

RELAÇÃO ENTRE O ZINCO “DISPONÍVEL”, POR DIFERENTES EXTRATORES, E AS FRAÇÕES DE ZINCO EM AMOSTRAS DE SOLOS⁽¹⁾

M. F. G. OLIVEIRA⁽²⁾, R. F. NOVAIS⁽³⁾, J. C. L. NEVES⁽³⁾,
C. A. VASCONCELLOS⁽⁴⁾ & V. M. C. ALVES⁽⁴⁾

RESUMO

Para determinar o zinco “disponível” do solo para plantas, vários procedimentos de extração têm sido desenvolvidos. Uma alternativa utilizada no estudo de extratores do Zn “disponível” refere-se ao fracionamento do Zn total do solo, com vistas em entender suas reações no solo e o comportamento dos extratores. Este trabalho objetivou avaliar a dependência existente entre o teor de Zn disponível, por diferentes extratores, e as frações deste elemento no solo e características dos solos. Para isto, amostras de doze solos da camada de 0-20 cm de profundidade, correspondendo aos grandes grupos de Latossolo Vermelho-Escuro (LE), Latossolo Vermelho-Amarelo (LV), Latossolo Amarelo (LA), Podzólico Vermelho-Amarelo (PV) e Areia Quartzosa (AQ), receberam as doses de 0 e 20 mg dm⁻³ de Zn e foram incubadas por 30 dias. O Zn extraível por DTPA-TEA-CaCl₂, HCl (0,1 mol L⁻¹), Mehlich-1 (M-1) e Mehlich-3 (M-3) foi determinado. Essas amostras dos solos foram também submetidas ao fracionamento de Zn, determinando-se Zn trocável (Zntr), ligado à matéria orgânica (Znmo), ligado a óxido de manganês (ZnMn), ligado a óxido de ferro amorfo (ZnFea) e ligado a óxido de ferro cristalino (ZnFec). Concluiu-se que os extratores DTPA e M-3 revelaram maior sensibilidade às características do solo relacionadas com o fator capacidade (poder tampão). Os extratores M-1 e HCl apresentaram menor sensibilidade e menor correlação com estas características, considerando seu maior poder de extração e conseqüente menor desgaste. A relação Zn recuperado pelo extrator/Zn aplicado ao solo demonstrou ser a característica que melhor se correlacionou com características do solo relacionadas com o fator capacidade de Zn. A fração de Zn trocável foi a maior responsável pela quantidade de Zn obtido pelos extratores testados. As frações de Zntr, Znmo, ZnMn, ZnFea e ZnFec não foram suficientes para explicar, em todos os casos, o zinco recuperado pelos extratores.

Termos de indexação: fracionamento de zinco, micronutriente, análise de solo, fator capacidade de zinco.

⁽¹⁾ Recebido para publicação em setembro de 1998 e aprovado em junho de 1999.

⁽²⁾ Engenheiro-Agrônomo, Doutorando em Solos e Nutrição de Plantas, Departamento de Ciência do Solo, Universidade Federal de Lavras (UFLA). CEP 37200-000 Lavras (MG).

⁽³⁾ Professor do Departamento de Solos, Universidade Federal de Viçosa. CEP 36571-000 Viçosa (MG).

⁽⁴⁾ Pesquisador da Embrapa Milho e Sorgo. Rodovia MG 424 Km 65, Caixa Postal 151, CEP 35701-970 Sete Lagoas (MG).

SUMMARY: RELATIONSHIP BETWEEN THE ZINC AVAILABLE BY DIFFERENT EXTRACTING SOLUTIONS AND ZINC FRACTIONS IN SOIL SAMPLES

Many extracting procedures for the plant-available zinc have been developed. Total soil Zn fractionation has been used as an attempt to understand the reactions of this nutrient in soils and the behaviour of the extracting procedures. This work evaluated the influence of soil characteristics on the concentration of Zn extracted by different procedures and on soil Zn fractions. Samples were collected from the 0-20 cm surface layer of twelve soils, representing the great soil groups of Dark-Red Latosol (LE), Red-Yellow Latosol (LV), Yellow Latosol (LA), Red-Yellow Podzolic (PV), and Quartzi Psaments (AQ). The soil samples received 0 and 20 mg dm⁻³ of Zn and were incubated for 30 days. Soil Zn concentration was determined after extraction with DTPA-TEA-CaCl₂, 0.1 mol L⁻¹ HCl, Mehlich-1 (M-1) and Mehlich-3 (M-3). Zinc fractionation was also carried out to determine exchangeable Zn (ExZn), Zn tied up to organic matter (OmZn), to manganese oxide (MnZn), to amorphous iron oxide (AFeZn), and to crystalline iron oxide (CFeZn). DTPA and M-3 were the extractants with larger sensitivity to the soil characteristics related to the capacity factor (buffering power). The M-1 and HCl extractants presented lower sensitivity and lower correlation with these characteristics due to their larger extraction power. The ratio Zn recovered by the extractant / Zn applied to the soil showed the best correlation with soil characteristics related to the Zn capacity factor. Exchangeable Zn fraction was the largest source of this nutrient to the tested extractants. The fractions of ExZn, OmZn, MnZn AFeZn and CFeZn did not account for the zinc recovered by the extractants, in all cases.

Index terms: zinc fractionation, micronutrient, soil analyses, zinc capacity factor.

INTRODUÇÃO

A pesquisa sobre a disponibilidade de nutrientes, particularmente de micronutrientes, em solos tem apresentado resultados contraditórios. Isto se deve, em grande parte, às numerosas inter-relações entre características dos solos e a porção do nutriente tida como "disponível". Tais resultados indicam a necessidade de maior refinamento de interpretações que melhor expressem a disponibilidade de micronutrientes e a resposta de plantas.

De modo geral, os extratores utilizados para Zn, e para os outros micronutrientes, podem ser agrupados de acordo com suas propriedades químicas em: sais neutros, ácidos, bases e agentes quelatantes ou complexantes (Wu et al., 1991). Os sais neutros contêm cátions com característica química similar ao elemento que se deseja extrair, promovendo o seu deslocamento para a solução extratora. Os extratores ácidos, como o Mehlich-1 e o HCl 0,1 mol L⁻¹, atuam por dissolução (Wu et al., 1991). Entre os métodos de extração com agente complexante, citam-se DTPA-TEA-CaCl₂ e o Mehlich-3 (Mehlich, 1984).

