

Efeito da aplicação de Zn e do pH do solo na disponibilidade do micronutriente

Flávia Consolini* e Edson Luiz Mendes Coutinho

Departamento de Solos e Adubos, Universidade Estadual Paulista, Câmpus de Jaboticabal. Via de Acesso Prof Paulo Donato Castellani, s/nº, 14870-000, Jaboticabal, São Paulo, Brasil. *Autor para correspondência. e-mail: consolini@agricultura.gov.br

RESUMO. Realizou-se em casa de vegetação um experimento para estudar o efeito do pH do solo, de doses de Zn e de diferentes solos na disponibilidade de Zn para o milho. Utilizou-se um delineamento experimental inteiramente casualizado, segundo um arranjo fatorial 3x4x3 (solo x pH x dose de Zn). Os solos foram classificados como Latossolo Vermelho Distroférico, Latossolo Vermelho Distrófico e Neossolo Quartzarênico. Os valores de pH em CaCl₂ (original, 4,9; 5,9 e 6,6) foram obtidos com a aplicação de CaCO₃ e MgCO₃. As doses de Zn (0; 5 e 10mg kg⁻¹) foram fornecidas com ZnSO₄. O “Zn-disponível” foi extraído com as soluções DTPA, Mehlich-1, Mehlich-3 e HCl. O aumento do pH do solo influenciou a produção de matéria seca e os teores de Zn na planta. Apesar da correlação entre teor de Zn no solo e quantidade de Zn absorvida, as soluções extratoras não foram sensíveis à redução da disponibilidade do micronutriente causada pelo aumento do pH, com exceção do DTPA.

Palavras-chave: micronutriente, DTPA, Mehlich, HCl, Zn-disponível, milho.

ABSTRACT. Effects of Zn application and soil pH on micronutrient availability. A greenhouse experiment was carried out to study the effect of soil pH, Zn rates, and soil type on Zn availability to corn. A completely randomized design in a factorial arrangement 3x4x3 (soil x pH x Zn rate) was used. The soils were classified as Acrustox, Haplustox, and Ultipsamment. The soil pH (CaCl₂) values (original, 4.9, 5.9, and 6.4) were obtained through the application of CaCO₃ and MgCO₃. Zn rates (0, 5 e 10mg kg⁻¹) were supplied with ZnSO₄. The available Zn was extracted with the solutions DTPA, Mehlich-1, Mehlich-3, and HCl. The increase of soil pH affected dry matter yield and Zn contents of corn. Despite of a correlation between Zn extracted from soils and Zn absorbed by plants, Zn extractant solutions were not sensitive to the reduction of Zn availability caused by soil pH increase, excepting DTPA.

Key words: micronutrient, DTPA, Mehlich, HCl, available-Zn, corn.

Introdução

A produtividade dos cultivos agrícolas é resultante de um conjunto de fatores, entre os quais destaca-se a disponibilidade de nutrientes. A carência de micronutrientes tem sido relacionada a diversos fatores, como aplicação de fertilizantes fosfatados, baixos teores de matéria orgânica e aumento do pH do solo em consequência da calagem.

A avaliação da disponibilidade de micronutrientes no solo necessita de métodos que apresentem boa correlação com a extração do nutriente pela planta. Nos solos brasileiros, as soluções freqüentemente testadas são DTPA, Mehlich-1 e HCl 0,1mol L⁻¹. De modo geral, as três soluções foram eficientes na extração de Zn do solo (Ferreira e Cruz, 1992; Bataglia e Raij, 1989; 1994).

Em trabalhos mais recentes, a solução Mehlich-3 foi incluída nos estudos que avaliam os extratores de micronutrientes. Essa solução também foi considerada eficiente na extração de Zn nativo e aplicado (Consolini, 1998; Oliveira *et al.*, 1999; Borges, 2000).

