



Acta Scientiarum. Agronomy

ISSN: 1679-9275

eduem@uem.br

Universidade Estadual de Maringá

Brasil

Mendes Coutinho, Edson Luiz; da Silva, Erberto José; Roberto da Silva, Alysson
Crescimento diferencial e eficiência de uso em zinco de cultivares de milho submetidos a doses de
zinco em um Latossolo Vermelho
Acta Scientiarum. Agronomy, vol. 29, núm. 2, 2007, pp. 227-234
Universidade Estadual de Maringá
Maringá, Brasil

Disponível em: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=303026573011>

- ▶ Como citar este artigo
- ▶ Número completo
- ▶ Mais artigos
- ▶ Home da revista no Redalyc

redalyc.org

Sistema de Informação Científica

Rede de Revistas Científicas da América Latina, Caribe, Espanha e Portugal
Projeto acadêmico sem fins lucrativos desenvolvido no âmbito da iniciativa Acesso Aberto

Crescimento diferencial e eficiência de uso em zinco de cultivares de milho submetidos a doses de zinco em um Latossolo Vermelho

Edson Luiz Mendes Coutinho*, Erberto José da Silva e Alysson Roberto da Silva

Departamento de Solos e Adubos, Universidade Estadual Paulista, Campus de Jaboticabal, Via de Acesso Prof. Paulo Donato Castellane, s/n, 14884-900, Jaboticabal, São Paulo, Brasil. *Autor para correspondência. E-mail: coutinho@fcav.unesp.br

RESUMO. Realizou-se este trabalho em casa de vegetação para avaliar o crescimento e eficiência em Zn de cultivares de milho de diferentes tecnologias submetidos a doses de Zn, relacionando a resposta da cultura com o teor desse micronutriente no solo e na planta. O experimento consistiu de um fatorial 4×3 [quatro doses de Zn (0, 1, 2 e 3 mg kg⁻¹) e três cultivares (variedade Al-Manduri, híbrido duplo C 701 e híbrido triplo P 3041, definidos comercialmente como sendo de baixa, média e alta tecnologia, respectivamente)] em delineamento inteiramente casualizado. Os híbridos C 701 e P 3041 necessitaram de doses mais elevadas de Zn do que a variedade Al-Manduri para expressarem a produção máxima de massa seca da parte aérea, o que foi associado à exigência diferenciada de cada cultivar em Zn disponível no solo. Por outro lado, os cultivares Al-Manduri e P 3041 foram mais eficientes no uso em Zn do que o cultivar C 701. Tanto no solo como na planta, os híbridos apresentaram nível crítico de Zn mais elevado do que a variedade.

Palavras-chave: *Zea mays*, híbrido, variedade, Zn disponível, nível crítico, fracionamento de Zn.

ABSTRACT. Differential growth and zinc efficiency use of maize cultivars in response to zinc rates in an Oxisol. This work was carried out in a greenhouse to evaluate the growth and Zn efficiency of maize cultivars of different technologies submitted to Zn rates, relating the plants' response to Zn level in both soil and plant. The experiment had a factorial arrangement 4×3 [four Zn rates (0, 1, 2, and 3 mg kg⁻¹) and three cultivars (variety Al-Manduri, double-cross hybrid C 701, and triple-cross hybrid P 3041)] in a completely randomized design. Hybrids C 701 and P 3041 needed higher Zn rates than the Al-Manduri variety to express maximum dry matter production of the plant shoot, which was associated with different requirements of each cultivar for available Zn in soil. On the other hand, Al-Manduri and P 3041 cultivars presented a higher Zn use efficiency than the C 701 cultivar. The hybrids had Zn critical level higher than the variety, both in soil and plant.

Key words: *Zea mays*, hybrid, variety, available Zn, critical level, Zn fractionation.

Introdução

A deficiência de Zn é um problema comum em muitas áreas produtoras de milho no Brasil, causando, em muitas situações, redução no rendimento de grãos (Ritchey *et al.*, 1986; Galrão, 1995; Galrão, 1996). A causa primária dessa desordem nutricional é a baixa disponibilidade de Zn no solo, agravada com a intensificação na remoção desse micronutriente pelas colheitas, as quais crescem ano a ano em virtude, principalmente, da adoção de variedades melhoradas, do uso correto de corretivos e fertilizantes NPK e do controle fitossanitário efetivo.

O aumento e a posterior manutenção da produtividade do milho nessas áreas requerem aplicação de Zn. A quantidade do adubo a ser

aplicada para corrigir a deficiência de Zn nas culturas depende do teor desse micronutriente no solo, das condições climáticas, da espécie vegetal e até mesmo do cultivar (Fageria *et al.*, 2002). A preocupação em se definir a dose de Zn também com base no cultivar reside no fato de que cada um possui seu potencial de produção associado ao nível tecnológico de cultivo.

