foi determinada por meio do método gravimétrico e a densidade aparente mediante o método da proveta (13).

As concentrações iônicas medidas na solução do solo foram corrigidas para atividades iônicas, adotando-se o procedimento descrito por ADAMS (1).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O teor de umidade de 19,2% (água retida a 0,01 MPa) nos materiais do solo não foi mantido uniforme, conforme se pode observar pelos dados do Quadro 2. Durante os períodos de incubação, esses materiais ficaram sujeitos às oscilações da temperatura ambiente, o que, certamente, não permitiu obter uniformidade no teor de umidade, apesar da adição de água em dias alternados, para compensar as perdas por evaporação. Dessa maneira, optou-se por manter as amostras em incubadoras com controle de temperatura. LARSEN e WIDDOWSON (16) utilizaram dispositivos com temperatura fixada em 20º C. O ideal seria equilibrar a temperatura em

QUADRO 2 - Massa de solo e umidade (em volume, em percentagem de solo seco) de materiais do solo em estudo, aos quais foram adicionadas doses de fósforo, posteriormente empacotados em coluna para deslocamento da solução do solo

Fósforo aplicado ppm	Massa do solo empacotado g	Umidade	
		Volume ml	Peso %
0	1025,8	140,7	13,7
0	1081,2	174,9	16,2
50	973,7	142,3	14,6
50	995,5	145,9	14,6
100	1041,6	157,4	15,1
100	1041,8	175,7	16,9
150	1011,2	170,6	16,9
150	882,0	71,6	8,1
200	1013,5	170,8	16,9
200	1078,5	106,9	15,5

25° C, uma vez que os valores das constantes de equilíbrio são comumente expressos nessa temperatura.

Os baixos valores de força iônica encontrados, quando comparados com dados obtidos por outros autores (8, 10, 18), sugerem, inicialmente, que o tempo de incubação teria sido insuficiente para que a solução do solo atingisse o equilíbrio. Em outros trabalhos, o equilíbrio foi atingido com período de incubação de 30 a 40 (18) e até 54 dias (16). Entretanto, mesmo em períodos de incubação maiores, solos tropicais do norte da Austrália apresentaram valores baixos de força iônica ($14,7 \times 10^{-4}$ M), mas ainda maiores do que os obtidos neste trabalho ($5,92 \times 10^{-4}$ M). Tal diferença sugere intemperização mais avançada do solo em estudo. Ao submeter amostras de solo com teores de umidade próximos à capacidade de campo a dois períodos de incubação, pretendia-se que esse novo sistema solo-água se aproximasse de um estado de equilíbrio, simulando assim as condições ótimas para o crescimento das plantas.

Apesar do esforço desenvolvido, não foi possível uniformizar os tempos de deslocamentos, no volume da solução deslocada e nas alíquotas subsequentes (Quadro 3). Na segunda repetição do tratamento a que foram adicionados 150 ppm de fósforo, o tempo de deslocamento foi surpreendentemente baixo (quatro minutos) (Quadro 3). Já na segunda repetição, na dose de 100 ppm de fósforo, o tempo esteve próximo de três horas. Entretanto, em todos os tratamentos o tempo foi inferior a oito horas, limite máximo acima do qual a atividade microbiana alteraria apreciavelmente a composição do solo (2). O deslocamento precoce observado na segunda repetição do tratamento de 150 ppm pode estar relacionado com um empacotamento mais fróxido na coluna. Conclusões idênticas foram obtidas por outros pesquisadores (2, 7, 10).

As amostras da solução foram compostas a partir das alíquotas não contami-

QUADRO 3 - Volume deslocado e tempo de deslocamento em materiais do solo em estudo, aos quais se adicionaram doses de fósforo

Fósforo aplicado	Volume deslocado			Tempo de deslocamento		
	Solução do solo	Total		1 ^a Gota	Solução Solo	Total
ppm	ml	%	ml	min		H
0	56	23,4	148	n.d.	n.d.	n.d.
0	30	17,1	138	2	10	3,67
50	25	17,6	146	14	21	1,08
50	42	28,8	105	59	56	3,10
100	37	21,1	96	n.d.	173	2,13
100	45	n.d.	149	n.d.	26	1,10
150	31	18,2	76	8	46	2,02
200	41	24,0	182	12	18	0,95
200	44	26,4	101	10	61	1,90

n.d. - não determinado.

nadas do efluente. Para tal, foram tomadas as médias ponderadas, em relação ao volume, das concentrações de Ca, Mg, K e S0₄ e a atividade de H dessas alíquotas, multiplicando-se, em seguida, pela relação entre o teor de umidade de 19,2% e o verificado em cada tratamento (Quadro 4). Os resultados da análise química dos tratamentos em duplicata não foram reproduzíveis (Quadro 4). Esse comportamento foi observado por outros pesquisadores (10, 21).

