

MÉTODOS DE APLICAÇÃO DE ZINCO E AVALIAÇÃO DE SUA DISPONIBILIDADE PARA O MILHO NUM LATOSSOLO VERMELHO-ESCURO, ARGILOSO, FASE CERRADO⁽¹⁾

E. Z. GALRÃO⁽²⁾

RESUMO

Realizou-se, em Planaltina (DF), nos anos agrícolas 1992/93, 1993/94 e 1994/95, um experimento para comparar métodos de aplicação de zinco no solo (lanço e sulco), na folha e na semente, no rendimento de grãos de milho (híbrido 'BR 201') num latossolo vermelho-escuro, argiloso. Os tratamentos que receberam 1,2, 3,6 e 7,2 kg ha⁻¹ de zinco a lanço, assim como aqueles nos quais esse micronutriente foi aplicado via foliar, tiveram rendimentos máximos de grãos nos três cultivos. O tratamento cujo zinco foi misturado com as sementes teve rendimentos máximos de grãos apenas no segundo e no terceiro cultivo. A dose de 1,2 kg ha⁻¹ de zinco aplicada a lanço apenas no primeiro cultivo proporcionou rendimentos máximos de grãos nos três cultivos. Quando aplicada no sulco, porém, apenas no primeiro cultivo, ou no sulco parceladamente, ou seja, 0,4 kg ha⁻¹ de zinco por cultivo, proporcionou rendimentos máximos de grãos somente a partir do segundo cultivo. Os níveis críticos de zinco no solo para os extratores HCl 0,1 mol L⁻¹, Mehlich 1 (HCl 0,05 mol L⁻¹ + H₂SO₄ 0,0125 mol L⁻¹), 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 + EDTA 0,001 mol L⁻¹) e DTPA (ácido dietileno-triaminopentacético), foram 1,0, 0,9, 0,8 e 0,6 mg dm⁻³ respectivamente. O nível crítico de zinco na folha foi de 17,5 mg kg⁻¹.

Termos de indexação: *Zea mays* L. métodos de aplicação, localização do zinco, adubação foliar, tratamento de semente, extratores, nível crítico.

SUMMARY: *METHODS OF ZINC APPLICATION AND EVALUATION OF ITS AVAILABILITY FOR CORN GROWN ON A CERRADO CLAYEY DARK RED LATOSOL*

A field experiment was carried out on a clayey Dark Red Latosol (Typic Haplusthox), in Planaltina, Federal District, Brazil, in the cropping seasons of 1992/93, 1993/94 and 1994/95, to compare the effect of three methods of zinc application (soil, foliar spray and seed treatment) on corn (hybrid BR 201) grain yield. Broadcast applied treatments of 1.2, 3.6 and 7.2 kg ha⁻¹ of zinc, and those where zinc was sprayed, gave maximum grain yields in the three crops. Zinc mixed with the seeds gave maximum grain yields in the second and third crops. Broadcast application of 1.2 kg ha⁻¹ of zinc, only in the first crop, gave maximum grain yields in all three

⁽¹⁾ Recebido para publicação em agosto de 1995 e aprovado em abril de 1996.

⁽²⁾ Pesquisador do Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados (CPAC), EMBRAPA, Caixa Postal 08223, CEP 73301-970 Planaltina (DF).

crops. Similar yields were obtained with row application in the last two crops. Row application of 0.4 kg ha⁻¹ of zinc per crop, gave maximum grain yields in the second and third crops. The soil critical levels determined by the 0.1 mol L⁻¹ HCl, Mehlich 1 (0.05 mol L⁻¹ HCl + 0.0125 mol L⁻¹ H₂SO₄), Mehlich 3 (0.2 mol L⁻¹ CH₃COOH + 0.25 mol L⁻¹ NH₄NO₃ + 0.015 mol L⁻¹ NH₄F + 0.013 mol L⁻¹ HNO₃ + 0.001 mol L⁻¹ EDTA) and DTPA (diethylenetriaminepentaacetic acid) extracting solutions were 1.0, 0.9, 0.8 and 0.6 mg dm⁻³ of zinc, respectively. The critical leaf zinc concentration was 17.5 mg kg⁻¹.

Index terms: Zea mays L., application methods, zinc placement, foliar spray, seed treatment, extractant solutions, critical level.

INTRODUÇÃO

Os solos dos Cerrados são, em sua maioria, deficientes em zinco (Lopes & Cox, 1977). Trabalhos de pesquisa neles realizados mostraram resposta do milho a sua aplicação (Lopes, 1975; Galvão, 1988). Nenhum, porém, avaliou o efeito de métodos de aplicação de zinco para o cultivo dessa gramínea. Por causa disso, tem-se recomendado aos produtores aplicá-lo no solo, apesar de não se saber a melhor maneira de fazê-lo, se a lançar ou no sulco de semeadura. Aplicações via foliar ou na semente raramente são recomendadas devido à falta de dados de pesquisa. No exterior, o número de trabalhos também é bem reduzido. Pumphrey et al. (1963) observaram superioridade das aplicações a lançar em relação às feitas no sulco de semeadura. Hibberd (1970) constatou superioridade das aplicações no sulco e na semente em relação às foliares, enquanto Sakal et al. (1983) verificaram equivalência entre aplicações a lançar e no sulco de semeadura.