Trabalhos que avaliaram a eficiência das soluções extratoras em estimar a disponibilidade de Zn em solos com diferentes valores de pH apresentaram, entretanto, resultados divergentes. Lantmann e Meurer (1982) obtiveram correlação negativa entre o Zn extraído (HCl 0,1mol L⁻¹ e duplo ácido) e o pH dos solos. Muraoka *et al.* (1983), após testarem água, extratores ácidos, salinos e agentes quelantes, concluíram que o DTPA modificado (com o pH semelhante ao do solo) e o EDTA + CaCl₂ (também com o pH corrigido) discriminaram o

comportamento do zinco nos solos com e sem calagem, além de melhor avaliarem a disponibilidade do micronutriente para o feijoeiro. Bataglia e Raij (1989) também observaram que o DTPA foi sensível às alterações de pH causadas pela calagem. A aplicação de calcário, entretanto, não influenciou a extração de zinco por Mehlich-1 (Shuman e McCracken, 1999) e Mehlich-3 (Borkert e Cox, 1999).

Este trabalho teve como objetivo avaliar o efeito do pH do solo e da aplicação de doses crescentes de Zn sobre plantas de milho e contribuir para o aperfeiçoamento dos métodos de análise de Zn, estudando o comportamento de soluções extratoras sob diferentes valores de pH.

Material e métodos

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, segundo um arranjo fatorial 3x4x3 (solo x pH x doses de Zn), com 3 repetições. Os solos foram coletados na camada superficial do terreno (0-20cm), em três municípios do Estado de São Paulo (Tabela 1). A caracterização dos solos encontra-se na Tabela 2.

Tabela 1. Classificação dos solos estudados.

Solo	Local da coleta	Classificação*
LV1	Ribeirão Preto	Latossolo Vermelho Distroférico argiloso A moderado
LV2	Jaboticabal	Latossolo Vermelho Distroférico típico textura média A moderado
RQ	São Carlos	Neossolo Quartzarênico Órtico típico

*Classificação segundo Embrapa (1999).

Os diferentes valores de pH em CaCl₂ (sem correção; 4,9; 5,9 e 6,4) foram obtidos incubando-se os solos com CaCO₃ e MgCO₃ p.a., na relação 4:1 (Ca:Mg) por um período de 20 dias. Para calcular as doses de corretivos necessárias para a obtenção dos valores de pH estipulados, realizou-se um pré-experimento para a obtenção de uma curva entre pH do solo e a dose de corretivo.

As doses de Zn (0, 5 e 10mg kg⁻¹) foram fornecidas por sulfato de zinco (ZnSO₄·7H₂O p.a.). Todos os tratamentos receberam uma adubação constante com os nutrientes: fósforo na dose de 150mg kg⁻¹ de P (fosfato de cálcio monobásico p.a.); potássio e nitrogênio nas doses de 150mg kg⁻¹ de K e 54mg kg⁻¹ de N (nitrato de potássio p.a.); cobre na dose de 0,5mg kg⁻¹ de Cu (sulfato de cobre p.a.) e boro na dose de 0,5mg kg⁻¹ de B (ácido bórico p.a.).

O nitrogênio foi complementado, em adubação de cobertura, para que a dose total aplicada atingisse 200mg kg⁻¹. Foram utilizadas duas fontes de N (nitrato de cálcio e sulfato de amônio), ambas aplicadas em solução, com o objetivo de minimizar as alterações no pH do solo. O balanço entre as fontes foi realizado tendo-se como referência a

equivalência de cada uma em kg de carbonato de cálcio (Raij *et al.*, 1996).

O experimento foi conduzido em casa de vegetação, utilizando-se como planta teste o milho (Zeneca 8486). Foram semeadas em cada vaso 10 sementes, permanecendo após o desbaste 5 plantas. Cada unidade experimental constituiu-se por um vaso com 2,8kg de solo, totalizando 108 vasos. Durante todo o período experimental, regas diárias com água destilada foram realizadas com o objetivo de manter os solos com 80% da capacidade de campo.

A parte aérea das plantas foi cortada rente ao solo trinta dias após a emergência. O material vegetal, depois de seco em estufa (65°C), foi pesado para a determinação da produção de matéria seca. A análise de Zn do material vegetal foi realizada segundo Bataglia *et al.* (1983).

Nas amostras de solo, foram determinados pH em CaCl₂ e concentrações de K, Ca, Mg e H+Al, segundo Raij *et al.* (1987) e teores de Zn "disponível" pelos quatro métodos descritos a seguir:

DTPA

Extração de 10g de solo com 20ml de solução extratora contendo DTPA 0,005mol L⁻¹, CaCl₂ 0,01mol L⁻¹ e trietanolamina 0,1mol L⁻¹, ajustada em pH 7,3, sob agitação (120 rpm), durante duas horas (Lindsay e Norvell, 1978).