Embora a concentração de fósforo em solução aumente com a quantidade de fósforo aplicada (Quadro 4), os valores encontrados foram baixos, uma vez que a solubilidade dos complexos e minerais de fósforo proporciona teores poucos significativos de fósforo em solução. Por outro lado, o decréscimo das concentrações de cálcio e de magnésio com a adição de fosfato monocálcico ao solo não era esperado (Quadro 4). É possível que as flutuações dos valores da umidade do solo empacotado e do tempo de deslocamento da solução tenham influenciado o comportamento observado.

Não foi analisada a matéria orgânica solúvel na solução do solo, muito embora se suspeitasse de sua presença pelas informações disponíveis na literatura (1, 4, 12, 15, 19, 22). As soluções obtidas foram submetidas à oxidação da matéria orgânica, para prevenir sua interferência nas determinações de fosfato e, principalmente, de sulfato, determinado por meio do método turbidimétrico, quando a sua interferência é significativa (3).

O efeito da oxidação da matéria orgânica na solução pode ser analisado pelos dados do Quadro 5, no qual estão disponíveis os teores de fósforo antes e depois da oxidação. Observou-se um aumento do teor de fósforo após a oxidação, o que sugere a presença de fósforo complexado com a matéria orgânica. O percentual diminui com a adição de doses crescentes de fósforo ao solo. Por outro lado, verifica-se uma tendência oposta ao se analisar a variação de fósforo, determinada após

QUADRO 4 - Concentração de íons e valores de pH na solução do solo, quando se adicionaram doses de fósforo a materiais do solo em estudo

Fósphoro aplicado	Ca^{2+}	Mg^{2+}	K^+	P	SO_4^{2-}	pH
ppm						
0	90,67	61,80	39,80	0,70	564,23	5,71
0	54,58	28,68	29,21	0,30	349,15	5,12
50	256,03	171,64	76,06	1,76	946,13	5,62
50	261,68	148,83	73,63	1,11	976,12	5,40
100	202,96	87,73	n.d.	2,19	472,74	5,89
100	272,44	142,66	66,48	3,10	611,01	n.d.
150	184,24	92,41	68,30	7,24	696,11	5,62
150	n.d.	n.d.	n.d.	7,16	n.d.	5,54
200	124,74	87,84	52,85	16,75	422,69	5,64
200	136,78	75,35	59,74	10,66	548,75	5,96

n.d. - não determinado.

QUADRO 5 - Efeito da oxidação da matéria orgânica no teor de P da solução do solo, quando se adicionaram doses de fósforo a materiais do solo em estudo

Fósphoro aplicado	Teor de P 1 antes da OMO	Após OMO	Fósforo orgânico ²
ppm			ppm %
0	0,09	0,50	0,41 82,0
50	0,92	1,45	0,53 37,1
100	1,78	2,56	0,76 30,5
150	5,68	7,22	1,54 21,3
200	11,79	13,69	1,90 13,9

1 OMO - oxidação da matéria orgânica

2 - P orgânico = (P após a OMO - P antes da OMO)

a oxidação da matéria orgânica nos diversos tratamentos.

A partir das análises químicas de cátions e ânions na solução do solo (Quadro 4) foram calculadas as atividades iônicas, adotando-se o mesmo modelo proposto por ADAMS (1). O número de iterações processadas em algoritmo de transforma-

ção de concentrações em atividades iônicas, para cada tratamento, está no Quadro 6, e as atividades iônicas finais estão nos Quadros 7 e 8. Observa-se uma uniformidade no número de iterações para tratamentos diferentes (Quadro 6), o que indica grau de complexidade numérica semelhante para eles.

QUADRO 6 - Número de iterações processadas para correção das concentrações para atividades iônicas nas soluções do solo deslocadas, quando se adicionaram doses de fósforo a materiais do solo em estudo

Fósforo aplicado ppm	Número de iterações
0	28
50	29
100	30
150	26
200	23

Foi analisada a influência das doses de fósforo aplicadas nos materiais de solo em estudo sobre as atividades iônicas da solução do solo. A diferença observada entre as concentrações iônicas iniciais, determinadas analiticamente, e as atividades iônicas calculadas (Quadros 7 e 8) pode ser justificada pela presença dos pares iônicos. Essa diferença pode ser também notada nos valores da força iônica antes e depois da correção das concentrações para atividades (Quadro 8). Convém salientar que no cálculo das atividades iônicas não foi levada em consideração a associação iônica com a parte orgânica da solução do solo, caracterizando-se apenas os constituintes inorgânicos.