Em relação aos métodos de análise de solo para zinco, os extratores de Mehlich 1 (HCl 0,05 mol L⁻¹ + H₂SO₄ 0,0125 mol L⁻¹) e o HCl 0,1 mol L⁻¹ são amplamente usados nos solos tropicais, podendo também ser usado o DTPA, apesar de ter sido desenvolvido para solos alcalinos (Lindsay & Cox, 1985). No Brasil, Lantmann & Meurer (1982), estudando extratores em dez solos do Rio Grande do Sul, e tendo o milho como planta teste, observaram pequena vantagem do EDTA sobre o HCl 0,1 mol L⁻¹ e o Mehlich 1. Ribeiro & Tucunango Sarabia (1984), em cinco latossolos de Minas Gerais cuja planta-teste era o sorgo, constataram superioridade do EDTA sobre o Mehlich 1. Muraoka et al. (1983), em seis solos paulistas e com o feijoeiro como planta-teste, verificaram pequena superioridade do EDTA e DTPA sobre o HCl 0,1 mol L⁻¹. Por outro lado, Bataglia & Raij (1989), em 26 solos de São Paulo, e cujas plantas-teste foram o sorgo e o girassol, observaram que os extratores HCl 0,1 mol L⁻¹, Mehlich 1, EDTA e DTPA foram igualmente eficientes, sendo o DTPA o único que discriminou o efeito da calagem sobre os teores de zinco. Ferreira & Cruz (1992), em 30 solos de São Paulo, constataram que os extratores HCl 0,1 mol L⁻¹, Mehlich 1, EDTA e DTPA foram igualmente eficazes na avaliação da disponibilidade de zinco para o milho. Recentemente, Bataglia & Raij (1994), em dois estudos com solos paulistas, um com 26 solos e o milho como planta-teste e, o outro, com 22 e o arroz como planta-teste, observaram que, no caso do milho, o DTPA, além de ter sido superior ao HCl 0,1 mol L⁻¹, Mehlich-1 e EDTA, foi o único que

discriminou o efeito da calagem sobre os teores de zinco. Em arroz, avaliaram-se apenas o HCl 0,1 mol L⁻¹ e o DTPA, sendo este último superior. Segundo Sims (1989), existe um número limitado de estudos relacionando respostas das culturas com o extrator de 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 + EDTA 0,001 mol L⁻¹). Contudo, eles revelaram que a capacidade preditiva do Mehlich 3 foi comparável aos métodos que normalmente são usados na extração de P, Mn, Cu e Zn. Ainda conforme Sims (1989), o uso do Mehlich 3 e a determinação dos nutrientes na solução por espectrometria de emissão atômica com plasma (EEA/ICP), além de evitar o uso de soluções separadas para extração do P, dos cátions básicos (K, Ca, Mg) e dos micronutrientes, permite determinações analíticas rápidas, precisas e de vários elementos. Quanto à calibração de métodos de análise de solo para zinco, visando a sua recomendação para o milho em solos dos Cerrados, o número de trabalhos é bastante reduzido. Entre os poucos existentes, encontram-se os de Ritchey et al. (1986), Lins (1987) e Galvão (1995).

Os objetivos do presente trabalho foram comparar métodos de aplicação de zinco e avaliar a sua disponibilidade para a cultura do milho, num solo dos Cerrados, pelos extratores HCl 0,1 mol L⁻¹, Mehlich 1, Mehlich 3 e DTPA.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi estabelecido num latossolo vermelho-escuro, argiloso, fase Cerrado (Brasil, 1966) do Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados (CPAC), Planaltina (DF), de setembro de 1992 a maio de 1995. No início, a análise do solo (0-20 cm) indicou 26 g kg⁻¹ de matéria orgânica; pH 4,9 (1:2,5) em água; pH 3,9 (1:2,5) em CaCl₂ 0,01 mol L⁻¹; 11 mmol_c dm⁻³ de Al³⁺ trocável; 72% de saturação por Al³⁺; 3,4 mmol_c dm⁻³ de Ca²⁺ + Mg²⁺; 0,9 mmol_c dm⁻³ de K⁺; 62 mmol_c dm⁻³ de H⁺ + Al³⁺; 66,3 de CTC mol_c dm⁻³; 6,4% de saturação por bases (V%); 1,0 mg de P dm⁻³; 88 mg de Fe dm⁻³; 3,9 mg de Mn dm⁻³; 0,3 mg de Zn dm⁻³; 0,6 mg de Cu dm⁻³; 630 g kg⁻¹ de argila; 70 g kg⁻¹ de silte; 220 g kg⁻¹ de areia fina; 80 g kg⁻¹ de areia grossa. As determinações de pH, Al³⁺, Ca²⁺ + Mg²⁺, P e K foram feitas conforme EMBRAPA (1979) e a de H⁺ + Al³⁺, segundo Sousa et al. (1989). Os teores de Fe, Mn, Zn e Cu foram extraídos pela solução de Mehlich 1 (HCl 0,05 mol L⁻¹ + H₂SO₄ 0,0125 mol L⁻¹), na relação solo:solução de 1:10 com cinco minutos de agitação, e

determinados por espectrofotometria de absorção atômica. A matéria orgânica foi determinada conforme Jackson (1964) e a análise granulométrica, de acordo com EMBRAPA (1979).