Os cultivares de milho são indicados conforme o grau de tecnologia empregado na lavoura, havendo material genético direcionado para cultura de baixa, média e alta tecnologia. O aumento do grau de tecnologia é sinal do potencial de produção dos cultivares, pois híbridos simples e triplos são indicados para cultura de alta tecnologia, híbridos duplos para cultura de média tecnologia e variedades para cultura de baixa tecnologia (Sawazaki *et al.*,

1998). Considerando que a exigência nos fatores de produção aumenta com a elevação da produtividade de milho, espera-se que cultivares mais produtivos, ou de alta e média tecnologias, apresentem maior exigência em Zn do que cultivares menos produtivos, ou de baixa tecnologia. Admitindo-se essa variabilidade genética na exigência em Zn, é possível relacionar o crescimento e produção de cada cultivar com a disponibilidade desse micronutriente no solo, avaliada por extratores químicos. Por outro lado, a estimativa da capacidade de um solo de fornecer Zn às plantas, por meio de extratores químicos, pode ser melhorada com as informações originadas a partir do fracionamento desse micronutriente no solo. Os extratores variam em eficiência devido à capacidade particular de cada um em remover Zn das frações do solo (reservatórios) responsáveis pelo fornecimento do nutriente às plantas (Sims, 1986; Consolini, 2003; Borges e Coutinho, 2004).

Paralelamente à verificação da possível exigência diferenciada de Zn por cultivares de milho, é interessante também identificar materiais genéticos capazes de crescer e produzir satisfatoriamente sob deficiência de Zn, cuja característica tem sido denominada de eficiência de uso em Zn (Graham e Rengel, 1993; Hacisalihoglu e Kochian, 2003). Pesquisas conduzidas em outros países indicam a existência de genótipos e cultivares de milho ineficientes e eficientes no uso do Zn (Shukla e Raj, 1976; Clark, 1978; Safaya e Gupta, 1979; Peaslee *et al.*, 1981), mas no Brasil, não tem sido dada a devida atenção a esse tipo de estudo.

O objetivo deste trabalho foi avaliar o crescimento e eficiência de uso em Zn de cultivares de milho de diferentes tecnologias submetidos a doses de Zn, relacionando a resposta das plantas com o teor desse micronutriente no solo e a concentração na planta.

Material e métodos

As plantas de milho cresceram em casa de vegetação e foram cultivadas em amostras de Latossolo Vermelho distrófico A moderado textura média, coletadas na camada de 0-20 cm do terreno, secas ao ar, destorroadas e passadas por peneira de abertura de malha de 6 mm. Os atributos químicos do solo foram determinados segundo metodologia proposta por Raji *et al.* (1987) e apresentaram os seguintes valores: pH (CaCl_2) 5,4; M.O. = 27 g dm^{-3} ; P(resina) = 3 mg dm^{-3} ; K, Ca, Mg, H+Al e CTC = 3,4; 39; 12; 25 e 76 $\text{mmol}_c\text{dm}^{-3}$, respectivamente, e V = 67%. O Zn no solo, extraído pela solução de DTPA (Lindsay e Norvell, 1978),

era de 0,4 mg kg^{-1} .

O experimento consistiu de um fatorial 4×3 (quatro doses de Zn e três cultivares de milho) com três repetições de tratamentos dispostos em delineamento inteiramente casualizado. A unidade experimental foi um vaso preenchido com 2,8 kg de solo.

O solo de cada vaso recebeu dez dias antes da semeadura, uma adubação básica constituída de: 54 mg kg^{-1} de N e de 150 mg kg^{-1} de K, como nitrato de potássio p.a. e de 200 mg kg^{-1} de P, como fosfato de cálcio p.a. As doses de Zn (0, 1, 2 e 3 mg kg^{-1}) foram aplicadas na mesma época, na forma de solução, como sulfato de zinco p.a. Todos os fertilizantes foram aplicados em mistura com o volume total do solo.

Foram utilizadas 10 sementes em cada vaso, permanecendo quatro plantas após o desbaste ocorrido aos cinco dias da emergência do milho. O critério para escolha dos cultivares foi o nível tecnológico de produção da cultura. Assim, a variedade Al-Manduri, o híbrido duplo Cargill 701 (C 701) e o híbrido triplo Pioneer 3041 (P 3041) corresponderam, respectivamente, aos cultivares de baixa, média e de alta tecnologia.

A adubação de cobertura com 146 mg kg^{-1} de N foi realizada aos 15 dias após a emergência das plantas, empregando-se uma mistura de NH_4NO_3 p.a. e $\text{NH}_4(\text{SO}_4)_2$ p.a. A quantidade de S adicionada foi de 30 mg kg^{-1} . A umidade do solo, por meio de pesagens diárias, foi mantida a 80% da capacidade máxima de retenção de água do solo durante todo o período experimental por meio de adição de água destilada.

A parte aérea das plantas foi cortada rente ao solo aos 30 dias após a emergência do milho. Logo após, retirou-se uma amostra de solo de cada vaso que foi secada e passada por peneira de 2 mm de abertura de malha para análises químicas. A seguir, o conteúdo do vaso foi colocado sobre um conjunto de três peneiras (com 4, 2 e 1 mm de abertura de malha) para que as raízes fossem separadas do solo por jato d'água, sendo posteriormente secadas e pesadas. O material vegetal da parte aérea foi devidamente lavado, secado, pesado e moído. O tecido vegetal foi analisado para Zn, segundo Bataglia *et al.* (1983).