A adsorção, com grande energia, do Zn nos solos, particularmente naqueles com argila predominantemente oxídica (Kalbasi et al., 1978; Cavallaro & McBride, 1984) ou em condições de pH mais

elevado (Lindsay, 1972; Bar-Yosef, 1979), tem sido considerada importante causa da sua restrita disponibilidade para as plantas. Assim, a restrita dessorção do Zn do solo nessas condições fez com que seus níveis críticos (NCs) pelos extratores Mehlich-1 e HCl 0,1 mol L⁻¹, para o cultivo de milho em amostras de solos de cerrado, mostrassem-se inversamente relacionados com características dos solos que refletem o seu poder tampão ou fator capacidade de Zn (FCZn) (Couto et al., 1992). É provável que o desgaste do extrator, como largamente observado para P (Novais & Smyth, 1999), seja responsável por essa dependência dos valores dos NCs ao FCZn.

O entendimento da disponibilidade de micronutrientes em solos tem melhorado pelo uso de técnicas de extrações seqüenciais, permitindo observar a distribuição do elemento em diferentes frações no solo (Sims, 1986; Soon, 1994; Ahumada et al., 1997; Chowdhury et al., 1997). Em geral, esquemas de fracionamento avaliam a concentração do elemento em solução, trocável, organicamente complexado e ligado a óxidos. Amostras de 20 solos de Nova Zelândia foram submetidas ao fracionamento de Zn, mostrando que a participação de cada fração, em relação ao Zn total, variou entre solos. Na média, 3% de Zn total encontrou-se na forma trocável, 5% ligado à matéria orgânica (MO), 9, 18 e 24% associados a óxidos de Mn, de Fe amorfo e

cristalino, respectivamente, e 40% na fração residual. Extratores do Zn disponível correlacionaram-se mais intimamente com o Zn trocável e com o ligado a MO (Chowdhury et al., 1997).

Cada vez mais, tem-se tentado um refinamento da técnica de fracionamento para o desenvolvimento de um método adequado ao maior número possível de classes de solos.

Este trabalho objetivou avaliar as relações existentes entre os teores de Zn "disponível" pelos extratores DTPA-TEA-CaCl₂, Mehlich-1, Mehlich-3 e HCl e as diferentes frações desse elemento no solo e seus atributos.

MATERIAL E MÉTODOS

Amostras de 12 solos da camada de 0-20 cm de profundidade foram coletadas nos municípios de Campina Verde, Sete Lagoas, Paracatu, Patrocínio, Três Marias, Uberaba e Ponte Nova, no estado de Minas Gerais, e nos municípios de Aracruz e de Açailândia, nos estados do Espírito Santo e do Maranhão, respectivamente. Esses solos compreendem uma ampla variação textural, correspondendo aos grandes grupos de Latossolo Vermelho-Escuro (LE), Latossolo Vermelho-Amarelo (LV), Latossolo Amarelo (LA), Podzólico Vermelho-Amarelo (PV) e Areia Quartzosa (AQ). Essas amostras foram secas ao ar, passadas em peneira de 2 mm, homogeneizadas (TFSA) e submetidas a análises químicas, físicas e mineralógicas (Quadros 1 e 2).

Teor de zinco "disponível"

Foram retiradas seis subamostras de 100 cm³ de cada amostra de solo. Três subamostras receberam uma dose de 20 mg dm⁻³ de Zn na forma de ZnCl₂, reagente p.a., e as outras três não, sendo todas elas incubadas por um período de 30 dias à temperatura ambiente. As subamostras foram, então, secas, passadas em peneira de 2 mm e submetidas à análise por quatro extratores:

Mehlich-1 (HCl 0,05 mol L⁻¹ e H₂SO₄ 0,0125 mol L⁻¹): 10 cm³ TFSA + 100 mL de solução extratora foram agitados por 5 min, deixados em repouso por 16 h e retirada uma alíquota para determinação de Zn (Defelipo & Ribeiro, 1981).

HCl (0,1 mol L⁻¹): 2 cm³ TFSA + 20 mL de solução extratora foram agitados por 5 min, centrifugados, retirado o sobrenadante, repetindo-se o processo por duas vezes. Os sobrenadantes foram filtrados e reunidos em um único extrato, homogeneizado e, então, retirada uma alíquota para determinação de Zn (Wu et al., 1991).

DTPA-TEA-CaCl₂ (ácido dietileno-triaminopentacético 0,005 mol L⁻¹, trietanolamina 0,1 mol L⁻¹ e CaCl₂.2H₂O 0,01 mol L⁻¹, pH ajustado para 7,3):

10 cm³ de TFSA + 20 mL de solução extratora foram agitados por 2 h, filtrados e, então, retirada uma alíquota para determinação de Zn (Lindsay & Norvell, 1978).

Mehlich-3 (CH₃COOH 0,2 mol L⁻¹, NH₄NO₃ 0,25 mol L⁻¹, NH₄F 0,015 mol L⁻¹, HNO₃ 0,013 mol L⁻¹ e ácido etileno-diaminopentacético 0,001 mol L⁻¹): 3 cm³ de TFSA + 30 mL de solução extratora foram agitados por 5 min, filtrados e retirada uma alíquota para determinação de Zn (Mehlich, 1984).

O Zn obtido pelos diferentes métodos de extração foi dosado por espectrofotometria de absorção atômica.

Método de fracionamento de zinco do solo

O processo de fracionamento consistiu na separação do Zn presente no solo nas formas Zn trocável (Zntr), Zn ligado à matéria orgânica (Znmo), Zn ligado a óxido de manganês (ZnMn), Zn ligado a óxido de ferro amorfo (ZnFea) e Zn ligado a óxido de ferro cristalino (ZnFec), segundo Sims (1986). Esse procedimento foi usado nas subamostras com e sem aplicação de 20 mg dm⁻³ de Zn, utilizadas na extração do "disponível". Estimou-se, também, o Zn retido no solo sob outras formas que não as citadas (zinco residual, obtido pela diferença: 20 - [Zn total (somatório de todas as frações anteriores) na dose de 20 mg dm⁻³] + Zn total na dose 0 de Zn). Todas as frações foram obtidas da mesma amostra em um processo de extração sequencial.

Zinco trocável: 5 cm³ TFSA foram agitados por 2 h com 20 mL de uma solução Mg(NO₃)₂ 1 mol L⁻¹ em um tubo de centrifuga de 100 mL. A amostra foi centrifugada por 10 min. O sobrenadante foi separado, e adicionaram-se 20 mL de água deionizada ao solo, agitando-se por mais 3 min e centrifugado-se. Os dois sobrenadantes foram homogeneizados, determinando-se Zn.

Zinco ligado à matéria orgânica: 10 mL de solução de NaClO 53 g L⁻¹, pH 8,5, foram adicionados ao solo residual, no tubo de centrifuga. A amostra foi aquecida em banho-maria até 100°C por 30 min, centrifugada e o sobrenadante filtrado em papel de filtro Whatman 42. Tal procedimento foi repetido uma vez mais e os filtrados combinados. Depois, foram adicionados 10 mL de água deionizada à amostra no tubo de centrifuga, agitando-se por 3 min, centrifugando-se, filtrando-se e misturando-se o filtrado com o extrato NaClO. O solo no tubo de centrifuga, do procedimento anterior, foi seco ao ar, triturado e passado em uma peneira de 0,5 mm. O material obtido foi utilizado na extração da fração de Zn ligado a óxido de manganês.