Foram realizados três cultivos com milho (híbrido BR 201) nas estações chuvosas dos anos agrícolas 1992/93, 1993/94 e 1994/95. Os resultados do primeiro cultivo foram publicados por Galvão (1994). No presente trabalho, apresentam-se e discutem-se os resultados dos três cultivos, estando os tratamentos no quadro 1. As aplicações a lanço (tratamentos 2 a 5) e no sulco (tratamento 6) foram feitas apenas por ocasião do primeiro cultivo; a fonte de zinco usada foi o sulfato de zinco heptaidratado (230 g de Zn kg⁻¹). No tratamento 7 foram aplicados 0,4 kg ha⁻¹ de Zn no sulco de semeadura, por cultivo, na forma de sulfato de zinco (230 g de Zn kg⁻¹). No tratamento 8, a fonte de zinco usada foi o óxido de zinco (803 g de Zn kg⁻¹) misturado na proporção de 1 kg de ZnO por 20 kg de sementes (Hibberd, 1970) umedecidas na relação de 15 mL de água por quilograma de sementes (Santos & Ribeiro, 1992). No tratamento 9, foi aplicada solução a 10 g L⁻¹ de sulfato de zinco (230 g de Zn kg⁻¹) na 3.^a e na 5.^a semana após a emergência. No tratamento 10 foi aplicada solução a 10 g L⁻¹ de sulfato de zinco (230 g de Zn kg⁻¹) na 3.^a, na 5.^a e na 7.^a semana após a emergência. O delineamento experimental usado foi o de blocos ao acaso, com dez tratamentos e quatro repetições.

Em 10-6-92, iniciou-se a limpeza da área seguida de aração, catação de raízes e gradeação. Em 28-8-92, aplicaram-se 3.367 kg ha⁻¹ de calcário visando elevar a saturação por bases (V%) a 50%: metade da dose, incorporada mediante aração, metade, por meio de grade. A quantidade de calcário foi calculada conforme Raij (1981). Usou-se calcário com 20,2 mol_e kg⁻¹ de

PN (poder de neutralização), 13,4 mol_e kg⁻¹ de PNE (poder de neutralização efetiva), 228 g de Ca kg⁻¹ e 108 g de Mg kg⁻¹. Após 60 dias, aplicou-se, a lanço, em toda a área experimental, uma mistura composta de 2.500 kg de gesso, 1,1 kg de B (bórax), 3,0 kg de Cu (sulfato), 0,2 kg de Mo (molibdato de amônio), 240 kg de P₂O₅ (superfosfato triplo) e 100 kg de K₂O (KCl) por hectare. Nos tratamentos em que o zinco foi aplicado a lanço, o sulfato de zinco fez parte dessa mistura. Os fertilizantes foram incorporados ao solo mediante grade aradora. Nos tratamentos que receberam zinco no sulco, aplicaram-se 1.000 mL de solução de sulfato de zinco a cada sulco de 10 m. Na semeadura, aplicaram-se, em cada cultivo, 400 kg ha⁻¹ da fórmula 5-20-20, no sulco de semeadura.

O milho (híbrido 'BR 201') foi semeado, manualmente, em 40 parcelas constituídas de seis linhas com 10 m de comprimento, espaçadas de 0,8 m, deixando-se cinco plantas após o desbaste por metro de sulco. As parcelas eram separadas entre si por 2 m entre as cabeceiras e por 1 m no sentido longitudinal. Aos 30 e aos 60 dias da semeadura, realizaram-se duas aplicações de nitrogênio em cobertura por cultivo, usando-se, em cada uma, 60 kg ha⁻¹ de N (uréia).

Aos 70 dias da semeadura, colheram-se, aleatoriamente, folhas de trinta plantas por parcela, retirando-se, de cada planta, a quarta folha a partir do ápice, e cuja inserção da bainha com o colmo era visível, selecionando-se os 30 cm do terço basal, cuja nervura central foi excluída, para a análise química (Trani et al., 1983). As amostras foram secas em estufa a 65°C por 72 horas e moídas. A digestão foi feita por via úmida com ácido sulfúrico e água oxigenada e, a concentração de zinco, determinada por espectrofotometria de absorção atômica.