As amostras de solo foram analisadas em duas etapas. Na primeira, foram determinados os teores de Zn "disponível" por dois métodos: a) **DTPA**: suspensão de 10 g de solo com 20 mL de solução extratora (DTPA 0,005 mol L⁻¹, CaCl_2 0,01 mol L⁻¹ e trietanolamina 0,1 mol L⁻¹, ajustada em pH 7,3) submetida à agitação (120 rpm) durante 2h (Lindsay e Norvell, 1978); b) **Mehlich-1 (modificado)**:

suspensão de 10 g de solo com 40 mL de solução extratora (HCl 0,05 mol L^{-1} e H_2SO_4 0,0125 mol L^{-1}) sob agitação (190 rpm) durante 15min (Wear e Evans, 1968). Em todos os métodos, após a agitação, as suspensões foram passadas por papel de filtro Whatman nº 42, para a obtenção dos extratos.

Na segunda etapa das análises, as amostras de solo foram submetidas a extrações seqüenciais de Zn, baseando-se no esquema desenvolvido por Shuman (1985), excluindo a fração óxido de manganês em razão de o solo possuir baixo teor desse mineral (Consolini, 1998). As extrações foram realizadas sempre na mesma amostra e, após cada extração, as amostras eram agitadas com água deionizada, centrifugadas e o sobrenadante descartado. Em todos os métodos, as suspensões foram passadas por papel de filtro Whatman nº 42 para a obtenção dos extratos, sendo a determinação de Zn realizada por espectrofotometria de absorção atômica. A seguir, é apresentado o resumo do esquema de fracionamento, podendo-se obter maiores detalhes em Consolini (1998) e Borges e Coutinho (2004). **a) Fração trocável** (Shuman, 1985): 10 g de TFSA + 40 mL de solução de $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$ 1 mol L^{-1} foram agitados em tubos de centrífuga durante 2h; **b) Fração orgânica** (Shuman, 1983): a amostra anterior recebeu 20 mL de solução de NaOCl (pH 8,5) 0,7 mol L^{-1} e, em seguida, foi fervida em banho-maria (100°C) por 30min, agitando a mistura eventualmente; **c) Fração de óxidos de Fe e Al não-cristalinos** (Chao e Zhou, 1983): 1 g da amostra da etapa anterior foi secado, moído e peneirado ($< 0,42$ mm) e então, recebeu 50 mL da solução de $\text{NH}_2\text{OH} \cdot \text{HCl}$ 0,25 mol L^{-1} + HCl 0,25 mol L^{-1} , sob aquecimento em banho-maria (50°C) por 30min, agitando-se eventualmente; **d) Fração de óxidos de Fe e Al cristalinos** (Shuman, 1982): a mesma amostra anterior recebeu solução de $(\text{NH}_4)_2\text{C}_2\text{O}_4$ 0,2 mol L^{-1} em $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$ 0,2 mol L^{-1} (pH 3) em ácido ascórbico 0,1 mol L^{-1} e foi aquecida em banho-maria por 30min, agitando-se eventualmente; **e) Residual** (Shuman, 1979): 0,5 g da amostra da etapa anterior foi secado, moído, peneirado ($< 0,42$ mm) e digerida em ácidos (HF , HNO_3 e HCl).

As análises de variância, regressão e correlação foram realizadas utilizando o programa SAS (1989).

Resultados e discussão

A adição de Zn aumentou a produção de raízes de milho, sendo o maior acúmulo de massa seca obtido com 1 mg kg^{-1} de Zn, não havendo alteração significativa nessa variável com doses maiores do micronutriente (Figura 1). Por outro lado, o

crescimento das raízes das plantas não-adubadas com Zn foi restringido em até 39%, de forma similar ao obtido por Safaya e Gupta (1979) com treze cultivares de milho. Não houve efeito significativo de cultivar e não foi significativa a interação entre doses de Zn e cultivares de milho, em termos de acúmulo de massa seca de raízes, como também observado para oito cultivares de milho avaliados por Shukla e Raj (1976). Isso indica que o sistema radicular dos materiais testados neste trabalho tem crescimento semelhante entre si, tanto na ausência como na presença de Zn na adubação.

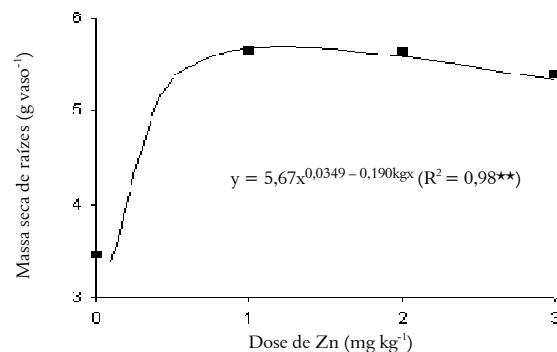


Figura 1. Massa seca de raízes de plantas de milho em função de doses de Zn aplicadas em Latossolo Vermelho textura média.