Zinco ligado a óxido de manganês: 2,5 g de solo (resíduo) do procedimento anterior e 25 mL de uma solução NH₂OH.HCl 0,1 mol L⁻¹, pH 2,0, foram agitados por 30 min em tubo de centrifuga. A amostra foi, então, centrifugada e filtrada como

descrito anteriormente e o extrato reservado para determinação de Zn. Vinte e cinco mililitros de água deionizada foram adicionados, agitados com o solo por 3 min e descartados.

Zinco ligado a óxido de ferro amorfo: 25 mL de uma solução $\text{NH}_2\text{OH}\cdot\text{HCl}$ $0,25 \text{ mol L}^{-1}$ + HCl $0,25 \text{ mol L}^{-1}$ foram adicionados ao solo no tubo de centrifuga e aquecidos por 30 min a 50°C , em banho-maria. As amostras foram centrifugadas, filtradas e lavadas como no processo anterior e o extrato reservado para determinação de Zn.

Zinco ligado a óxido de ferro cristalino: 25 mL de uma solução $(\text{NH}_4)_2\text{C}_2\text{O}_4$ $0,2 \text{ mol L}^{-1}$ + $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$ $0,2 \text{ mol L}^{-1}$, pH 3,0, foram adicionados ao solo no tubo de centrifuga e aquecidos por 30 min a 100°C , em banho-maria, e agitados ocasionalmente. As amostras foram, então, centrifugadas, filtradas como já descrito, determinando-se o Zn.

A determinação de Zn foi feita por espectrofotometria de absorção atômica nos extratos de cada uma das frações de Zn.

Procedimento estatístico

O experimento constou de um fatorial de 12×2 , correspondendo a solos e doses de Zn, respectivamente, em um delineamento inteiramente casualizado, com três repetições.

Os teores de Zn obtidos pelos extratores e pelo fracionamento foram submetidos a análises de correlação simples e análises de variância, utilizando-se o SAEG (Sistema de Análises Estatísticas e Genéticas) e regressões múltiplas realizadas no sistema SAS. Correlacionaram-se os teores de Zn obtidos pelos extratores DTPA, HCl, Mehlich-1 (M-1) e Mehlich-3 (M-3) com as características dos solos relacionadas com sua capacidade tampão.

Quadro 1. Características químicas e físicas das amostras dos solos de Campina Verde (CV-AQd e CV-LEm), Três Marias (TM-LEm e TM-LVm), Aracruz (ARA-LA), Açailândia (AÇA-LA), UBE1-LVa e UBE2-LVa), Paracatu (PAR-LV), Sete Lagoas (SL-LE), Patrocínio (PAT-LV)* e Ponte Nova (PN-PV)

Característica	Solo ^(a)											
	CV-AQd	CV-LEm	TM-LEm	TM-LVm	ARA-LA	AÇA-LA	UBE1-LVa	UBE2-LVa	PAR-LV	SL-LE	PAT-LV	PN-PV
pH em H_2O 1:2,5	5,05	4,97	4,64	4,99	4,40	5,03	5,34	5,00	4,70	4,38	4,64	4,87
pH em KCl 1 mol L^{-1} 1:2,5	3,84	4,83	4,92	4,15	3,69	4,00	4,04	4,02	4,07	3,83	4,21	4,92
P Total, mg dm^{-3} ⁽¹⁾	64,1	243,0	116,1	41,0	64,4	94,4	298,0	363,1	228,1	934,0	439,6	-
P Mehlich-1, mg dm^{-3} ⁽²⁾	2,9	1,3	0,7	0,2	0,3	1,0	0,2	0,2	0,5	1,3	0,2	1,27
P Mehlich-3, mg dm^{-3} ⁽³⁾	3,7	1,8	1,3	0,3	0,3	1,5	0,8	1,0	0,6	2,7	0,0	-
P Bray-1, mg dm^{-3} ⁽⁴⁾	0,8	1,1	0,5	0,0	0,0	0,2	0,0	0,0	0,2	0,5	0,5	-
P Olsen, mg dm^{-3} ⁽⁵⁾	1,2	1,5	1,5	1,2	0,8	0,8	3,1	3,1	1,4	0,5	0,8	-
P remanescente, mg L^{-1} ⁽⁶⁾	37,1	21,1	38,1	29,9	29,9	46,1	3,4	4,8	4,6	3,2	1,8	31,6
CMAP, mg cm^{-3} ⁽⁷⁾	0,390	0,659	0,335	0,434	0,453	0,299	1,673	1,887	1,728	1,757	1,936	-
CMAS, mg cm^{-3} ⁽⁷⁾	0,011	0,063	0,012	0,067	0,064	-	0,188	0,188	0,215	0,199	0,279	-
SiO_2 , g kg^{-1} ⁽⁸⁾	46,2	77,2	45,8	38,4	138,6	112,8	164,8	88,2	235,8	247,6	67,0	-
Al_2O_3 , g kg^{-1} ⁽⁸⁾	35,7	66,3	51,0	81,6	128,6	86,7	327,5	363,2	360,7	277,8	257,0	-
Fe_2O_3 , g kg^{-1} ⁽⁸⁾	26,9	68,9	23,0	25,0	29,9	24,0	87,9	58,8	81,8	116,8	141,2	-
TiO_2 , g kg^{-1} ⁽⁸⁾	5,4	23,0	8,8	9,9	19,3	8,2	18,8	22,5	12,3	10,3	7,8	-
P_2O_5 , g kg^{-1} ⁽⁸⁾	0,2	0,6	0,1	0,1	0,1	0,1	0,8	0,7	0,6	2,1	0,9	-
Al^{3+} , $\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ⁽⁹⁾	11,3	14,1	7,5	7,5	15,0	12,9	9,0	10,8	8,9	17,4	5,2	4,0
Ca^{2+} , $\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ⁽⁹⁾	1,8	2,4	0,0	0,0	1,9	10,9	0,8	0,0	1,0	9,4	1,9	5,3
Mg^{2+} , $\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ⁽⁹⁾	1,7	4,2	0,4	0,3	1,0	2,3	0,9	0,6	1,3	1,5	1,6	1,3
H+Al, $\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ⁽¹⁰⁾	46,4	52,2	31,7	24,8	36,4	29,4	78,9	82,8	78,9	128,4	86,6	39,0
S, $\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$	4,8	7,8	0,9	0,6	3,2	13,5	2,5	1,4	2,4	11,7	5,4	7,6
CTC efetiva, $\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$	16,1	21,9	8,4	8,1	18,2	26,4	11,5	12,2	11,3	29,1	10,6	11,6
CTC total, $\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$	62,5	74,1	40,1	32,9	54,6	55,8	90,4	95,0	90,2	157,5	97,2	46,6
V %	7,7	10,5	2,2	1,8	5,9	24,2	2,8	1,5	2,7	7,4	5,6	16,8
m %	70,2	64,4	89,3	92,6	82,4	51,1	78,23	88,5	78,8	59,8	49,1	34,6
C.O. g kg^{-1} ⁽¹¹⁾	5,1	8,2	5,3	3,0	2,5	7,0	22,8	21,3	21,1	21,3	28,5	6,5
Areia grossa, g kg^{-1} ⁽¹²⁾	580	520	500	510	460	500	110	150	30	80	180	500
Areia fina, g kg^{-1} ⁽¹²⁾	290	230	360	300	170	190	60	60	80	70	40	220
Silte, g kg^{-1} ⁽¹²⁾	10	20	20	30	20	100	160	190	210	130	240	60
Argila, g kg^{-1} ⁽¹²⁾	120	230	120	160	350	210	670	600	680	720	540	220
Capac. Campo, kg kg^{-1} ⁽¹³⁾	0,15	0,19	0,15	0,18	0,18	0,19	0,33	0,35	0,35	0,37	0,37	0,18
Dens. Aparente, g cm^{-3} ⁽⁶⁾	1,30	1,25	1,39	1,38	1,31	1,31	0,98	0,96	0,94	0,96	1,00	1,22

