

## DISPONIBILIDADE DE ZINCO PARA O MILHO AFETADA PELA ADIÇÃO DE Zn E PELO pH DO SOLO

NÚBIA MICHELI ZAVAGLIA PEREIRA<sup>1</sup>, PAULO ROBERTO ERNANI<sup>2</sup> e LUIS SANGOI<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Aluna do Curso de Mestrado em Ciência do Solo da Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC), Av. Luis de Camões, 2090, C.P. 281, CEP 88520-000, Lages, SC. E-mail: nubiamzp@yahoo.com.br

<sup>2</sup> Professores da Universidade do Estado de Santa Catarina, prernani@cav.udesc.br, a2ls@cav.udesc.br

*Revista Brasileira de Milho e Sorgo, v.6, n.3, p. 273-284, 2007*

**RESUMO** - A disponibilidade de Zn tem sido pouco estudada nos solos do sul do Brasil, principalmente devido à constante falta de reposição das culturas à adição desse nutriente. Como o pH afeta o Zn no solo, esse trabalho objetivou avaliar o efeito da calagem e da adição de Zn na disponibilidade desse nutriente para o milho, em dois solos catarinenses, em casa-de-vegetação. Os tratamentos consistiram da combinação fatorial de quatro valores de pH (natural, 5,5, 6,0 e 6,5) com quatro doses de Zn (0, 10, 40 e 80 mg dm<sup>-3</sup>). Realizaram-se quatro cultivos, com duração de trinta dias cada, sem reaplicação dos tratamentos entre eles. A adição de Zn não influenciou o rendimento de massa seca em nenhum cultivo, independente do pH e do tipo de solo. O Zn extraído pelas soluções de HCl 0,1 mol L<sup>-1</sup> ou de Mehlich-3 aumentou linearmente com o aumento da quantidade de Zn adicionada, e sempre foi maior na ausência do que na presença de calcário. A concentração e a quantidade de Zn absorvido correlacionaram-se positivamente com a adição do nutriente e sempre foram maiores nos tratamentos sem calcário. O pH precisa ser considerado por ocasião da interpretação dos valores de Zn do solo.

**Palavras-chave:** *Zea mays*, disponibilidade de zinco, calagem, métodos analíticos.

### AVAILABILITY OF ZINC TO MAIZE AS AFFECTED BY Zn ADDITION AND BY SOIL pH

**ABSTRACT** - Research dealing with zinc availability is meager in the soils of Southern Brazil as a result of the constant lack of response of crops to addition of this nutrient. Since soil pH affects Zn in the soil, this study aimed to evaluate the effect of lime and Zn addition on Zn availability to maize in two Brazilian soils. The experiment was carried out in a greenhouse, with four pH values (natural; 5.5; 6.0; and 6.5) and four rates of zinc (0, 10, 40, and 80 mg Zn dm<sup>-3</sup>) as treatments. Four successive maize crops were grown in two soils, without re-application of the treatments. Zinc addition had no effect on corn dry matter regardless of soil pH, soil type and cultivation. The amount of Zn extracted from the soil by both methods (HCl 0.1 mol L<sup>-1</sup> or Mehlich-3) increased linearly with increases on Zn applied, and it was always

larger in the absence than in the presence of lime. Plant Zn concentration and Zn taken up were positively associated with Zn added and negatively related to soil pH. The pH should be considered for a better interpretation of Zn values in the soil.

**Key words:** *Zea mays*, zinc availability, liming, analytical methods.

A disponibilidade de micronutrientes nos solos brasileiros varia com o tipo de solo e com as regiões geográficas. Nos solos do cerrado, é necessário adicionar vários micronutrientes, especialmente zinco, para a obtenção de altos rendimentos agrícolas (Galvão, 2002), diferentemente do extremo sul do país, onde normalmente não há incremento no rendimento vegetal decorrente da adição desses elementos (Bissani & Gianello, 2003), devido à boa disponibilidade natural (Comissão de Fertilidade do Solo, 2004). Independente da região, entretanto, as quantidades disponíveis de Fe, Cu, Zn, Mn e B diminuirão com a intensificação do uso do solo e com o incremento no nível tecnológico, principalmente porque essas práticas vêm acompanhadas da diminuição da acidez.