A massa seca da parte aérea do milho também aumentou com adição de Zn ao solo, corroborando resultados de Galrão e Mesquita Filho (1981) e Consolini e Coutinho (2004). Deve-se mencionar, entretanto, que a interação dose de Zn x cultivar foi significativa, indicando que os cultivares tiveram variadas necessidades de Zn para expressarem seu potencial máximo de crescimento. Observa-se, na Figura 2, que a dose de Zn de 1 mg kg^{-1} foi suficiente para produção máxima de massa seca da parte aérea da variedade Al-Manduri, mas não para os híbridos C 701 e P 3041, que necessitaram de doses mais altas.

Esses resultados sugerem que o requerimento de Zn para o adequado crescimento dos cultivares varia com a classe tecnológica. A classificação do cultivar em classes tecnológicas deve corresponder a seu potencial genético de produção e, portanto, à sua exigência nos fatores de produção. De fato, os materiais utilizados neste trabalho apresentam produtividades distintas no campo, sendo o P 3041 e o C 701 mais produtivos do que o Al-Manduri, com respectivas médias nacionais de produção de grãos de 7.443, 6.693 e 5.220 kg ha^{-1} (Embrapa, 2005). Cultivares altamente produtivos, ou de elevada tecnologia, são mais exigentes em nutrientes do que cultivares pouco produtivos, ou de baixa tecnologia.

Provavelmente, por isso que os híbridos C 701 e P 3041, cultivares mais produtivos, necessitaram de doses mais elevadas de Zn que a variedade Al-Manduri, cultivar menos produtivo, para expressar seu potencial máximo de crescimento.

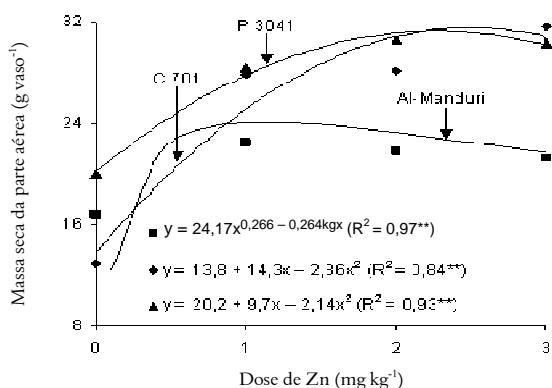


Figura 2. Produção de massa seca da parte aérea de cultivares de milho em função de doses de Zn aplicadas em Latossolo Vermelho textura média.

Peaslee *et al.* (1981) relataram que a acumulação de Zn nas plantas, assim como a produção de massa seca, pode ser influenciada pela taxa de crescimento relativo dos cultivares. Assim, pode-se supor que o ciclo da planta é outro fator que pode ter contribuído no melhor desempenho dos híbridos em relação à variedade, uma vez que eles são de ciclo precoce e ela de ciclo normal. O número de graus-dia necessário para que o milho atinja 50% do florescimento masculino diminui com o encurtamento do ciclo do cultivar (Storck *et al.*, 2005). Como os cultivares testados neste estudo foram submetidos ao mesmo número de graus-dia (foram cultivados nas mesmas condições, por mesmo período de tempo), os híbridos foram mais eficientes que a variedade na produção de massa seca da parte aérea, na situação em que o Zn esteve presente na adubação.

Por outro lado, sem aplicação de Zn, a variedade Al-Manduri acumulou mais massa seca da parte aérea do que o híbrido C 701 (Figura 2), contrastando as observações sobre o ciclo dos dois cultivares. Era esperado que esse híbrido apresentasse considerável crescimento devido a sua menor exigência térmica em relação à variedade, a exemplo do que ocorreu com o P 3041. A hipótese de que possa ter havido efeito do ciclo na sensibilidade dos cultivares à deficiência de Zn parece não ser válida, pois os híbridos são de mesmo ciclo e diferiram no desempenho. Outra possibilidade seria a de que os cultivares Al-Manduri e P 3041 tenham sido mais eficientes no uso de Zn

do que o C 701.

A eficiência de uso em Zn de genótipos ou cultivares refere-se à capacidade das plantas em manter significativo crescimento e produção satisfatória em condições de deficiência de Zn. Vários autores têm mostrado a existência de cultivares de milho mais eficientes do que outros em tolerar a carência de Zn (Shukla e Raj, 1976; Clark, 1978; Safaya e Gupta, 1979; Peaslee *et al.*, 1981). Notaram esses autores que cultivares com deficiência de Zn apresentaram graus variados de redução da massa seca da parte aérea em relação às mesmas plantas com suficiência de Zn. No presente trabalho, verifica-se na Tabela 1, que os cultivares Al-Manduri e P 3041 foram mais eficientes no uso de Zn do que o C 701, independentemente da dose empregada desse micronutriente.

Tabela 1. Eficiência de uso em Zn de três cultivares de milho, dentro de cada dose de Zn adicionada ao solo.

Dose de Zn (mg kg⁻¹)	Eficiência em Zn ⁽ⁱ⁾ (%)		
	Cultivares		
	Al-Manduri	C 701	P 3041
1	75	46	70
2	77	46	66
3	79	41	66

⁽ⁱ⁾ Eficiência em Zn foi calculada conforme Graham e Rengel (1993): [(massa seca da parte aérea da planta no tratamento sem adição de Zn/massa seca da parte aérea da planta no tratamento com adição de Zn) x 100].