Foram colhidas as espigas das quatro fileiras centrais de cada parcela, deixando-se 2 m nas extremidades como bordadura, sendo a área útil de 19,2 m² (3,2 x 6 m). A seguir, as plantas de toda a área experimental foram cortadas rente ao solo e retiradas. Após essa operação, efetuou-se a amostragem do solo (0-20 cm de profundidade), coletando-se vinte subamostras ao acaso por parcela. As determinações de pH, Al³⁺, Ca²⁺+Mg²⁺, H⁺+Al³⁺, K⁺, P, Fe, Mn e Cu foram feitas conforme referido. Para a determinação do Zn, usaram-se: DTPA (ácido dietileno-triaminopentacético), na relação solo: solução de 1:2, com duas horas de agitação (Lindsay & Norvell, 1978), solução de 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 + EDTA 0,001 mol L⁻¹) na relação solo solução de 1:10 e cinco minutos de agitação (Mehlich, 1984); solução HCl 0,1 mol L⁻¹ e solução de Mehlich 1 (HCl 0,05 mol L⁻¹ + H₂SO₄ 0,0125 mol L⁻¹), ambas na relação solo: solução de 1:10 e cinco minutos de agitação. A determinação do Zn nos extratos das quatro soluções foi feita em espectrofotômetro de absorção atômica. Na determinação dos níveis críticos de Zn no solo e na folha foi usado o critério de Cate Jr. & Nelson (1965). Os dados foram submetidos à análise da variância e a comparação entre as médias, feitas pelo teste de Tukey, ao nível de 5%.

Quadro 1. Rendimento de grãos a 0,13 kg kg⁻¹ de umidade do milho (híbrido 'BR 201'), cultivado num latossolo vermelho-escuro, argiloso, fase Cerrado, em função de métodos de aplicação de zinco

Tratamento	Cultivo		
	1.º	2.º	3.º
	t ha ⁻¹		
1. 0 kg ha ⁻¹ de zinco	3,88 f	4,23 d	4,56 c
2. 0,4 kg ha ⁻¹ de zinco (lanço)	5,47de	6,38c	6,35b
3. 1,2 kg ha ⁻¹ de zinco (lanço)	7,36a	7,78ab	7,62a
4. 3,6 kg ha ⁻¹ de zinco (lanço)	7,40a	7,89a	7,90a
5. 7,2 kg ha ⁻¹ de zinco (lanço)	7,20ab	7,53ab	7,81a
6. 1,2 kg ha ⁻¹ de zinco (sulco)	5,89cde	7,87ab	7,43a
7. 1,2 (3 x 0,4) kg ha ⁻¹ de zinco (sulco)	4,91ef	7,14b	7,09ab
8. Semente	6,15bcd	7,68ab	7,74a
9. Folha	6,64abc	7,35ab	7,47a
10. Folha	7,18ab	7,40ab	7,42a
CV(%)	12	10	9

Médias seguidas com a mesma letra em cada coluna não apresentam diferenças significativas pelo teste de Tukey ao nível de 5%.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os rendimentos de grãos são apresentados no quadro 1 e os teores de zinco no solo e na folha, no quadro 2. Quanto ao rendimento de grãos, com exceção do primeiro cultivo, do tratamento que recebeu 0,4 kg ha⁻¹ de zinco no sulco de semeadura, todos os demais responderam significativamente à aplicação de zinco, nos três cultivos. Conforme Ritchey et al. (1986), o nível crítico de zinco para o milho, no solo em questão, é de 1,0 mg dm⁻³, quando extraído pela solução de Mehlich 1. Já era esperado, portanto, que ocorresse resposta ao zinco, visto que seu teor na testemunha foi de 0,3, 0,5 e 0,6 mg dm⁻³, respectivamente, no primeiro, no segundo e no terceiro cultivo. Além disso, o seu teor na folha da testemunha foi de 12, 11 e 16 mg kg⁻¹, respectivamente, no primeiro, segundo e terceiro cultivos. Esses teores, com exceção do último, estão abaixo da faixa de suficiência (15-50 mg kg⁻¹) sugerida por Malavolta et al. (1989).

A dose de 1,2 kg ha⁻¹, aplicada a lanço, somente no primeiro cultivo, foi suficiente para propiciar rendimentos máximos de grãos nos três cultivos, evidenciando o prolongado efeito residual desse micronutriente. No primeiro cultivo, houve diferença significativa no rendimento de grãos entre o tratamento que recebeu 1,2 kg ha⁻¹ de zinco a lanço e aquele no qual essa dose foi aplicada no sulco de semeadura, possivelmente porque, na aplicação a lanço, o sistema radicular explorasse um volume de solo com maior disponibilidade de zinco do que na aplicação no sulco de semeadura. No segundo e no terceiro cultivo, não houve diferença significativa no rendimento de grãos entre ambos. Uma possível explicação é que o preparo do solo (uma aração seguida de gradeação antes da

semeadura), possibilitou que no tratamento no qual o zinco foi aplicado no sulco, maior proporção de solo da zona das raízes fosse fertilizado com esse nutriente, no segundo e no terceiro cultivo, em relação ao primeiro, aumentando a sua disponibilidade para o milho. A partir do segundo cultivo, não houve diferença significativa no rendimento de grãos entre as formas em que a dose de 1,2 kg ha⁻¹ de zinco foi aplicada. No segundo e no terceiro cultivo, a dose de 0,4 kg ha⁻¹ de zinco no sulco de semeadura foi suficiente para a obtenção de rendimentos de grãos de milho não diferentes dos obtidos nos demais tratamentos. O revolvimento do solo, conforme discutido, favoreceu também o suprimento do micronutriente às raízes das plantas. Sakal et al. (1983) não constataram diferenças significativas no rendimento de grãos de milho, entre aplicações de zinco (sulfato) a lanço e no sulco de semeadura, provavelmente porque as doses usadas (5 e 10 kg ha⁻¹ de zinco) fossem altas para o solo do experimento, que não era tão deficiente em zinco, pois o rendimento da testemunha foi de 5.503 kg ha⁻¹ de grãos e a média dos demais tratamentos, os quais não diferiram significativamente entre si, de 6.797 kg ha⁻¹ de grãos.