^(a) Fonte: Com a exceção do PN - PV, amostras dos demais solos foram as mesmas utilizadas e analisadas por Fernández R. (1994).

⁽¹⁾ Ataque $\text{HNO}_3/\text{HClO}_4$ (8:3) (v/v) (LANARV/SNAD, 1983). ⁽²⁾ Extrator: Mehlich-1 (Defelipo & Ribeiro, 1981). ⁽³⁾ Extrator: Mehlich-3 (Mehlich, 1984). ⁽⁴⁾ Extrator: Bray-1 (Bray & Kurtz, 1945). ⁽⁵⁾ Extrator: Olsen (Alvarez V., 1982). ⁽⁶⁾ (Alvarez V., 1982). ⁽⁷⁾ CMAP = Capacidade máxima de adsorção de P; CMAS = capacidade máxima de adsorção de S (Alvarez V., 1985). ⁽⁸⁾ Ataque sulfúrico (Vettori, 1969). ⁽⁹⁾ Extrator: KCl 1 mol L^{-1} (Defelipo & Ribeiro, 1981). ⁽¹⁰⁾ Extrator: CaOAc $0,5 \text{ mol L}^{-1}$, pH 7,0 (Defelipo & Ribeiro, 1981). ⁽¹¹⁾ Método Walkley-Black (Defelipo & Ribeiro, 1981). ⁽¹²⁾ Método da pipeta (EMBRAPA, 1979). ⁽¹³⁾ Método da coluna (Fernandes & Sykes, 1968).

Quadro 2. Composição mineralógica da fração argila, [caulinita (Ct), gibsitita (Gb) e goethita (Gt)], calculada a partir dos teores de óxidos obtidos pelo ataque sulfúrico e valores de Ki, Kr e de relações de óxidos de amostras dos solos

Solo ⁽¹⁾	Composição mineralógica ⁽²⁾			Ki	Kr	Relações moleculares	
	Ct	Gb	Gt			Al ₂ O ₃ /Fe ₂ O ₃	SiO ₃ /Fe ₂ O ₃
	g kg ⁻¹						
CV-AQd	86	-	37	2,20	1,48	2,08	4,56
CV-LEm	165	-	67	1,97	1,18	1,51	2,90
TM-LEm	98	16	28	1,52	1,18	3,47	5,29
TM-LVm	83	73	29	0,80	0,67	5,11	4,08
ARA-LA	298	14	22	1,83	1,60	6,94	12,69
AÇA-LA	243	-	30	2,21	1,88	5,65	12,48
UBE1-LVa	354	284	96	0,85	0,73	5,83	4,98
UBE2-LVa	190	438	55	0,41	0,37	9,66	3,98
PAR-LV	507	243	97	1,11	0,97	6,90	7,66
SL-LE	143	101	143	1,51	1,19	3,72	5,63
PAT-LV	144	304	177	0,44	0,33	2,85	1,26

⁽¹⁾ Fonte: Fernández R. (1994). O solo PN-PV não foi analisado. ⁽²⁾ Segundo método de Resende et al. (1987).

As regressões múltiplas foram ajustadas por meio dos teores de Zn obtidos pelos extratores na dose de 0 e 20 mg dm⁻³, em função dos teores obtidos pelo fracionamento. Para calcular as regressões, foram utilizadas apenas as frações de Zn que apresentaram coeficiente de correlação entre si inferior a 0,8, eliminando-se, assim, os problemas de interpretação gerados por possível colinearidade entre frações de Zn. As equações de regressão múltipla tiveram a significância dos coeficientes testada por meio do quadrado médio do resíduo da análise de variância.

Utilizou-se, também, um procedimento para a determinação de "outliers", valores observados que apresentem 2,5 vezes ou mais a variância observada no experimento. Todo "outlier" detectado foi retirado do modelo e a equação novamente calculada. Após a eliminação dos "outliers", procedeu-se à eliminação das variáveis independentes que não apresentavam coeficiente significativo dentro da equação. Optou-se, também, pelo procedimento "selectium-stepwise" que fornece os valores de R² parciais de cada um dos coeficientes significativos da equação. Finalmente, determinou-se a significância da falta de ajustamento dos modelos de regressão.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O teor médio de Zn na dose de 20 mg dm⁻³ foi maior para os extratores HCl e M-1, seguidos pelo M-3 e, por último, pelo DTPA, como indicado pelas relações Zn recuperado/Zn adicionado, para o conjunto de solos (Quadro 3). Essa extração diferencial é resultante dos diferentes mecanismos de extração, em razão, principalmente, da composição química dos extratores (Wu et al., 1991).

A admissão da linearidade para o Zn recuperado como variável do aplicado para os extratores utilizados é baseada em outros trabalhos, em que diversos autores, trabalhando com diferentes doses de Zn e os mesmos extratores utilizados neste trabalho, obtiveram uma recuperação (extração) também linear (Singh et al., 1994; Akram et al., 1995; Davis et al., 1995; Menezes, 1997).

Os extratores HCl e M-1 apresentaram as menores variabilidades quanto à extração, considerando o conjunto de solos, como indicado pelos menores coeficientes de variação, 10,63 e 11,10%, respectivamente (Quadro 3), indicando a menor sensibilidade desses extratores à capacidade tampão dos solos, dado o provável menor desgaste desses dois extratores, como evidenciam Novais & Smyth (1999) para fósforo.