A eficiência de uso em Zn no milho tem sido atribuída à capacidade diferencial de genótipos em absorver, translocar e utilizar Zn, bem como tolerar acúmulo excessivo de outros nutrientes (Clark, 1978). A utilização de Zn para o crescimento parece ser o fator que determina a eficiência de cultivares desse cereal em tolerar deficiência de Zn. Peaslee *et al.* (1981) não obtiveram resultados consistentes que mostrassem diferença na absorção radicular e translocação de ⁶⁵Zn em dois cultivares de milho que diferiram em 58% na produção de massa seca da parte aérea, quando cultivados em meio com baixo suprimento desse nutriente, indicando que o crescimento mais acentuado do cultivar eficiente esteve relacionado provavelmente com a melhor utilização bioquímica de Zn. Recentemente, Hacisalihoglu *et al.* (2003) observaram maior expressão e atividade das enzimas dismutase do superóxido e anidrase carbônica, ambas ativadas por Zn, nos genótipos de trigo (*Triticum aestivum* L.) eficientes em comparação ao ineficiente em Zn, mas sem qualquer diferença entre eles na translocação de Zn, compartimentalização de Zn entre citoplasma e vacúolo, localização subcelular de Zn (na parede celular, na membrana plasmática ou solúvel no simplasto), sugerindo que a utilização bioquímica de Zn confere, pelo menos em parte, eficiência de uso

em Zn no trigo. Há evidências que apontam correlação positiva entre utilização bioquímica de Zn e eficiência em Zn para genótipos de outras espécies, tais como feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) e *Vigna mungo* (L.) Hepper (Hacisalihoglu e Kochian, 2003), o que permite supor que esse mecanismo possa atuar em certos cultivares de milho também. Talvez os cultivares Al-Manduri e P 3041 utilizem bioquimicamente melhor o Zn do que o C 701.

Os resultados de crescimento da parte aérea mostram que nem sempre cultivares mais eficientes em crescer em meio com baixa disponibilidade de Zn são os mais responsivos à adubação com esse micronutriente. A variedade Al-Manduri produziu mais massa seca da parte aérea do que o híbrido C 701 na condição de deficiência de Zn (Figura 2), portanto, ela foi mais eficiente no uso em Zn. Por outro lado, quando Zn foi adicionado ao solo (dose de Zn $\geq 1 \text{ mg kg}^{-1}$), o híbrido C 701 produziu mais do que a variedade Al-Manduri (Figura 2) e foi mais responsável à adubação com Zn. Já o híbrido P 3041 teve excelente desempenho com ou sem adição de Zn ao solo, podendo ser considerado eficiente e responsável. Safaya e Gupta (1979) obtiveram resultados semelhantes para 13 cultivares de milho avaliados na presença e ausência de Zn na adubação. Essas observações sugerem que a eficiência de uso em Zn e o potencial de resposta à adubação com tal micronutriente são características genéticas independentes no milho.

As doses de Zn afetaram o conteúdo desse nutriente na parte aérea das plantas, sendo a quantidade acumulada variável conforme o cultivar considerado. Na medida em que as doses de Zn aumentaram, os híbridos C 701 e P 3041 apresentaram maiores conteúdos de Zn na parte aérea do que a variedade Al-Manduri (Figura 3). Como os híbridos adubados com Zn também apresentaram maior acúmulo de massa seca da parte aérea (Figura 2), precisaram absorver mais Zn para o crescimento do que a variedade. Terman *et al.* (1975) sugeriram que a diferença no conteúdo de P de três híbridos de milho foi causada pela capacidade diferencial de absorção das plantas, influenciada pela taxa de crescimento e potencial de produção dos cultivares. Portanto, os híbridos tiveram maior conteúdo de Zn do que a variedade porque cresceram mais e acumularam mais massa seca.

No solo, o Zn extraído pelas soluções de DTPA e Mehlich-1 foi influenciado significativamente apenas pela dose desse micronutriente. As equações que relacionam o teor de Zn disponível (y , em mg kg^{-1}) como variável dependente das doses de Zn (x , em mg kg^{-1}) são as seguintes: $y(\text{DTPA}) = 0,56 +$

$0,44x$ ($R^2 = 0,99^{***}$) e $y(\text{Mehlich-1}) = 0,67 + 0,62x$ ($R^2 = 0,99^{**}$), as quais indicam que a disponibilidade de Zn aumentou na medida em que o micronutriente foi adicionado ao solo.

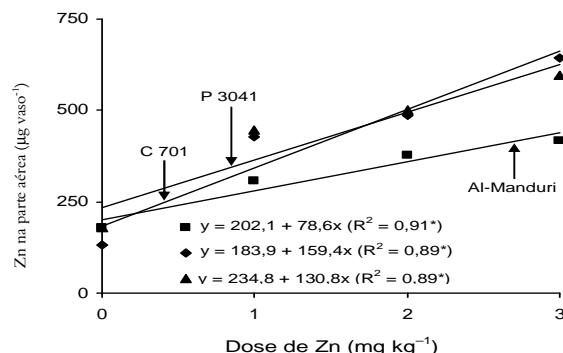


Figura 3. Zinco acumulado na parte aérea de cultivares de milho em função de doses de Zn aplicadas em Latossolo Vermelho textura média.