A aplicação de zinco nas sementes (tratamento 8), produziu rendimento de grãos muito superior ao da testemunha. No primeiro cultivo, foi superior aos tratamentos 2, 6 e 7 e propiciou rendimentos máximos de grãos no segundo e no terceiro cultivo. Presume-se que isso ocorresse porque parte do zinco nelas aplicado permaneceu no solo após o desbaste, beneficiando as plantas do cultivo subsequente. O zinco foi aplicado na proporção de 1 kg de ZnO (803 g kg⁻¹ de zinco), por 20 kg de sementes. Com o espaçamento usado (0,8 x 0,2 m), estima-se que o gasto de sementes seja de

Quadro 2. Teores de zinco extraídos por quatro extratores após cada cultivo e teores de zinco da folha do milho (híbrido 'BR 201'), cultivado num latossolo vermelho-escuro, argiloso, fase Cerrado, em função de métodos de aplicação de zinco

Tratamento ⁽¹⁾	Zn no solo														
	HCl 0,1 mol L ⁻¹			Mehlich 1			Mehlich 3			DTPA			Zn na folha		
							Cultivo								
	1.º	2.º	3.º	1.º	2.º	3.º	1.º	2.º	3.º	1.º	2.º	3.º	1.º	2.º	3.º
	mg dm ⁻³												mg kg ⁻¹		
1. 0 kg ha ⁻¹ de zinco	0,4d	0,5d	0,5d	0,3d	0,5d	0,6de	0,6d	0,4e	0,5c	0,4d	0,3d	0,2de	12e	11e	16e
2. 0,4 kg ha ⁻¹ de zinco (lanço)	1,0cd	0,7cd	0,8cd	0,9bcd	0,9cd	0,7cde	0,7cd	0,5de	0,5c	0,6cd	0,5cd	0,3cde	13de	17d	17de
3. 1,2 kg ha ⁻¹ de zinco (lanço)	1,3bc	1,4bc	1,1bc	1,2bc	1,0bc	1,1bc	0,9cd	0,4cde	0,9b	0,9bc	0,7bc	0,5c	14de	18cd	20cde
4. 3,6 kg ha ⁻¹ de zinco (lanço)	1,8b	1,6b	1,0bc	1,6ab	1,3b	1,3b	1,4b	1,2b	0,9b	1,2ab	1,0ab	0,7b	17bc	20bcd	24b
5. 7,2 kg ha ⁻¹ de zinco (lanço)	2,6a	2,7a	2,0a	2,4a	2,3a	2,4a	2,0a	1,6a	1,4a	1,6a	1,4a	1,0a	18b	23b	23bc
6. 1,2 kg ha ⁻¹ de zinco (sulco)	1,1c	1,0bcd	0,8cd	1,0bcd	1,2b	0,8cde	1,1bc	0,8cd	0,8b	0,5cd	0,3cd	0,3de	16bcd	18cd	20bcd
7. 1,2 (3 x 0,4) kg ha ⁻¹ de zinco (sulco)	0,9cd	1,2bcd	1,2b	0,5cd	0,7d	1,1bc	0,8cd	1,1bc	1,1b	0,6cd	0,4cd	0,5c	14de	20bcd	22bc
8. Semente	0,5d	0,7cd	1,0bc	0,4cd	0,6d	1,0bcd	0,8cd	0,6de	0,9b	0,5cd	0,4cd	0,5c	13de	20bcd	23bc
9. Folha	0,4d	0,5d	0,9bcd	0,4cd	0,6d	0,5e	0,6d	0,5de	0,5c	0,6cd	0,3cd	0,2e	18b	22bc	23bc
10. Folha	0,4d	0,6d	0,7cd	0,5cd	0,7cd	0,7cde	0,5d	0,4e	0,5c	0,7cd	0,4cd	0,4cd	46a	39a	32a
Média	1,0	1,0	1,0	0,9	1,0	1,0	0,9	0,8	0,8	0,8	0,6	0,5			
CV(%)	39	47	31	54	28	30	31	32	23	40	44	26	18	21	12

⁽¹⁾ Médias seguidas com a mesma letra em cada coluna não apresentam diferenças significativas pelo teste de Tukey ao nível de 5%.

25 kg ha⁻¹, o que corresponde a 1,0 kg ha⁻¹ de zinco por cultivo. Hibberd (1970) constatou que a aplicação de zinco (óxido) na semente proporcionou rendimentos de grãos de milho de 6.414 kg ha⁻¹, ou seja, 725 kg ha⁻¹ a mais do que a testemunha, e não diferiu significativamente do tratamento que recebeu 10,8 kg ha⁻¹ de zinco no sulco de semeadura, tanto na forma de sulfato (6.219 kg ha⁻¹ de grãos) como na de óxido (6.414 kg ha⁻¹ de grãos).