Correlações entre os teores de Zn pelos extratores HCl e M-1 e características que representam a capacidade tampão do solo para a condição de não-aplicação de Zn (Quadro 4) foram significativas, mas não para os extratores DTPA e M-3. Possivelmente, isso se deve ao maior poder de extração do HCl e M-1, desestabilizando ligações mais estáveis. Com a aplicação de Zn (20 mg dm⁻³), notou-se inversão nas tendências dessas correlações. Nessa condição, os extratores HCl e M-1 apresentaram correlações negativas e menores com medidas que estimam a capacidade tampão do solo (Quadro 4), enquanto DTPA e M-3 apresentaram correlações negativas mais elevadas com essas características. Essa inversão deveu-se aparentemente ao maior poder de extração dos extratores HCl e M-1 e, conseqüentemente, ao menor desgaste desses extratores em condições mais tamponadas, como já observado para fósforo (Bahia Filho, 1982). Considerando, no entanto, as

Quadro 3. Zinco extraído por HCl, Mehlich-1 (M-1), Mehlich-3 (M-3) e DTPA das amostras dos solos nas doses de 0 e 20 mg dm⁻³ de Zn e as respectivas relações (declividades) entre o Zn recuperado pelo extrator por unidade de Zn aplicada (mg dm⁻³/mg dm⁻³) do modelo linear

Solo	Dose	HCl		M-1		M-3		DTPA	
		— mg dm ⁻³ —	Decliv.	mg dm ⁻³	Decliv.	mg dm ⁻³	Decliv.	mg dm ⁻³	Decliv.
CV- AQd	0	0,05		0,19		0,45		0,11	
	20	16,14	0,80	15,83	0,78	15,10	0,73	8,43	0,42
CV-LEm	0	0,05		0,23		0,28		0,31	
	20	14,78	0,74	14,96	0,74	11,96	0,58	8,02	0,39
TM-LEm	0	0,00		0,07		0,04		0,06	
	20	15,51	0,78	15,43	0,77	14,26	0,71	8,42	0,42
T2-LVm	0	0,00		0,14		0,09		0,08	
	20	16,69	0,83	16,74	0,83	15,98	0,79	8,87	0,44
ARA-LA	0	0,14		0,19		0,34		0,20	
	20	20,04	1,00	17,54	0,87	18,19	0,89	10,05	0,49
AÇA-LA	0	0,22		0,41		0,70		0,35	
	20	19,05	0,94	17,95	0,88	17,70	0,85	11,39	0,55
UBE-LVa1	0	0,62		0,75		0,72		0,28	
	20	16,37	0,79	16,44	0,78	10,85	0,51	7,43	0,36
UBE-LVa2	0	0,26		0,30		0,16		0,11	
	20	16,60	0,82	15,63	0,77	11,37	0,56	8,38	0,41
PAR-LV	0	0,14		0,27		0,04		0,12	
	20	14,68	0,73	14,84	0,73	8,42	0,42	5,84	0,29
SL-LE	0	0,36		0,50		0,28		0,23	
	20	14,08	0,69	12,96	0,62	7,28	0,35	4,17	0,20
PAT-LV	0	0,58		0,68		0,88		0,26	
	20	15,93	0,77	15,31	0,73	10,32	0,47	7,89	0,38
PN - PV	0	0,57		0,64		1,18		0,38	
	20	17,41	0,84	15,68	0,75	15,29	0,71	9,18	0,44
Média			0,81		0,77		0,63		0,40
I.C. (5%) ⁽¹⁾			0,78-0,84		0,74-0,81		0,57-0,69		0,37-0,43
C.V. (%) ⁽¹⁾			10,63		11,10		26,91		22,56

⁽¹⁾ Intervalo de confiança e coeficiente de variação calculados, utilizando três repetições para todos os solos.

correlações entre as características relacionadas com a capacidade tampão do solo e as declividades Zn recuperado/Zn adicionado, verificaram-se, de modo geral, maiores valores de correlação para todos os extratores. Comparando entre si os extratores mais sensíveis, DTPA e M-3, percebeu-se maior sensibilidade para o M-3 do que para o DTPA, evidenciada pelo maior coeficiente de variação para o M-3 (Quadro 3) e pelos maiores coeficientes de correlação entre características dos solos e este extrator (Quadro 4).

Os extratores HCl e M-1 são os métodos mais amplamente utilizados na determinação do Zn “disponível”, apesar das baixas correlações com o Zn absorvido pelas plantas (Tucker & Kurtz, 1955; Muraoka et al., 1983; Davis et al., 1995).

Quanto ao fracionamento de Zn do solo, nos tratamentos sem sua adição ao solo, as frações com as maiores concentrações em relação ao valor total de Zn foram ZnMn e ZnFec, para os solos arenosos, e ZnFea e ZnFec, para os solos de textura argilosa (Quadro 5). Para os solos argilosos, o maior teor de goetita (Quadro 2) parece ter sido o principal responsável pela retenção de Zn. A relação entre oxidróxidos e passagem de Zn da forma lábil para não-lábil tem sido amplamente demonstrada pela literatura (Elgabaly, 1950; Hodgson, 1963; Cavallaro & McBride, 1984; Cunha, 1989). Nos solos arenosos, a quantidade de goetita é consideravelmente menor, o que pode explicar a alocação de Zn na fração ZnMn. Fica evidente para o solo sem a aplicação de Zn que as principais formas de retenção do elemento

Quadro 4. Correlação de Pearson entre características do solo, fração de zinco residual (Znres) e teores de zinco extraídos por HCl, Mehlich-1 (M-1), Mehlich-3 (M-3) e DTPA e as respectivas declividades⁽¹⁾ para as amostras dos solos e doses de zinco testadas