Os extratores apresentaram eficiência semelhante na avaliação da disponibilidade de Zn no solo para os cultivares de milho testados. Isso foi constatado devido à similaridade dos coeficientes de correlação linear simples entre Zn extraído do solo pelos dois extratores e conteúdo de Zn na parte aérea das plantas (Tabela 2). Embora a eficiência dos extratores tenha sido comparável por esse critério, a recuperação de Zn por unidade de Zn aplicado ao solo foi maior para o Mehlich-1 do que para o DTPA, como pode ser observado por meio dos coeficientes angulares das equações apresentadas. Outros autores têm verificado que extratores preparados a partir de soluções ácidas, como Mehlich-1, apresentam maior capacidade de extração de Zn do solo do que extratores complexantes, como DTPA (Ritchey *et al.* 1986; Bataglia e Raij, 1989; Galrão, 1995; Consolini e Coutinho, 2004). Provavelmente, soluções ácidas solubilizam compostos de Zn que não são dissolvidos pelas complexantes.

Tabela 2. Coeficientes de correlação linear simples entre o Zn extraído do solo por dois extratores e o conteúdo de Zn na parte aérea de três cultivares de milho.

Cultivar	Extrator	
	DTPA	Mehlich-1
Al-Manduri	0,93***	0,93***
C 701	0,92***	0,91***
P 3041	0,89***	0,88***

*** Significativo ($p < 0,001$).

Os resultados da extração sequencial de Zn demonstraram modificações significativas apenas nas frações trocável e matéria orgânica com adição de Zn ao solo (Tabela 3). O aumento das doses de Zn

promoveu incremento linear nas concentrações de Zn nestas frações, indicando que, em curto prazo de reação com o solo, esse micronutriente não foi significativamente adsorvido pelos óxidos de Fe e Al e minerais de argila silicatados (fração residual), permanecendo nas frações mais solúveis.

Tabela 3. Efeito de doses de Zn, aplicadas no Latossolo Vermelho textura média, nas concentrações desse micronutriente nas frações do solo.

Dose de Zn	Frações de Zn				
	Trocável	Matéria orgânica	Óx. de Fe e Al não-cristalinos	Óx. de Fe e Al cristalinos	Residual
	mg kg ⁻¹				
0	0,10	0,27	0,67	3,95	8,00
1	0,30	0,41	0,67	4,20	7,89
2	0,73	0,77	0,75	4,37	8,34
3	1,19	1,11	0,77	5,10	8,57
Teste F	671,08**	92,92**	0,64ns	0,85ns	0,26ns
Reg. ⁽¹⁾	L**	L*	-	-	-

⁽¹⁾ Regressão linear (L). ns: não-significativo; *, ** Significativo ($p < 0,05$ e $p < 0,01$, respectivamente).

Embora tenham sido verificadas menores concentrações de Zn na fração trocável (Tabela 3), foi justamente essa fração que esteve associada com o Zn acumulado na parte aérea das plantas e com sua disponibilidade no solo avaliada com uso dos extratores DTPA e Mehlich-1 (Tabela 4). Isso significa que a fração trocável foi a mais importante no fornecimento de Zn às plantas e os extratores de Zn disponível testados foram capazes de identificá-la e estimá-la, confirmando os resultados de Consolini (1998), Consolini (2003) e Borges e Coutinho (2004), os quais empregaram o mesmo procedimento de fracionamento em vários solos com atributos químicos, físicos e mineralógicos bem distintos.

Tabela 4. Equações de regressão múltipla⁽¹⁾ que relacionam o Zn acumulado na parte aérea do milho, o Zn extraído por DTPA e Mehlich-1 e o Zn removido de frações do solo.

Variável dependente	Equação de regressão	R ²
Zn acumulado na parte aérea	$y = 0,22 + 0,30\text{Zn-trocável}$	0,64**
Zn no solo (DTPA)	$y = 0,55 + 1,15\text{Zn-trocável}$	0,96***
Zn no solo (Mehlich-1)	$y = 0,66 + 1,62\text{Zn-trocável}$	0,97***

⁽¹⁾ Nos ajustes foram incluídas apenas as variáveis que tiveram as suas entradas significativas ($p < 0,05$) no modelo. **, *** Significativo ($p < 0,01$ e $p < 0,001$, respectivamente).

Não houve efeito significativo de cultivar e não foi significativa a interação dose de Zn \times cultivar, indicando que os cultivares não provocaram redistribuição de Zn entre as frações, embora a extração desse micronutriente do solo tenha sido diferente (Figura 3).