Nos tratamentos que receberam zinco via foliar (tratamentos 9 e 10), foram gastos (médias dos três cultivos) 281, 358 e 577 L ha⁻¹ de solução de sulfato de zinco a 10 g L⁻¹, ou seja, 0,6, 0,8 e 1,3 kg ha⁻¹ de zinco por cultivo, respectivamente, nas aplicações feitas após a terceira, a quinta e a sétima semana da emergência. Esses tratamentos proporcionaram rendimentos máximos de grãos nos três cultivos e não diferiram significativamente entre si em nenhum deles. Portanto, duas aplicações foliares (tratamento 9), uma na terceira e, a outra, na quinta semana após a emergência, com um gasto de 1,4 kg ha⁻¹ de zinco por cultivo, foram suficientes para a obtenção de rendimentos máximos de grãos nos três cultivos. Hibberd (1970) e Pumphrey et al. (1963) constataram que aplicações de zinco (sulfato) no solo proporcionaram maiores rendimentos de grãos de milho do que via foliar. Já Sakal et al. (1983) verificaram que aplicações foliares de sulfato de zinco a 5 g L⁻¹ ou a 10 g L⁻¹ não diferiram significativamente em relação ao rendimento de grãos de milho, quando esse fertilizante foi aplicado no solo, ou a lanço ou no sulco de semeadura.

Observa-se - Quadro 2 - que os teores de zinco extraídos do solo pelas soluções extratoras ácidas foram semelhantes e superiores aos extraídos pelo DTPA. Resultados semelhantes foram obtidos por Ritchey et al. (1986) num LE argiloso, por Galvão (1995) num LV argiloso e por Bataglia & Raij (1994) em 26 solos que possuíam ampla variação nas suas propriedades químicas e físicas. Supõe-se que a maior capacidade de extração dos extratores ácidos seja devida à acidez elevada de suas soluções, que dissolvem formas de zinco no solo não complexadas pelo DTPA. As relações entre os rendimentos de grãos e os teores de zinco extraídos do solo pelos extratores encontram-se na figura 1. Foram incluídos apenas os tratamentos que receberam zinco a lanço (tratamentos de 1 a 5). Os níveis críticos determinados foram 1,0, 0,9, 0,8 e 0,6 mg de Zn dm⁻³, respectivamente, para HCl, Mehlich 1, Mehlich 3 e DTPA, próximos aos determinados por Ritchey et al. (1986) num LE argiloso para o milho: 1,4, 1,0 e 0,7 mg de Zn dm⁻³, respectivamente, para HCl, Mehlich 1 e DTPA, e aos obtidos por Galvão (1995) num LV argiloso, para o milho: 0,9, 0,7 e 0,4 mg de Zn dm⁻³, respectivamente, para HCl, Mehlich 1 e DTPA.

A relação entre os rendimentos de grãos e os teores de zinco na folha é mostrada na figura 2. Foi excluído o tratamento 10 por apresentar teores de zinco muito elevados em relação aos demais. O nível crítico de zinco na folha foi de 17,5 mg kg⁻¹, estando entre os níveis críticos de 20 (Trani et al., 1983) e 17 (Bataglia, 1991) mg kg⁻¹ de zinco. Em solos

de Cerrado, Ritchey et al. (1986) determinaram o mesmo valor, ou seja, 17,5 mg kg⁻¹, e Galvão (1995), 18,5 mg kg⁻¹.

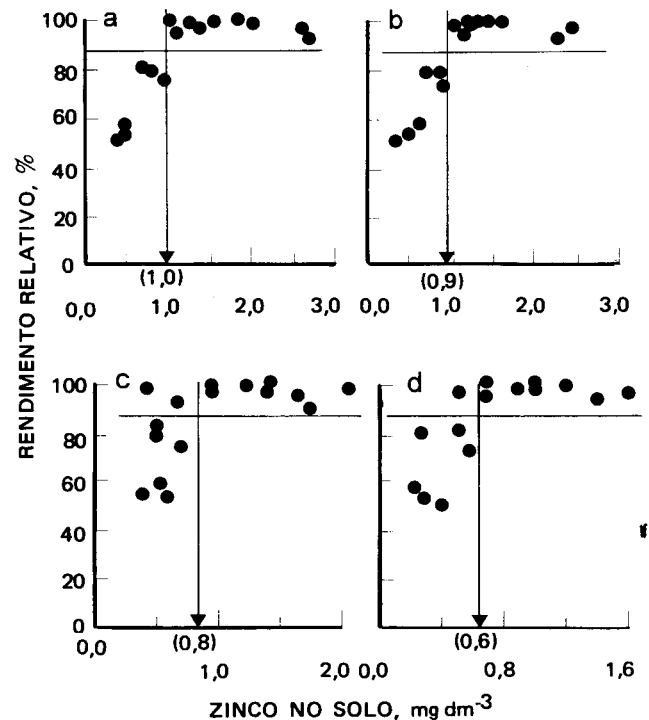


Figura 1. Relações entre rendimentos relativos de grãos a 0,13 kg kg⁻¹ de umidade do milho (híbrido 'BR 201') e teores de zinco extraídos do latossolo vermelho-escuro, argiloso, por quatro extratores: HCl 0,1 mol L⁻¹ (a); Mehlich-1 (HCl 0,05 mol L⁻¹ + H₂SO₄ 0,0125 mol L⁻¹) (b); Mehlich-3 (CH₃COOH 0,2 mol L⁻¹ + NH₄NO₃ 0,25 mol L⁻¹ + NH₄F 0,015 mol L⁻¹ + HNO₃ 0,013 mol L⁻¹ + EDTA 0,001 mol L⁻¹) (c) e DTPA (ácido dietileno-triaminopentacético), após cada cultivo (d).