Mehlich-1 (modificado)

Extração de 10g de solo com 40ml de solução extratora HCl 0,05mol L⁻¹ + H₂SO₄ 0,0125mol L⁻¹, sob agitação (190 rpm), durante 15 minutos (Wear e Evans, 1968).

Mehlich-3

Extração de 2,5g de solo com 25ml de solução extratora CH₃COOH 0,2mol L⁻¹ + NH₄NO₃ 0,25mol L⁻¹ + NH₄F 0,015mol L⁻¹ + HNO₃ 0,013mol L⁻¹ + EDTA 0,001mol L⁻¹ por agitação (180 rpm), durante cinco minutos (Mehlich, 1984). A solução extratora e o extrato foram estocados em recipientes plásticos.

HCl 0,1mol L⁻¹

Extração de 2,5g de solo com 25ml de solução extratora HCl 0,1mol L⁻¹ sob agitação (190 rpm), durante trinta minutos (Wear e Sommer, 1947).

Em todos os métodos, o solo foi previamente peneirado (malha de 2mm). Após a agitação, as suspensões foram passadas por papel de filtro Whatman n.º 42, para a obtenção dos extratos. Os teores de Zn foram determinados por espectrofotometria de absorção atômica (EAA).

Tabela 2. Caracterização química dos solos estudados.

Solo	pH ⁽¹⁾ CaCl ₂	M.O. ⁽¹⁾	P ⁽¹⁾	K ⁽¹⁾	Ca ⁽¹⁾	Mg ⁽¹⁾	H+Al ⁽¹⁾	SB ⁽¹⁾	T ⁽¹⁾	V ⁽¹⁾	Zn ⁽²⁾	argila ⁽³⁾
		g dm ⁻³	mg dm ⁻³			mmol. dm ⁻³				%	mg kg ⁻¹	g kg ⁻¹
LV1	4,3	30	39	5,8	8	3	88	16,8	104,8	16	0,8	590
LV2	4,1	23	4	1,0	7	3	58	11,0	69,0	16	0,6	260
RQ	3,8	26	3	0,7	3	1	47	4,7	51,7	9	0,3	60

Determinado segundo ⁽¹⁾ Rajj *et al.* (1987); ⁽²⁾ Lindsay e Norvell (1978); ⁽³⁾ Day (1965).

No ajuste das superfícies que descrevem a relação entre uma variável resposta (por exemplo, produção de matéria seca) e os fatores pH do solo e dose de Zn foram considerados apenas os parâmetros significativos ($p < 0,1$).

Resultados e discussão

A influência do pH do solo e da aplicação de Zn sobre a produção de matéria seca, teor de Zn na parte aérea e Zn absorvido e acumulado na parte aérea do milho foi diferente para cada solo, como pode ser observado nas Figuras 1 e 2.

Nos latossolos, apenas a alteração de pH do solo teve efeito sobre a produção de matéria seca. A produção máxima no LV1 foi obtida com pH 5,8 e no LV2, com pH 5,7. A aplicação de Zn provavelmente não teve efeito sobre a matéria seca, devido ao teor inicial do micronutriente nos latossolos (Tabela 2). O nível crítico de Zn no solo para milho cultivado em Latossolo Vermelho obtido por Ritchey (1986) foi de 0,7 ppm (DTPA) e por Galvão (1996), de 0,6 mg kg⁻¹ (DTPA).

A interação entre pH do solo e zinco aplicado ocorreu apenas no RQ, no qual o efeito positivo da aplicação de Zn, sobre a produção de matéria seca, foi maior nos valores mais elevados de pH (Figura 1). Para corroborar tais observações, apenas no RQ foram detectados sintomas de deficiência de Zn, nos tratamentos com maiores valores de pH (5,9 e 6,4) e sem aplicação de zinco. Os teores do micronutriente nas plantas que apresentaram os sintomas encontravam-se entre 7 e 13 mg kg⁻¹, ou seja, inferiores a 15 mg kg⁻¹, considerado nível crítico para plantas de milho cultivadas em casa de vegetação (Lins e Cox, 1988).