Característica ⁽²⁾	Dose ou Decl. Zn	Znres. ⁽³⁾	Dose (mg dm ⁻³)				Declividade (mg dm ⁻³ /mg dm ⁻³)							
			0		20		0		20					
			HCl	M-1	M-3	DTPA	HCl	M-1	M-3	DTPA				
P-remanescente		-0,68**	-0,51*	-0,48	0,06	0,01	0,53*	0,58*	0,88**	0,74**	0,58*	0,64*	0,88**	0,76**
H + Al		0,71**	0,48	0,48	-0,04	0,05	-0,59*	-0,74**	-0,90**	-0,83**	-0,64*	-0,80**	-0,91**	-0,86**
CTC total		0,62*	0,42	0,44	-0,05	0,12	-0,54*	-0,71**	-0,84**	-0,79**	-0,58*	-0,76**	-0,85**	-0,81**
C.O.		0,76**	0,63*	0,62*	0,12	0,09	-0,48	-0,49	-0,84**	-0,61*	-0,55*	-0,59*	-0,87**	-0,64**
Argila		0,55*	0,54*	0,51*	-0,04	0,05	-0,35	-0,46	-0,80**	-0,68**	-0,40	-0,53*	-0,80**	-0,70**
C.C.		0,67**	0,56*	0,54*	0,00	0,02	-0,43	-0,50	-0,84**	-0,66**	-0,49	-0,57*	-0,85**	-0,68**
Gt ^{2/}		0,73**	0,75**	0,75**	0,41	0,34	-0,55*	-0,64*	-0,81**	-0,68*	-0,62*	-0,75**	-0,85**	-0,71**
mg dm ⁻³														
HCl	0	0,29		0,98**	0,78**	0,63*	0,03	-0,12	-0,34	-0,17	-0,10	-0,30	-0,42	-0,22
M-1	0	0,33			0,80**	0,70**	-0,02	-0,12	-0,36	-0,18	-0,15	-0,31	-0,44	0,23
M-3	0	-0,08				0,80**	0,34	0,21	0,17	0,30	0,23	0,05	0,08	0,26
DTPA	0	-0,17					0,24	0,10	0,06	0,21	0,16	-0,02	-0,02	0,15
HCl	20	-0,87*						0,88**	0,83**	0,85**	0,83**	0,99**	0,85**	0,84**
M-1	20	-0,74**							0,84**	0,90**	0,90**	0,89**	0,98**	0,83**
M-3	20	-0,88*								0,91**	0,92**	0,86**	0,87**	1,00**
DTPA	20	-0,79**									1,00**	0,86**	0,90**	0,89**
mg dm ⁻³ /mg dm ⁻³														
HCl	Decl.	-0,91*										0,88**	0,85**	0,85**
M-1	Decl.	-0,78**											0,87**	0,91**
M-3	Decl.	-0,89*												0,91**
DTPA	Decl.	-0,78**												

⁽¹⁾ Declividade ou relação entre o Zn extraído (mg dm⁻³) em função do Zn aplicado (mg dm⁻³). ⁽²⁾ C.O. - carbono orgânico; C.C. - capacidade de campo, Gt - goetita na fração argila. ⁽³⁾ Znres = 20 - Znto (somatório de todas as frações de Zn citadas menos a fração residual) na dose 20 mg dm⁻³ + Znto na dose 0 de Zn).

*, ** significativos a 5 e a 1%, respectivamente.

encontram-se em frações com ligações mais estáveis, sendo as frações Zn_{tr} e Zn_{mo} pouco representativas em relação ao total encontrado. Isto também explicaria o comportamento diferencial dos extratores quanto à extração de Zn do solo na dose zero e de sua correlação com características relacionadas com a capacidade tampão do solo (Quadro 4).

Quando Zn foi aplicado aos solos, a fração que deteve a maior quantidade desse elemento passou a ser Zn_{tr}, observando-se tendência à maior homogeneidade de distribuição de Zn entre as demais frações, principalmente Zn_{Mn}, Zn_{Fea} e Zn_{Fec} (Quadro 5). É importante ressaltar que o tempo necessário para se atingir o equilíbrio de reações do Zn com o solo, após sua aplicação, foi de 30 dias, provavelmente insuficiente para o equilíbrio pleno de todas as reações entre as frações avaliadas.

O ajuste de regressão múltipla dos teores de Zn pelos extratores, como variáveis dependentes das frações de zinco do solo (Quadro 6), indicou que as frações Zn_{tr}, Zn_{Fea} e Zn_{Fec} contribuíram, de maneira mais efetiva, para o teor de Zn pelos extratores, no solo sem a aplicação de Zn. Nessa

situação, as frações de Zn_{tr} atuaram como fonte de Zn para a extração com HCl, M-1 e M-3. O mesmo não foi observado em resposta à aplicação de Zn, quando aquelas frações, com exceção da Zn_{tr}, apresentaram-se como dreno desse nutriente. Esse comportamento tão diferente entre os extratores, quando comparados os solos em suas condições naturais e depois de receberem 20 mg dm⁻³ de Zn, como também verificado pela correlação não-significativa entre os extratores nessa comparação de sem e com a adição de Zn (Quadro 4), é indicativo de possível causa para as dificuldades encontradas para se obter uma estimativa confiável de Zn "disponível" do solo pelos métodos utilizados, como já comentado neste trabalho.

Para cada extrator, o grau de importância relativa da fração é diferenciado (Quadro 7). No solos com e sem a aplicação de Zn, a fração trocável é a de maior importância para todos os extratores, respondendo, no mínimo, com a metade do valor de R² encontrado para todos os ajustes de equação. Semelhantemente, Lindsay (1972) afirmou que o extrator DTPA apresenta íntima correlação com o pool-lábil de Zn no solo ou fator quantidade.

Quadro 5. Frações de zinco: Zn trocável (Zntr), ligado à matéria orgânica (Znmo), ligado a óxido de manganês (ZnMn), ligado a óxido de ferro amorfo (ZnFea), ligado a óxido de ferro cristalino (ZnFec), residual (Znres.)⁽¹⁾, total (Znto)⁽²⁾ e percentagem relativa ao total encontrado para cada fração nas amostras de solo para as duas doses de zinco