4. RESUMO E CONCLUSÕES

O objetivo deste trabalho foi estudar o efeito da adição ao solo de doses de fósforo sobre a concentração, força iônica e atividade da solução do solo de um Latossolo Vermelho-Escuro Epieutrófico.

O fósforo foi adicionado na forma de fosfato monocálcico, nas doses de 0, 50, 100, 150 e 200 ppm, aplicando-se ainda 25 ppm de Mg, como $MgSO_4 \cdot 7H_2O$, e 50 ppm de K, como KCl. As amostras de solo foram incubadas, com teores de umidade de 0,01 MPa, por dois períodos consecutivos de sete dias, alternando-se umedecimento e secagem. Procedeu-se em seguida ao empacotamento do solo em colunas.

Para a obtenção da solução do solo foram conduzidos ensaios em laboratório, que consistiram no deslocamento da solução do solo em colunas e na análise química do material obtido. As concentrações analíticas foram corrigidas para atividades iônicas, utilizando-se um modelo de correção das associações iônicas.

Os resultados obtidos permitiram as seguintes conclusões:

QUADRO 7 - Concentrações e atividades de cátions e valores de pH da solução deslocada em materiais do solo em estudo, aos quais se adicionaram doses de fósforo

Fósforo aplicado	[Ca]	(Ca)	[Mg]	(Mg)	[K]	(K)	pH
uM							
0	18811,88	10,34	1860,96	12,52	882,35	858,12	5,41
50	6707,83	7,25	6591,11	9,83	1914,06	1914,06	5,61
100	5930,64	7,77	4738,38	8,09	1700,25	1700,25	5,89
150	4596,81	6,40	3801,32	7,11	1746,80	1746,80	5,58
200	3262,47	5,54	3356,23	7,99	1439,64	1439,64	5,80

[] indica concentração catiônica determinada analiticamente.

() indica concentração catiônica real ou atividade do cátion.

QUADRO 8 - Concentrações e atividades de ânions e força iônica inicial e corrigida da solução do solo, deslocadas de materiais do solo em estudo, aos quais se adicionaram doses de fôsforo

Fôsforo aplicado	$[SO_4]$	(SO_4)	$[PO_4]$	(H_2PO_4)	(HPO_4)	Força iônica	
						Inicial	Corrigida
ppm	uM	uM	uM	M	M	M	M
0	4754,22	22,98	49,42	10,28	0,16	$1,75 \times 10^{-2}$	$5,92 \times 10^{-4}$
50	10005,52	8,39	141,39	13,10	0,33	$4,82 \times 10^{-2}$	$10,79 \times 10^{-4}$
100	5644,08	5,94	260,93	19,18	0,92	$3,46 \times 10^{-2}$	$9,94 \times 10^{-4}$
150	7246,61	8,54	715,60	85,76	2,02	$3,54 \times 10^{-2}$	$13,38 \times 10^{-4}$
200	5056,42	8,62	1355,08	162,64	6,36	$3,02 \times 10^{-2}$	$15,71 \times 10^{-4}$

[] indica concentração aniónica determinada analiticamente.
 () indica concentração aniónica real ou atividade aniônica.

- . a atividade do fosfato na solução do solo foi afetada diretamente pela adição de fosfato ao solo;
- . a atividade de potássio na solução do solo não foi alterada pela adição de fosfato monocálcico ao solo;
- . as atividades de cálcio e magnésio responderam negativamente à adição de fosfato ao solo.

5. SUMMARY

(THE EFFECT OF APPLYING PHOSPHORUS ON THE IONIC COMPOSITION OF A SOIL SOLUTION)

The main aim of this study was to evaluate the effect of adding phosphorus to the soil on the concentration, activity, and ionic strength of the soil solution drawn from an Epieutrophic Dark Red Latosol soil column.

The phosphorus was added in the form of monocalcium phosphate in the following doses: 0, 50, 100, and 200 ppm. 25 ppm of Mg was also added in the form of $MgSO_4 \cdot 7H_2O$, as well as 50 ppm of K (KCl).

The soil samples were incubated at 0.01 MPa for two successive seven-day periods, with alternate wetting and drying, and then stored in glass columns.

The soil solutions were obtained by dislocating the phosphorus from the soil columns with a $CaS_0_4/KSCN$ solution. The analytical concentrations were corrected for ionic activities by use of a correctional model of ionic association.

The results permitted the following conclusions:

- . the phosphate activity in the soil solution was directly related to the addition of phosphorus in the soil;
- . the potassium activity in the soil solution was not affected by the addition of phosphates in the soil;
- . the calcium and magnesium activities were inversely related to the monocalcium phosphate addition to the soil.