Os teores de zinco absorvido e o total acumulado na parte aérea das plantas aumentaram em função da aplicação de Zn, sendo as maiores quantidades encontradas nas plantas cultivadas no RQ (Figura 2). Em geral, observou-se diminuição na absorção de Zn pelas plantas de milho com o incremento no pH do solo. Resultados semelhantes foram descritos por Fageria e Zimmermann (1998) para diversas culturas como arroz, trigo, milho, feijão e caupi.

Os teores médios de Zn no solo extraídos pelas soluções DTPA, M-3, M-1 e HCl encontram-se na Tabela 3. Os extratores ácidos (HCl, Mehlich-1 e

Mehlich-3) apresentaram maior capacidade de extração, retirando maiores quantidades de zinco que o complexante (DTPA). O caráter ácido das soluções HCl, M-1, M-3 e DTPA (pH 1,4; 1,5; 2,7 e 7,3 respectivamente) propiciou a solubilização de compostos não complexados pelo DTPA. A maior capacidade de extração das soluções ácidas, em relação aos complexantes, também foi relatada por Ritchey *et al.* (1986), Bataglia e Rajj (1989) e Galvão (1995).

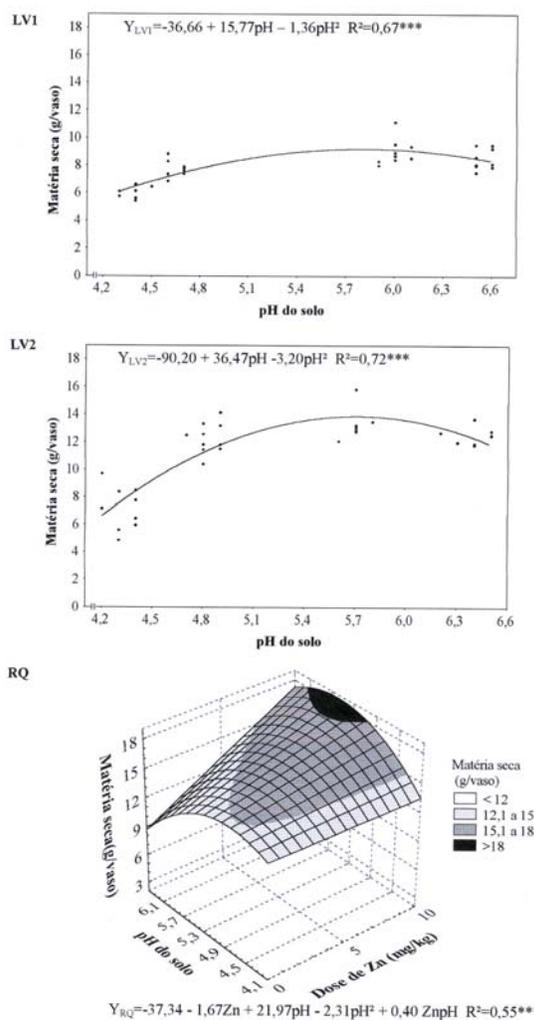


Figura 1. Produção de matéria seca da parte aérea em função do pH do solo e de doses de Zn nos solos LV1, LV2 e RQ.