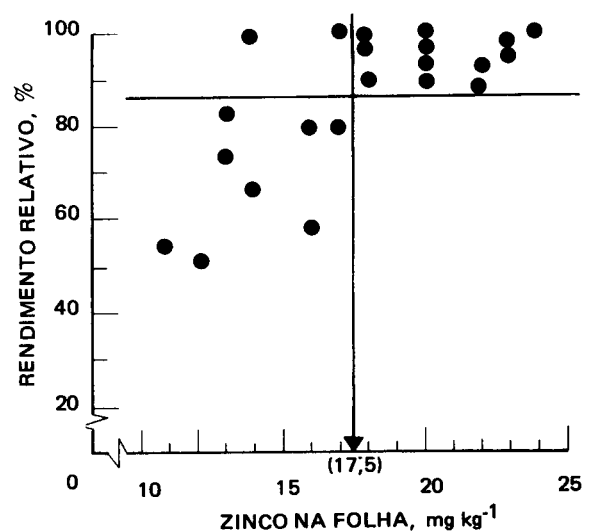


Figura 2. Relação entre rendimentos relativos de grãos a 0,13 kg kg⁻¹ de umidade e teores de zinco da folha do milho (híbrido 'BR 201') cultivado no latossolo vermelho-escuro, argiloso.

CONCLUSÕES

1. A dose de 1,2 kg ha⁻¹ de zinco aplicada a lanço, somente no primeiro cultivo, foi suficiente para propiciar rendimentos máximos de grãos nos três cultivos. Todavia, quando aplicada no sulco de semeadura apenas no primeiro cultivo, ou no sulco parceladamente (0,4 kg ha⁻¹ de zinco por cultivo), proporcionou rendimentos máximos de grãos apenas a partir do segundo cultivo.

2. Duas aplicações foliares com solução a 10 g L⁻¹ de sulfato de zinco, uma na terceira e, a outra, na quinta semana após a emergência, foram suficientes para obtenção de rendimentos máximos de grãos nos três cultivos.

3. A aplicação de 1 kg de ZnO por 20 kg de sementes propiciou rendimentos máximos de grãos apenas no segundo e no terceiro cultivo.

4. Os níveis críticos de zinco no solo, para os extratores ácidos, HCl, Mehlich 1 e Mehlich 3, foram, respectivamente, de 1,0, 0,9 e 0,8 mg dm⁻³, e superiores ao do DTPA, de 0,6 mg dm⁻³. O nível crítico de zinco na folha foi de 17,5 mg kg⁻¹.

AGRADECIMENTOS

Ao Técnico Agrícola Deocleciano S. Lima, pelo auxílio no desenvolvimento do experimento, e ao Laboratorista Nirceu W. Linhares, pela análise de zinco do solo.