Solo	Dose de Zn	Zntr		Znmo		ZnMn		ZnFea		ZnFec		Znres		Znto
		— mg dm ⁻³ —	%	mg dm ⁻³										
CV-AQd	0	0,10	7,07	0,04	3,00	0,52	37,25	0,00	0,00	0,73	52,69			1,38
	20	10,14	47,43	0,13	0,61	2,72	12,72	0,78	3,65	0,51	2,39	5,72	26,75	14,28
CV-LEm	0	0,10	5,87	0,00	0,00	0,23	12,84	0,00	0,00	1,41	81,28			1,75
	20	10,53	48,41	0,21	0,97	2,38	10,94	1,22	5,61	1,23	5,66	4,42	20,32	15,58
TM-LEm	0	0,08	7,87	0,04	4,71	0,28	30,69	0,00	0,00	0,53	56,73			0,93
	20	10,55	50,41	0,10	0,48	2,63	12,57	0,59	2,82	0,53	2,53	5,60	26,76	14,40
TM-LVm	0	0,10	14,94	0,03	3,88	0,24	33,25	0,00	0,00	0,34	47,93			0,71
	20	12,01	57,99	0,00	0,00	2,46	11,88	0,60	2,90	0,46	2,22	4,47	21,58	15,53
ARA-LA	0	0,27	17,26	0,07	4,09	0,47	30,04	0,04	2,19	0,71	46,41			1,54
	20	17,40	80,78	0,00	0,00	1,60	7,43	0,61	2,83	0,39	1,81	0,01	0,05	19,99
AÇA-LA	0	0,44	27,30	0,07	4,10	0,44	26,83	0,00	0,00	0,68	41,78			1,63
	20	14,97	69,21	0,06	0,28	1,55	7,17	0,46	2,13	0,68	3,14	2,28	10,54	17,72
UBE1-LVa	0	0,32	19,35	0,10	6,09	0,01	0,78	0,86	52,41	0,35	21,37			1,64
	20	8,81	40,71	0,67	3,10	2,01	9,29	1,86	8,60	0,55	2,54	6,09	28,14	13,91
UBE1-LVa	0	0,24	29,36	0,12	14,58	0,00	0,00	0,43	53,05	0,03	3,01			0,82
	20	9,35	44,91	0,65	3,12	1,93	9,27	1,69	8,12	0,42	2,02	5,96	28,63	14,04
PAR-LV	0	0,10	6,92	0,06	5,61	0,03	1,37	1,10	69,04	0,22	17,06			1,50
	20	7,20	33,49	1,08	5,02	2,01	9,35	1,79	8,33	0,50	2,33	7,43	34,56	12,57
SL-LE	0	0,14	6,57	0,24	10,42	0,03	1,27	1,07	47,83	0,75	33,92			2,23
	20	6,54	29,42	2,87	12,91	1,73	7,78	1,88	8,46	0,83	3,73	6,15	27,67	13,85
PAT-LV	0	0,29	18,58	0,02	1,18	0,04	2,05	1,00	63,96	0,23	14,23			1,58
	20	8,16	37,81	0,67	3,10	1,80	8,34	1,92	8,90	0,44	2,04	7,01	32,48	12,99
PN - PV	0	0,46	19,03	0,09	3,51	0,51	21,23	0,30	12,40	1,05	43,83			2,40
	20	12,38	55,27	0,51	2,28	2,53	11,29	0,96	4,29	0,73	3,26	2,89	12,90	17,11

⁽¹⁾ Znres = 20 - (Znto na dose 20 mg dm⁻³ + Znto na dose 0 mg dm⁻³). ⁽²⁾ Somatório de todas as frações.

A importância relativa das demais frações variou de acordo com o poder de extração do extrator. Para M-1, na dose de 20 mg dm⁻³, o coeficiente de regressão da fração Zntr apresentou a menor significância (11,7%). Isso provavelmente se deve à covariância dessa variável com ZnMn; as duas variáveis apresentaram um coeficiente de correlação de 0,78, muito próximo ao valor anteriormente citado como ponto de referência para a eliminação de uma das variáveis do modelo.

Outra variável que poderia explicar a presença de Zn nos extratores seria a Znres. Sua importância pode ser observada pela sua elevada correlação com extratores e algumas características do solo (Quadro 4). Essa variável, no entanto, também apresentou elevada covariância com Zntr, o que impediu sua utilização para o ajuste de regressão. De acordo com os valores calculados para a falta de ajustamento do modelo (Quadro 7), as equações, excetuando para o HCl e o M-1 nos solos sem a

Quadro 6. Equações de regressão múltipla do teor de zinco pelos extratores, HCl, Mehlich-1 (M-1), Mehlich-3 (M-3) e DTPA em função das frações de zinco no solo: trocável (Zntr), ligado à matéria orgânica (Znmo), ligado a óxido de manganês (ZnMn), ligado a óxido de ferro amorfo (ZnFea) e ligado a óxido de ferro cristalino (ZnFec)

Extrator	Dose Zn mg dm ⁻³	Equação	R ²
HCl	0	$\hat{Y} = -0,0940 + 1,2355^{***}Zntr + 0,2198^{**}ZnFea$	0,73
M-1	0	$\hat{Y} = -0,0080 + 1,1710^{**}Zntr + 0,2070^{**}ZnFea + 0,1196^{**}ZnFec$	0,70
M-3	0	$\hat{Y} = -0,280^{**} + 2,4891^{**}Zntr + 0,3201^{**}ZnFec$	0,80
DTPA	0	$\hat{Y} = 0,0170 + 0,6284^{**}Zntr - 0,2870^{**}Znmo - 0,1426^{**}ZnMn + 0,1693^{**}ZnFec$	0,76
HCl	20	$\hat{Y} = 14,50^{**} + 0,4536^{**}Zntr - 1,8694^{**}ZnFec - 0,8378^{**}ZnMn$	0,87
M-1	20	$\hat{Y} = 18,99^{**} + 0,1008^{(1)}Zntr - 1,1161^{**}Znmo - 1,2349^{**}ZnMn - 1,4830^{**}ZnFec$	0,68
M-3	20	$\hat{Y} = 12,02^{**} + 0,5054^{**}Zntr - 0,7444^{**}Znmo - 2,6020^{**}ZnFea - 1,3332^{**}ZnFec$	0,96
DTPA	20	$\hat{Y} = 7,57^{**} + 0,2587^{**}Zntr - 1,3961^{**}Znmo - 0,6383^{**}ZnMn$	0,88

(1) Significativos a 11,7%; *, ** significativos a 5 e a 1%, respectivamente.

Quadro 7. Valores de R² parciais para os coeficientes significativos dos modelos de regressão múltipla, para os extratores HCl, Mehlich-1 (M-1), Mehlich-3 (M-3) e DTPA, nas doses de zinco testadas, e teste F para a falta de ajustamento dos modelos

Extrator	Dose Zn mg dm ⁻³	R ² total	R ² parcial						F - falta ajustamento
			Zntr	Znmo	ZnMn	ZnFea	ZnFec		
HCl	0	0,73	0,532	-	-	0,201	-	4,06**	
M-1	0	0,70	0,539	-	-	0,130	0,032	2,96*	
M-3	0	0,80	0,729	-	-	-	0,083	0,09 ^{ns}	
DTPA	0	0,76	0,511	-	0,033	-	0,194	0,91 ^{ns}	
HCl	20	0,87	0,761	-	0,037	-	0,075	0,53 ^{ns}	
M-1	20	0,68	0,434	0,058	0,070	-	0,116	0,89 ^{ns}	
M-3	20	0,96	0,836	0,019	-	0,094	0,008	0,76 ^{ns}	
DTPA	20	0,88	0,723	0,144	0,014	-	-	3,71**	

^{ns}, *, ** não-significativo, significativos a 5 e a 1%, respectivamente.

aplicação de zinco, e DTPA na dose de 20 mg dm⁻³, não necessitaram de outro ajuste matemático além do apresentado, uma vez que a falta de ajustamento dos modelos não foi significativa.

frações de Zn trocável, Zn ligado à matéria orgânica, a óxidos de manganês, a óxidos de ferro amorfo e a ferro cristalino não foram suficientes para explicar, em todos os casos, o Zn recuperado pelos extratores.