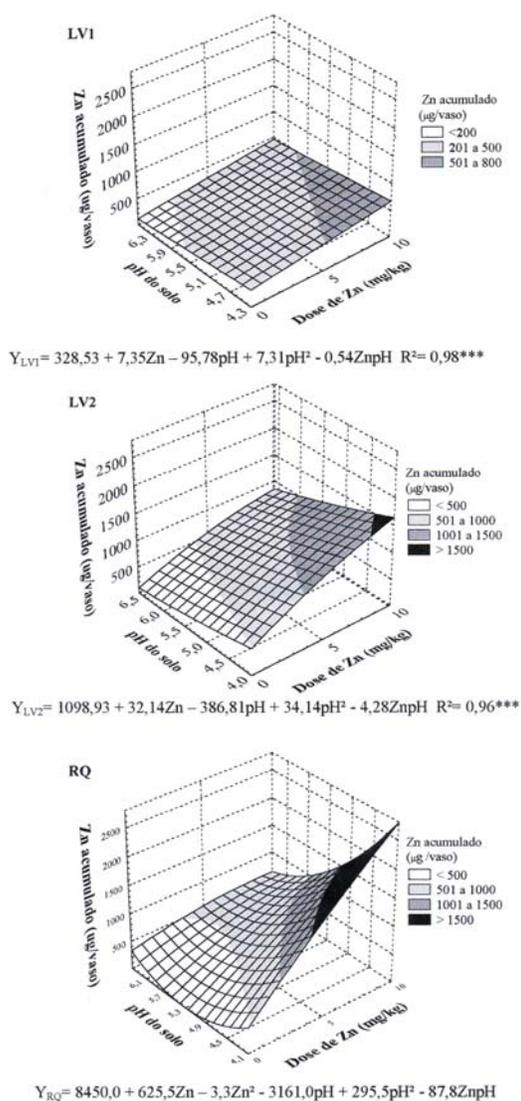


Figura 2. Zinco acumulado na parte aérea de milho em função do pH do solo e de doses de Zn nos solos LV1, LV2 e RQ.

Para estudar o comportamento das soluções em função dos tratamentos aplicados, foram estimadas superfícies de resposta relacionando teor de Zn no solo, dose do micronutriente e pH para cada solo. O efeito do pH foi de pequena magnitude nos modelos estimados ($p > 0,1$), não sendo por isso considerado. O efeito da calagem sobre a extração de Zn-disponível também não foi constatado por Shuman e McCracken (1999), para a solução Mehlich-1, e por Borkert e Cox (1999), para a solução Mehlich-3.

Com a retirada do pH dos modelos, novas equações foram estimadas, relacionando apenas teor de Zn no solo e dose aplicada do micronutriente (Figura 3). Os coeficientes de determinação (R^2)

dessas equações foram superiores a 0,90 e altamente significativos.

Tabela 3. Teores de Zn no solo extraído pelas quatro soluções em função dos solos, pH, e doses de Zn.

Solo	pH	Zn aplicado	Teor de Zn no solo			
			DTPA	M-1	M-3	HCl
-----mg kg ⁻¹ -----						
LV1	4,4	0	0,82	1,29	0,80	1,6
		5	2,48	3,85	2,25	4,4
		10	4,45	6,96	4,12	7,8
	4,9	0	0,80	1,31	0,82	1,6
		5	2,34	3,81	2,33	4,3
		10	4,00	6,47	4,04	7,2
	5,9	0	0,58	1,21	0,91	1,5
		5	1,92	3,80	2,67	4,1
		10	3,40	6,28	4,52	6,9
	6,4	0	0,46	1,12	0,94	1,5
		5	1,71	3,68	3,01	4,5
		10	3,22	6,48	5,22	7,9
LV2	4,3	0	0,63	0,88	0,75	0,8
		5	3,10	4,28	3,56	4,2
		10	5,28	7,41	6,44	7,3
	4,9	0	0,54	0,88	0,78	0,9
		5	2,72	4,07	3,55	4,0
		10	5,08	7,60	6,53	7,6
	5,9	0	0,45	0,87	0,81	0,9
		5	2,40	4,25	3,83	4,2
		10	4,27	7,55	6,76	7,5
	6,4	0	0,42	0,93	0,86	1,0
		5	2,27	4,39	3,76	4,4
		10	4,13	7,79	6,88	7,7
RQ	4,2	0	0,19	0,35	0,37	0,4
		5	2,83	4,67	4,59	4,3
		10	5,65	8,77	8,64	8,2
	4,9	0	0,19	0,40	0,41	0,5
		5	2,70	4,81	4,60	4,5
		10	5,20	9,35	8,96	8,9
	5,9	0	0,15	0,39	0,39	0,5
		5	2,23	4,77	4,53	4,4
		10	4,57	9,47	9,33	8,5
	6,4	0	0,12	0,39	0,39	0,5
		5	2,15	5,00	5,09	4,8
		10	4,55	10,27	9,96	9,7

Os valores do coeficiente angular, das equações apresentadas na Figura 3, indicam as proporções do Zn aplicado recuperadas com o emprego dos extratores (Tabela 4). Observa-se que a eficiência dos extratores na recuperação do Zn aplicado variou entre os solos. A maior recuperação, para todos os extratores, ocorreu no RQ e a menor, no LV1. Infere-se, portanto, que esta recuperação foi inversamente proporcional aos teores de argila e óxidos dos solos em estudo. A variação na recuperação do Zn entre os solos pode refletir, segundo Couto *et al.* (1992), a influência de atributos do solo, relacionados ao fator capacidade do nutriente, como teores de óxidos e argila. Na Figura 3 observa-se, ainda, que as soluções ácidas extraíram sempre maiores quantidades de Zn para um mesmo solo.