A partir dos resultados da massa seca da parte aérea dos cultivares e das concentrações de Zn na planta e no solo, foram estabelecidas relações entre essas variáveis (Figuras 4 e 5). Essas relações servem para representar a estreita dependência do crescimento dos

cultivares do teor de Zn disponível no solo e da concentração desse nutriente na planta. No solo, os níveis críticos de Zn (associados a 90% da produção relativa da parte aérea), extraído pelas soluções de DTPA e Mehlich-1 foram 1,05 e 1,34, 1,28 e 1,65, e 1,13 e 1,45 mg kg⁻¹, respectivamente, para os cultivares Al-Manduri, C 701 e P 3041. Nota-se que o nível crítico de Zn pelo extrator Mehlich-1 sempre foi maior do que seu correspondente pelo extrator DTPA, como observado por Coutinho *et al.* (2001). Os níveis críticos de Zn na parte aérea das plantas (associados a 90% da produção relativa da parte aérea) foram 14, 18 e 16 mg kg⁻¹, respectivamente, para Al-Manduri, C 701 e P 3041, confirmando a tendência ocorrida no solo.

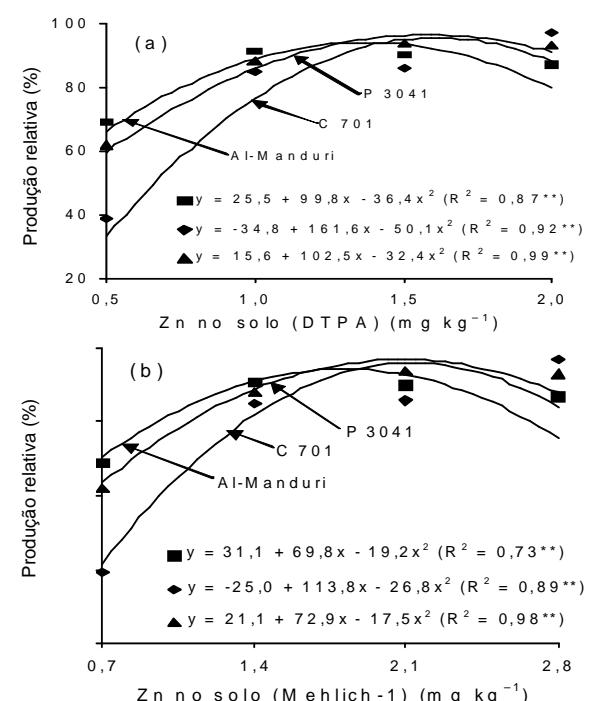


Figura 4. Relação entre produção relativa de massa seca da parte aérea de cultivares de milho e teor de Zn extraído do solo por DTPA (a) e Mehlich-1 (b).

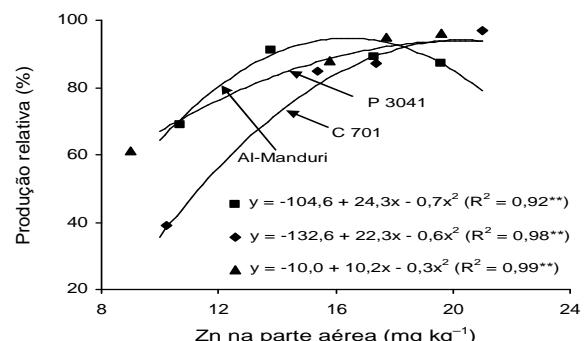


Figura 5. Relação entre produção relativa de massa seca e concentração de Zn na parte aérea de cultivares de milho.

Tanto no solo como na planta, os híbridos C 701 e P 3041 apresentaram nível crítico de Zn mais elevado do que a variedade Al-Manduri, ratificando a afirmação de que são mais responsivos à adubação com Zn. Isso também sustenta a hipótese de que os cultivares testados exigem quantidade diferenciada de Zn para seu crescimento, principalmente quando se comparam os híbridos, que são mais exigentes em Zn, com a variedade. É provável que a exigência em Zn esteja ligada em grande parte à capacidade de crescimento e ao potencial de produção de massa de cada cultivar testado neste trabalho.

Conclusão

Os cultivares de milho indicados para diversas tecnologias apresentaram diferenças na exigência e eficiência no uso do Zn. Os híbridos C 701 e P 3041, de média e de alta tecnologia, respectivamente, foram mais exigentes em Zn quando comparados com a variedade Al-Manduri, de baixa tecnologia. Os cultivares P 3041 e Al-Manduri foram mais eficientes no uso do Zn do que o C 701. Tanto no solo como na planta, os híbridos apresentaram nível crítico de Zn mais elevado do que a variedade.