CONCLUSÕES

1. A fração de Zn trocável foi a maior responsável pela quantidade de Zn obtida pelos extratores. As

2. Os extratores DTPA e Mehlich-3 foram os mais sensíveis a características dos solos relacionadas com a capacidade tampão (fator capacidade de Zn no solo).

LITERATURA CITADA

- AHUMADA, T.I.; BUSTAMANTE, A. & SCHALSCHA, E.B. Zinc speciation in phosphate-affected soils. *Comm. Soil Sci. Plant Anal.*, 28:989-995, 1997.
- AKRAM, M.; CHAUDHRY, R.A.; AHMAD, Z. & HAQ, G.U. Prediction DTPA soil test zinc and associated rice response to applied zinc. *Comm. Soil Sci. Plant Anal.*, 26:259-268, 1995.
- ALVAREZ V., V.H. Caracterização química de solos. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1985. 77p.
- ALVAREZ V., V.H. Efecto de los factores cantidad, intensidad y capacidad amortiguadora de fosfatos em la evaluación del fósforo disponible de suelos derivados de cenizas volcánicas de la Meseta Tarasca. Chapingo: Colegio de Posgraduados, 1982. 300p. (Tese de Doutorado)
- BAHIA FILHO, A.F.C. Índices da disponibilidade de fósforo em Latossolos do planalto central com diferentes características texturais e mineralógicas. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1982. 179p. (Tese de Doutorado)
- BAR-YOSEF, B. pH-dependent zinc adsorption by soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 43:1095-1099, 1979.
- BRAY, R.P. & KURTZ, L.T. Determination of total organic and available forms of phosphorus in soil. *Soil Sci.*, 59:39-45, 1945.
- CAVALLARO, N. & McBRIDE, M.B. Zinc and copper sorption and fixation by an acid soil clay: Effect of selective dissolutions. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 48:1050-1055, 1984.
- CHOWDHURY, A.K.; McLAREN, R.G.; CAMERON, K.C. & SWIFT, R.S. Fractionation of zinc in some New Zealand Soils. *Comm. Soil Sci. Plant Anal.*, 28:301-312, 1997.
- COUTO, C.; NOVAIS, R.F.; TEIXEIRA, J.L.; BARROS, N.F. & NEVES, J.C.L. Níveis críticos de zinco no solo e na planta para o crescimento de milho em amostras de solos com diferentes valores de fator capacidade. *R. Bras. Ci. Solo*, 16:79-87, 1992.
- CUNHA, R.C.A. Retenção e movimento de zinco em solos do estado de São Paulo. Piracicaba, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 1989. 115p. (Tese de Mestrado)
- DAVIS, J.G.; GAINES, T.P. & PARKER, M.B. Comparison of soil zinc extractants for detection of applied zinc and prediction of leaf zinc concentration. *Comm. Soil Sci. Plant Anal.*, 26:2969-2981, 1995.
- DEFELIPO, B.V. & RIBEIRO, A.C. Análise química de solo: Metodologia. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1981. 17p. (Boletim de Extensão, 29)
- ELGABALY, M.M. Mechanism of zinc adsorption by colloidal clays and related minerals. *Soil Sci.*, 69:167-73, 1950.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. Manual de métodos de análise de solos. Rio de Janeiro, 1979. não paginado.
- FERNANDES, B. & SYKES, J.O. Capacidade de campo e retenção de água em três solos de Minas Gerais. *R. Ceres*, 15:1-39, 1968.
- FERNÁNDEZ R., I.E.J. Reversibilidade de fósforo não-lábil em diferentes solos, em condições naturais e quando submetidos à redução microbiológica ou química. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa 1994. 93p. (Tese de Doutorado)
- HODGSON, J.F. Chemistry of the micronutrient elements in soils. *Adv. Agron.*, 15:119-159, 1963.
- KALBASI, M.; RACZ, G.J. & LOEWEN-RUDGERS, L.A. Mechanism of zinc adsorption by iron and aluminium oxides. *Soil Sci.*, 125:146-150, 1978.
- BRASIL – Ministério da Agricultura. Análise de corretivos fertilizantes e inoculantes. Métodos oficiais. Brasília: LANARV/SNAD, 1983. 103p.
- LINDSAY, W.L. & NORVELL, W.A. Development of a DTPA test for zinc, iron, manganese, and copper. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 42:421-428, 1978.
- LINDSAY, W.L. Inorganic phase equilibria of micronutrients in soils. In: MORTVEDT, J.J., ed. *Micronutrients in agriculture*. Madison, Soil Science Society of America, 1972. p.41-57.
- MEHLICH, A. Mehlich-3 soil test extractant: A modification of Mehlich-2 extractant. *Comm. Soil Sci. Plant Anal.*, 15:1409-1416, 1984.
- MENEZES, A.A. Disponibilidade de zinco, para milho, pelos extratores Mehlich-1, Mehlich-3 e DTPA. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1997. 147p. (Tese de Mestrado)
- MURAOKA, R.; NEPTUNE, A.M.L. & NASCIMENTO FILHO, V.F. Avaliação da disponibilidade de zinco e manganês do solo para o feijoeiro. I. Zinco. *R. Bras. Ci. Solo*, 7:167-175, 1983.
- NOVAIS, R.F. & SMYTH, T.J. Fósforo em solo e planta em condições tropicais. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1999. 399p.
- RESENDE, M.; BAHIA FILHO, A.F.C. & BRAGA, J.M. Mineralogia de Latossolos estimada por alocação a partir do teor total de óxidos do ataque sulfúrico. *R. Bras. Ci. Solo*, 11:1-23, 1987
- SIMS, J.T. Soil pH effects on the distribution and plant availability of manganese, copper and zinc. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 50:367-373, 1986.
- SINGH, R.S.; SING, R.P.; RAI, R.K. & AGRAWAL, H.P. Relationship between soil test and uptake of copper and zinc by grasses on polluted soil. *Comm. Soil Sci. Plant Anal.*, 25:1313-1320, 1994.
- SOON, Y.K. Changes in forms of soil zinc after 23 years of cropping following clearing of a boreal forest. *Can. J. Soil Sci.*, 74:179-184, 1994.
- TUCKER, T.C. & KURTZ, L.T. A comparison of several methods with the bio-assay procedure for extraction of zinc from soils. *Soil Sci. Soc. Proc.*, 19:477-481, 1955.
- VETTORI, L. Métodos de análise de solo. Rio de Janeiro, E.P.E., 1969. 24p. (Boletim Técnico, 7)
- WU, X.; AASEN, I. & SELMER-OLSEN, A.R. A study of extraction methods for assessing soil zinc availability: I. Soil zinc extractability and soil zinc buffering capacity in relation to soil properties. *Nor. J. Agric. Sci.*, 5:89-107, 1991.