LITERATURA CITADA

- BATAGLIA, O.C. Análise química de plantas. In: FERREIRA, M.E. & CRUZ, M.C.P. da, eds. Micronutrientes na agricultura. Piracicaba, Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fósforo/Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, 1991. p. 289-308.
- BATAGLIA, O.C. & RAIJ, B. van. Eficiência de extratores de micronutrientes na análise de solo. R. bras. Ci. Solo, Campinas, 13:205-212, 1989.
- BATAGLIA, O.C. & RAIJ, B. van. Soluções extratoras na avaliação da fitodisponibilidade do zinco em solos. R. bras. Ci. Solo, Campinas, 18:457-461, 1994.
- BRASIL. Ministério da Agricultura. Levantamento semidetalhado dos solos de áreas do Ministério da Agricultura do Distrito Federal. Rio de Janeiro, Equipe de Pedologia e Fertilidade do Solo, 1966. 135p. (Boletim técnico, 8)
- CATE JR., R.B. & NELSON, L.A. A rapid method for correlation of soil test analysis with plant response data. North Carolina Agric. Exp. Sta., 1965. 13p. International Soil Testing Series (Tech. Bull., 1)
- EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. Manual de métodos de análises de solo. Rio de Janeiro, 1979. 73p.
- FERREIRA, M.E. & CRUZ, M.C.P. da. Seleção de extratores químicos para avaliação da disponibilidade de zinco em solos do Estado de São Paulo. Pesq. agropec. bras., Brasília, 27:293-304, 1992.
- GALRÃO, E.Z. Métodos de correção da deficiência de zinco para o cultivo do milho num latossolo vermelho-escuro argiloso sob cerrado. R. bras. Ci. Solo, Campinas, 18:229-233, 1994.
- GALRÃO, E.Z. Níveis críticos de zinco para o milho cultivado em latossolo vermelho-amarelo, fase Cerrado. R. bras. Ci. Solo, Campinas, 19:255-260, 1995.
- GALRÃO, E.Z. Resposta das culturas aos micronutrientes boro e zinco. In: BORKERT, C.M. & LANTMANN, A.F., eds. In: SIMPÓSIO SOBRE ENXOFRE E MICRONUTRIENTES NA AGRICULTURA BRASILEIRA, Londrina, 1986. Anais. Londrina, EMBRAPA/CNPSo/IAPAR/SBCS, 1988. p.205-237.
- HIBBERD, E.E. Methods of correcting zinc deficiency in irrigated maize grown on a black earth soil. Darling Downs, Queensland. Qd.J.agric.Anim.Sci., Brisbane, 27:89-94, 1970.
- JACKSON, M.L. Determinaciones de materia orgánica en los suelos. In: JACKSON, M.L., ed. Análisis químico de suelos. Barcelona, Omega, 1964. cap. 9, p. 282-310.
- LANTMANN, A.F. & MEURER, E.J. Estudo da eficiência de extratores para avaliação do zinco disponível do solo para o milho. R. bras. Ci. Solo, Campinas, 16:131-135, 1982.
- LINDSAY, W.L. & COX, F.R. Micronutrient soil testing for the tropics. In: VLEK, P.L.G., ed. Micronutrients in tropical food crop production. Dordrecht, Martinus Nijhoff/Dr. W. Junk, 1985. cap. 7, p.169-200.
- LINDSAY, W.L. & NORVELL, W.A. Development of a DTPA test for zinc, iron, manganese and copper. Soil Sci. Soc. Am. J., Madison, 42:424-428, 1978.
- LINS, I.D.G. Improvement of soil test interpretations for phosphorus and zinc. Raleigh, North Carolina State University, 1987. 314p. (Tese de Doutorado)
- LOPES, A.S. A survey of the fertility of soils under "Cerrado" vegetation in Brazil. Raleigh, North Carolina State University, 1975. 138p. (Dissertação de Mestrado)
- LOPES, A.S. & COX, F.R. A survey of the fertility of surface soils under "Cerrado" vegetation in Brazil. Soil Sci. Soc. Am. J., Madison, 41:742-747, 1977.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C. & OLIVEIRA, S.A. de. Avaliação do estado nutricional das plantas. Piracicaba, Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fósforo, 1989. 201p.
- MEHLICH, A. Mehlich-3 soil test extractant: a modification of Mehlich-2 extractant. Commun. Soil Sci. Plant Anal., New York, 15(12):1409-1416, 1984.
- MURAOKA, T.; NEPTUNE, A.M.L. & NASCIMENTO FILHO, V.F. Avaliação da disponibilidade de zinco e de manganês do solo para o feijoeiro. I. Zinco. R. bras. Ci. Solo, Campinas, 7:167-175, 1983.
- PUMPHREY, F.V.; KOEHLER, F.E.; ALLMARAS, R.R. & ROBERTS, S. Method and rate of applying zinc sulfate for corn on zinc deficient soil in Western Nebraska. Agron. J., Madison, 55:235-238, 1963.
- RAIJ, B. van. Avaliação da fertilidade do solo. Piracicaba, Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fósforo, 1981. 142p.
- RIBEIRO, A.C. & TUCUNANGO SARABIA, W.A. Avaliação de extratores para zinco e boro disponíveis em latossolos do Triângulo Mineiro. R. bras. Ci. Solo, Campinas, 8:85-89, 1984.

- RITCHEY, K.D.; COX, F.R.; GALRÃO, E.Z. & YOST, R.S. Disponibilidade de zinco para as culturas do milho, sorgo e soja em Latossolo Vermelho-Escuro argiloso. *Pesq. agropec. bras.*, Brasília, 21:215-225, 1986.
- SAKAL, R.; SINGH, A.P. & SINGH, B.P. A comparative study of the different methods and sources of zinc application. *Ind. J. agric. Res.*, New Delhi, 17:90-94, 1983.
- SANTOS, O.S. & RIBEIRO, N.D. Fontes de zinco aplicadas em sementes de milho, em solução nutritiva. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO, 20., 1992, Piracicaba. *Anais. Campinas, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo*, 1992. p. 316-317.
- SIMS, J.T. Comparison of Mehlich-1 and Mehlich-3 extractants for P, K, Ca, Mg, Cu and Zn in Atlantic Coast Plain Soils. *Comm. Soil Sci. Plant Anal.*, New York, 20: 1707-1726, 1989.
- SOUSA, D.M.G. de; MIRANDA, L.N. de; LOBATO, E. & CASTRO, L.H.R. de. Métodos para determinar as necessidades de calagem em solos de Cerrado. *R. bras. Ci. Solo*, Campinas, 13:193-198, 1989.
- TRANI, P.E.; HIROCE, R. & BATAGLIA, O.C. Análise foliar: amostragem e interpretação. Campinas, Fundação Cargill, 1983. 18p.