Referências

- BATAGLIA, O.C.; RAIJ, B. Van. Eficiência de extractores de micronutrientes na análise de solo. *Rev. Bras. Cienc. Solo*, Campinas, v. 13, n. 2, p. 205-212, 1989.
- BATAGLIA, O.C. et al. *Métodos de análise química de plantas*. Campinas: Instituto Agronômico, 1983. (Boletim técnico, 78).
- BORGES, M.R.; COUTINHO, E.L.M. Metais pesados do solo após aplicação de bioassólido. I - Fracionamento. *Rev. Bras. Cienc. Solo*, Viçosa, v. 28, n. 3, p. 543-555, 2004.
- CHAO, T.T.; ZHOU, L. Extraction techniques for selective dissolution of amorphous iron oxides from soils and sediments. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, Madison, v. 47, n. 1, p. 225-232, 1983.
- CLARK, R.B. Differential response of maize inbreds to zinc. *Agron. J.*, Madison, v. 70, n. 4, p. 1057-1060, 1978.
- CONSOLINI, F. *Distribuição e disponibilidade das frações de zinco em alguns solos do estado de São Paulo*. 1998. Dissertação (Mestrado em Agronomia)-Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 1998.
- CONSOLINI, F. *Efeito do pH na disponibilidade e distribuição de zinco nas frações do solo*. 2003. Tese (Doutorado em Agronomia)-Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2003.
- CONSOLINI, F.; COUTINHO, E.L.M. Efeito da aplicação de Zn e do pH do solo na disponibilidade do micronutriente. *Acta Sci. Agron.*, Maringá, v. 26, n. 1, p. 7-12, 2004.
- COUTINHO, E.L.M. et al. Resposta do milho doce à adubação com zinco. *Ecossistema*, Espírito Santo do Pinhal, v. 26, n. 2, p. 181-186, 2001.
- EMBRAPA. Cultura do milho. Ensaio nacional de cultivares de milho. [S.l.: s.d.], 1998/1999. Disponível em: <<http://www.cnpm.embrapa.br/ensaio/ensaio1999/tabelas.html>>. Acesso em: 6 fev. 2005.
- FAGERIA, N.K. et al. Micronutrients in crop production. *Adv. Agron.*, San Diego, v. 77, p. 185-268, 2002.
- GALRÃO, E.Z. Níveis críticos de zinco para o milho cultivado em latossolo vermelho-amarelo, fase cerrado. *Rev. Bras. Cienc. Solo*, Campinas, v. 19, n. 2, 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, n. 2, p. 283-289, 1996.
- GALRÃO, E.Z.; MESQUITA FILHO, M.V. Efeito de micronutrientes na produção e composição química do arroz (*Oryza sativa* L.) e do milho (*Zea mays* L.) em solo de cerrado. *Rev. Bras. Cienc. Solo*, Campinas, v. 5, n. 1, p. 72-75, 1981.
- GRAHAM, R.D.; RENGEL, Z. Genotypic variation in Zn uptake and utilization by plants. In: ROBSON, A.D. (Ed.). *Zinc in soils and plants*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1993. p. 107-114.
- HACISALIHOGLU, G. et al. Zinc efficiency is correlated with enhanced expression and activity of zinc-requiring enzymes in wheat. *Plant Physiol.*, Rockville, v. 131, n. 2, p. 595-602, 2003.
- HACISALIHOGLU, G.; KOCHIAN, L.V. How do some plants tolerate low levels of soil zinc? Mechanisms of zinc efficiency in crop plants. *New Phytol.*, Lancaster, v. 159, n. 2, p. 341-350, 2003.
- 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, n. 3, p. 421-428, 1978.
- PEASLEE, D.E. et al. Accumulation and translocation of zinc by two corn cultivars. *Agron. J.*, Madison, v. 73, n. 4, p. 729-732, 1981.
- RAIJ, B. Van et al. *Análise química do solo para fins de fertilidade*. Campinas: Fundação Cargill, 1987.
- RITCHIEY, 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.
- SAFAYA, N.M.; GUPTA, A.P. Differential susceptibility of corn cultivars to zinc deficiency. *Agron. J.*, Madison, v. 71, n. 1, p. 132-136, 1979.
- SAS Institute. Statistical Analysis System. *SAS/STAT User's guide*, version 6.4. ed. Cary, 1989. v. 1/2.
- SAWAZAKI, E. et al. Milho. In: FAHL, J.I. et al. (Ed.). *Instruções agrícolas para as principais culturas econômicas*. Campinas: Instituto Agronômico, 1998. p. 37-39. (Boletim, 200).
- SHUKLA, U.C.; RAJ, H. Zinc response in corn as influenced by genetic variability. *Agron. J.*, Madison, v. 68, n. 1, p. 20-22, 1976.
- SHUMAN, L.M. Zinc, manganese, and copper in soil fractions. *Soil Sci.*, Baltimore, v. 127, n. 1, p. 10-17, 1979.
- SHUMAN, L.M. Separating soil iron and manganese-

- oxide fractions for microelement analysis. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, Madison, v. 46, n. 5, p. 1099-1102, 1982.
- SHUMAN, L.M. Sodium hypochlorite methods for extracting microelements associated with soil organic matter. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, Madison, v. 47, n. 4, p. 656-660, 1983.
- SHUMAN, L.M. Fractionation method for soil microelements. *Soil Sci.*, Baltimore, v. 140, n. 1, p. 11-22, 1985.
- SIMS, J.T. Soil pH effects on the distribution and plant availability of manganese, copper and zinc. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, Madison, v. 50, n. 2, p. 367-373, 1986.
- STORCK, L. *et al.* Adequação de ciclo e estatura de planta é essencial para a comparação de genótipos de milho. *Cien. Rural*, Santa Maria, v. 35, n. 1, p. 16-23, 2005.
- TERMAN, G.L. *et al.* Corn hybrid yield effects on phosphorus, manganese, and zinc absorption. *Agron. J.*, Madison, v. 67, n. 2, p. 182-184, 1975.
- 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, n. 4, p. 543-546, 1968.

Received on August 03, 2005.

Accepted on August 25, 2006.