A eficiência dos extratores em estimar a quantidade de Zn disponível às plantas tem sido estudada relacionando-se a quantidade do nutriente

no solo e a quantidade do nutriente acumulada na planta. Na Tabela 5, verifica-se que os teores de Zn no solo extraídos pelas quatro soluções apresentaram-se associados à quantidade do micronutriente acumulada na parte aérea, sendo os maiores coeficientes de determinação (R²) obtidos nas equações que utilizaram os teores de zinco extraídos pela solução DTPA.

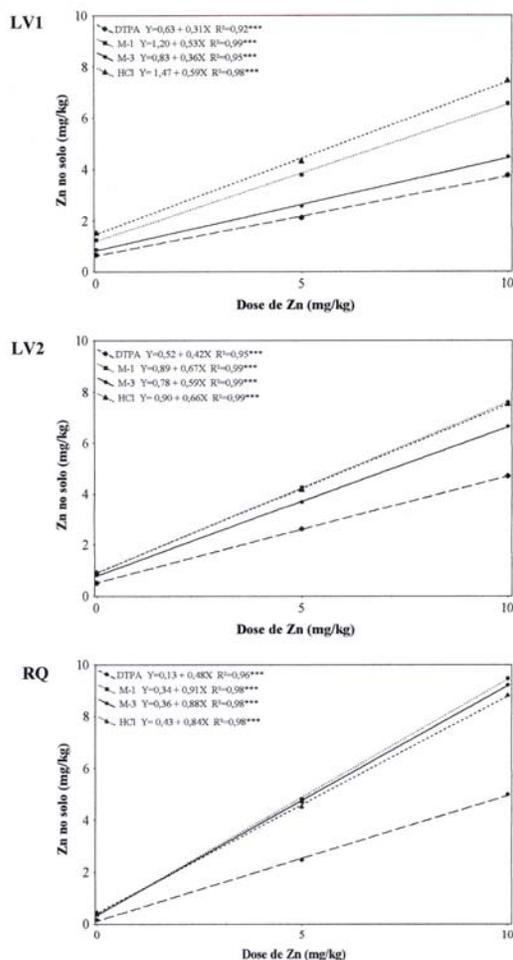


Figura 3. Teor de Zn no solo extraído pelas soluções DTPA, M-1, M-3 e HCl nos solos LV1, LV2 e RQ, em função da aplicação de Zn (***: $p < 0,001$).

Como observado na Figura 2, o pH do solo influenciou a absorção de Zn. Alguns autores têm incluído o pH do solo nos modelos de estimativa de disponibilidade de zinco para as plantas com o objetivo de melhorar os ajustes desses modelos. Verificou-se no presente trabalho que a inclusão do pH nos modelos aumentou o coeficiente de determinação para todas as equações (Tabela 5). John (1972) relatou que o pH, a textura e o teor de matéria orgânica foram importantes na predição do

teor de zinco no milho. Lins e Cox (1988) incluíram o pH na interpretação da análise de solo e obtiveram maiores coeficientes de determinação entre a produção de matéria seca de milho e Zn extraído por Mehlich-1.

Tabela 4. Coeficientes de correlação entre Zn no solo (mg kg⁻¹), extraído pelas quatro soluções e pH dos solos.

	DTPA	M-3	M-1	HCl
LV1	-0,240ns	0,173ns	-0,046ns	-0,003ns
LV2	-0,117ns	0,094ns	0,074ns	0,084ns
RQ	-0,128ns	0,054ns	0,054ns	0,056ns

ns: não significativo ($p > 0,05$).

Tabela 5. Equações de regressão entre Zn acumulado (Y), Zn no solo (X) extraído pelas quatro soluções, com e sem a inclusão do pH (X1).