6. LITERATURA CITADA

1. ADAMS, F. Ionic Concentrations and Activities in Soil Solutions. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, 35: 420-426. 1971.
2. ADAMS, F. Soil Solution. In: CARSON, E.W. (ed.). *The Plant Root and Its Environment*. Charlottesville, Univ. Virginia Press, 1974. Cap. 15. p. 441-481.
3. AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. Total Metal Analysis. In: *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. Washington, 1976. p. 147.
4. ARZHANOVA, V.S. & VERTEL, Y.F. Trace Elements and Soluble Organic Matter in Lysimeter Water. *Sov. Soil Sci.*, 13: 72-78. 1981.
5. BAHAM, J. Prediction of Ion Activities in Soil Solutions. Computer Equilibrium Modeling. *Soil Sci. Soc. Amer. J.*, 48: 525-531. 1984.
6. BAHIA FILHO, A.F.C. *Índices de Disponibilidade de Fósforo em Latossolos do Planalto Central com Diferentes Características Texturais e Mineralógicas*. Viçosa, Imp. Univ., 182. 179 p. (Tese D.S.).

7. BENIANS, G.; SCULLION, P. & FITZHUGH, G.R. Concentrations and Activities of Ions in Solutions Displaced From Basaltic Soils. *J. Soil Sci.*, 28: 454-461. 1977.
8. BLACK, A.S. & CAMPBELL, A.S. Ionic Strength of Soil Solution and its Effect on Charges Properties of Some New Zeland Soils. *J. Soil Sci.*, 33: 249-262. 1982.
9. BRAGA, J.M. & DEFELIPO, B. V. Determinação Espectrofotométrica de Fósforo em Extratos de Solo e Material Vegetal. *Rev. Ceres*, 21: 73-85. 1974.
10. BURD, J.S. & MARTIN, J.C. Water Displacement of Soils and the Soil Solution. *J. Agric. Sci.*, 13: 265-295. 1923.
11. CURTIN, D. & SMILLIE, G.W. Soil Solution Composition as Affected by Liming and Incubation. *Soil Sci. Soc. Amer. J.*, 47: 701-707. 1983.
12. D'YAKONOVA, K.V. Methods of Investigating the Nature and Dynamics of Humus Substances in the Soil Solution. *Sov. Soil Sci.*, 4:384-390. 1964.
13. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. *Manual de Métodos de Análise de Solo*. Rio de Janeiro, Serviços Nacionais de Levantamento e Conservação de Solos, 1979. (s.n.p.).
14. EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. *Levantamento de Reconhecimento de Média Intensidade dos Solos e Avaliação da Aptidão Agrícola das Terras do Triângulo Mineiro*. Rio de Janeiro, Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos, 1982. 526 p. (Boletim de Pesquisa N.º 1).
15. KAURICHEV, I.S.; IVANOVA, T.N. & NOZDRUNOVA, K.A. Low-Molecular Organic Acid Content of Water-Soluble Organic Matter in Soils. *Sov. Soil. Sci.*, 3:223-229. 1963.
16. LARSEN, S. & WIDDOWSON, A.E. Chemical Composition of Soil Solution. *J. Sci. Fd. Agric.*, 19:693-695. 1968.
17. MARCOS, M.L.F.; MACIAS, F. & OJEA, F.G. Estudio Comparativo de Dos Metodos de Obtención de la Solución del Suelo. Aplicación al Estudio de la Solución de Suelos Podzólicos de Galicia. *Anal. Edaf.*, 9-10: 1587-1607. 1980.
18. MOSS, P. Some Aspects of the Cation Status of Soil Moisture, I. The Ratio Law and Soil Moisture Content. *Plant Soil*, 18: 99-113. 1963.
19. NETTLETON, W.D. & MacCRACKEN, R.J. Organic Compounds in Soil Water of Some Ultisols of the Atlantic Coastal Plain. *J. Environ. Qual.*, 1: 387-389. 1972.
20. PARKER, F.W. Methods of Studying the Concentration and Composition of the Soil Solution. *Soil Sci.*, 12: 209-232. 1921.

21. SAMOYLOVA, Ye.M. & DEMKIN, V.A. Composition of Different Fractions of the Soil Solution. *Sov. Soil Sci.*, 8:665-668. 1976.
22. SPOSITO, G. Solubility Equilibria in Soil Solutions. In: *The Thermodynamics of Soil Solutions*. Oxford, Clarendon Press, 1981. Cap. 3. p. 66-94.
23. SPOSITO, G. & BINGHAM, F.T. Computer Modeling of Trace Metal Speciation in Soil Solutions. Correlation with Trace Metal Uptake by Higher Plants. *J. Plant Nutr.*, 3: 35-49. 1981.