Extrator	Equação	R ²	ΔR^2 (1)
LV1			
DTPA	$Y = 137,5 + 118,1X$	0,81***	0,07
	$Y = 443,5 + 109,3X - 53,2X_1$	0,88***	
M-3	$Y = 182,0 + 80,9X$	0,49***	0,38
	$Y = 785,9 + 93,1X - 118,0X_1$	0,87***	
M-1	$Y = 139,2 + 66,4X$	0,69***	0,30
	$Y = 598,8 + 64,8X - 84,1X_1$	0,89***	
HCl	$Y = 144,0 + 56,6X$	0,63***	0,23
	$Y = 633,8 + 56,5X - 90,8X_1$	0,86***	
LV2			
DTPA	$Y = 183,0 + 228,8X$	0,77***	0,07
	$Y = 976,2 + 221,0X - 146,1X_1$	0,84***	
M-3	$Y = 220,9 + 150,6X$	0,63***	0,19
	$Y = 1497,0 + 158,3X - 246,7X_1$	0,82***	
M-1	$Y = 211,8 + 133,9X$	0,65***	0,17
	$Y = 1446,9 + 139,1X - 237,7X_1$	0,83***	
HCl	$Y = 213,4 + 134,5X$	0,64***	0,18
	$Y = 1496,5 + 1140,5X - 242,3X_1$	0,82***	
RQ			
DTPA	$Y = 64,8 + 307,1X$	0,65***	0,19
	$Y = 2475,1 + 285,8X - 448,1X_1$	0,84***	
M-3	$Y = 176,2 + 140,4X$	0,43***	0,33
	$Y = 3228,7 + 146,8X - 586,4X_1$	0,76***	
M-1	$Y = 181,6 + 136,0X$	0,43***	0,33
	$Y = 3233,1 + 142,3X - 586,2X_1$	0,76***	
HCl	$Y = 165,7 + 147,7X$	0,43***	0,33
	$Y = 3225,1 + 154,8X - 588,1X_1$	0,76***	

(1) variação do R² devida à inclusão do pH no modelo; ***, significativo ($p < 0,001$).

Os maiores incrementos nos coeficientes de determinação (ΔR^2), decorrentes da inclusão do pH nos modelos, foram obtidos para as soluções M-1, M-3 e HCl (Tabela 5). Isso indica a menor sensibilidade dessas soluções à redução da disponibilidade de Zn ocasionada pelo aumento do pH. Sendo assim, quando da utilização das soluções HCl, M-1 e M-3 para estimar a disponibilidade de Zn, a inclusão do pH do solo nos modelos deve ser considerada.

Conclusão

A produção de matéria seca de milho cultivado nos latossolos foi influenciada apenas pelo pH do solo. No solo arenoso houve interação entre pH do

solo e aplicação de Zn.

A quantidade de Zn acumulada na matéria seca das plantas diminuiu com a elevação do pH e aumentou com a aplicação do micronutriente.

Os teores de Zn extraídos pelas quatro soluções correlacionaram-se com os teores de Zn acumulados na parte aérea das plantas, indicando que as quatro soluções testadas podem ser utilizadas para estimar a disponibilidade de Zn no solo. Entretanto, a solução DTPA apresentou maior sensibilidade à redução da disponibilidade de Zn causada pelo aumento do pH do solo.

Referências

- BATAGLIA, O. C.; RAIJ, B. van. Eficiência de extratores de micronutrientes na análise de solo. *Rev. Bras. Cienc. Solo*, Campinas, v.13, n.2, p.205-212, 1989.
- BATAGLIA, O. C.; RAIJ, B. van. Soluções extratoras na avaliação da fitodisponibilidade do zinco em solos. *Rev. Bras. Cienc. Solo*, Campinas, v.18, p.457-461, 1994.
- BATAGLIA, O. C. et al. *Métodos de análise química de plantas*. Campinas: Instituto Agronômico, 1983. (Boletim Técnico, 78).
- BORGES, M. R. *Distribuição e disponibilidade de metais pesados no solo após aplicação de lodo de esgoto*. 2000. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual Paulista, 2000.
- BORKERT, C. M.; COX, F. R. Effects of acidity at high soil zinc, copper, and manganese on peanut, rice, and soybean. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.*, New York, v.30, p.1371-1384, 1999.
- CONSOLINI, F. *Distribuição e disponibilidade das frações de zinco em alguns solos do estado de São Paulo*. 1998. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 1998
- COUTO, C. et al. Níveis críticos de zinco no solo e na planta para o crescimento de milho em amostras de solos com diferentes valores do fator capacidade. *Rev. Bras. Cienc. Solo*, Campinas, v.16, p.79-87, 1992.
- DAY, P. R. Particle fractionation and particle-size analysis. In: BLACK, C.A. (Ed.) *Methods of soil analysis: Part 1* Madison: ASA, 1965. p.545-567.
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. *Sistema brasileiro de classificação de solos*. Brasília: Embrapa Produção de informações, 1999, 412p.
- FAGERIA, N. K.; ZIMMERMANN, F. J. P. Influence of pH on growth and nutrient uptake by crop species in an Oxisol. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.*, New York, v.29, p. 2675-2682, 1998.
- FERREIRA, M. E.; CRUZ, M. C. Seleção de extratores químicos para a avaliação de disponibilidade de zinco em solos do Estado de São Paulo. *Pesq. Agropecu. Bras.*, Brasília, v.27, p.293-304, 1992.
- GALRÃO, E. Z. Níveis críticos de zinco para o milho cultivado em latossolo vermelho-amarelo, fase cerrado. *Rev. Bras. Cienc. Solo*, Campinas, v.19, p.255-260, 1995.
- GALRÃO, E. Z. Métodos de aplicação de zinco e avaliação de sua disponibilidade para o milho num latossolo vermelho-escuro, argiloso, fase cerrado. *Rev. Bras. Cienc. Solo*, Campinas, v.20, p.283-9, 1996.
- JOHN, M. K. Influence of soil properties and extractable zinc on zinc availability *Soil Sci.*, Baltimore, v.113. n.3, p.222-227, 1972.
- LANTMANN, A.F.; MEURER, E.J. Estudo da eficiência de extratores para avaliação do zinco disponível do solo para o milho. *Rev. Bras. Cienc. Solo*, Campinas, v.6, p.131-135, 1982.
- LINDSAY, W. L.; NORVELL, W. A. Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese, and copper. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, Madison, v.42, p.421-428, 1978.
- LINS, I. D. G.; COX, F. R. Effect of soil pH and clay content on the zinc soil test interpretation for corn. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, Madison, v.52, p.1681-1685, 1988.
- MEHLICH, A. Mehlich 3 soil test extractant: a modification of Mehlich 2 extractant. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.*, New York, v.15, n.12, p.1409-1416, 1984.
- MURAOKA, T. et al. Avaliação da disponibilidade de zinco e de manganês do solo para o feijoeiro. I. Zinco *Rev. Bras. Cienc. Solo*, Campinas, v.7, p.167-175, 1983.
- OLIVEIRA, M. F. G. et al. Relação entre o zinco "disponível", por diferentes extratores, e as frações de zinco em amostras de solos. *Rev. Bras. Cienc. Solo*, Viçosa, v.23, p.827-36, 1999.
- RAIJ, B. van. et al. *Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo*. 2.ed. Campinas: Instituto Agronômico/Fundação IAC, 1996. (Boletim Técnico, 100).
- RAIJ, B. van. et al. *Análise química do solo para fins de fertilidade*. Campinas: Fundação Cargill, 1987.
- RITCHEY, K. D. et al. Disponibilidade de zinco para as culturas do milho, sorgo e soja em latossolo vermelho-escuro argiloso. *Pesq. Agropecu. Bras.*, Brasília, v.21, n.3, p.21-25, 1986.
- SHUMAN, L. M.; McCRACKEN, D. V. Tillage, lime, and poultry litter effects on soil zinc, manganese, and copper. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.*, New York, v.30, p.1267-1277, 1999.
- WEAR, J. I.; EVANS, C. E. Relationship of zinc uptake by corn and sorghum to soil zinc measured by three extractants. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, Madison, v.32, p.543-546, 1968.
- WEAR, J. I.; SOMMER, A. L. Acid-extractable zinc of soils in relation to the occurrence of zinc deficiency symptoms of corn: a method of analysis. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, Madison, v.12, p.143-144, 1947.

Received on August 13, 2003.

Accepted on March 30, 2004.