O zinco é o micronutriente com maior probabilidade de se tornar limitante ao desenvolvimento das plantas, principalmente para espécies exigentes, à semelhança do milho. A disponibilidade de zinco às plantas é influenciada por atributos de solo e de plantas. O suprimento de Zn pelo solo depende do material de origem e dos demais fatores que afetam sua concentração na solução, dentre eles a concentração de fósforo (Hamilton *et al.*, 1993), o pH (Ma & Lindsay, 1993; Andreotti *et al.*, 2001), os teores de argila (Cunha *et al.*, 1994), de matéria orgânica (Hamilton *et al.*, 1993; Amaral Sobrinho *et al.* 1997) e de óxidos e hidróxidos (Stahl & James, 1991; Cunha *et al.*, 1994; Amaral Sobrinho *et al.*, 1997). A elevação do pH do solo diminui a concentração de Zn na solução (Arias *et al.*, 2005), princi-

palmente porque aumenta a intensidade da adsorção do metal por meio de complexos de esfera interna, em decorrência da menor competição com o hidrogênio. Os teores de argila, de óxidos, e de matéria orgânica influenciam a disponibilidade de Zn, porque afetam a capacidade de retenção de água e, principalmente, o número de sítios de adsorção específica.

A resposta das plantas à adição de zinco depende da exigência de cada espécie (Fageria, 2000), do teto produtivo, da intensidade de uso do solo, da distribuição do sistema radicular e da disponibilidade de água. Quando é necessário adicionar Zn ao solo (Galvão, 1994; Galvão, 1995), as quantidades normalmente são próximas de 1,0 kg ha<sup>-1</sup> e o efeito residual persiste por vários anos (Galvão, 1996). Nos Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina, assim como na maioria das regiões brasileiras, os níveis críticos considerados para micronutrientes no solo são baseados num pequeno número de experimentos envolvendo apenas algumas espécies vegetais, o que gera pouca confiança nos mesmos por parte de muitos técnicos e produtores.

O método clássico para avaliar a necessidade de aplicação de um dado nutriente ao solo consiste na obtenção de curvas de resposta e de curvas de calibração, que são elaboradas regionalmente, durante vários anos, em experimentos de campo. Além da quantificação do rendimento das culturas em decorrência da adição de doses crescentes do nutriente ao solo, também são feitas

determinações químicas do mesmo, tanto no solo como nas folhas. Os métodos laboratoriais normalmente são rápidos, de fácil execução, de baixo custo e determinam o nível crítico acima do qual o rendimento deixa de aumentar. A concentração de zinco disponível no solo tem sido extraída por vários métodos químicos, dentre eles a solução de HCl 0,1 mol L<sup>-1</sup> e a solução combinada de vários reagentes do método Mehlich-3 (CH<sub>3</sub>COOH 0,2 mol L<sup>-1</sup> + NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub> 0,25 mol L<sup>-1</sup> + NH<sub>4</sub>F 0,015 mol L<sup>-1</sup> + HNO<sub>3</sub> 0,013 mol L<sup>-1</sup> + EDTA 0,001 mol L<sup>-1</sup>). As quantidades extraídas com HCl diluído são conseqüentes do abaixamento do pH, enquanto que as determinadas pelo método de Mehlich-3 envolvem principalmente a complexação do metal.

Este trabalho foi conduzido com o objetivo de avaliar o efeito do pH e da adição de quantidades crescentes de Zn na sua concentração no solo, no rendimento de massa seca e na absorção por plantas de milho, em dois solos ácidos do Estado de Santa Catarina.

### Material e Métodos

O experimento foi conduzido em casa-de-vegetação, em Lages, SC, de maio de 2003 a outubro de 2004. Utilizaram-se amostras de um Nitossolo Vermelho (NV), originário de basalto, e de um Cambissolo Húmico (CH), originário de rocha sedimentar, coletadas na camada de 0 a 20 cm de profundidade, em áreas com vegetação campestre nativa, na região do planalto sul catarinense. O NV e o CH apresentavam, respectivamente: pH-água = 4,5 e 4,1; Al<sup>3+</sup> = 30 e 73 mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; Ca<sup>+2</sup> = 7,0 e 10 mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; Mg<sup>+2</sup> = 5,0 e 6,0 mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>, matéria orgânica = 40 e 43 g dm<sup>-3</sup>; argila = 880 e 360 g dm<sup>-3</sup>; P = 1,8 e 2,7 mg dm<sup>-3</sup>; e K = 58 e 144 mg dm<sup>-3</sup>.

Os tratamentos consistiram da combinação fatorial entre quatro valores de pH (5,5, 6,0 e 6,5, além do natural) com quatro doses de zinco (0, 10,

40 e 80 mg dm<sup>-3</sup>). Para elevar o pH, utilizou-se calcário dolomítico (PRNT 100%), nas quantidades de 3,0, 4,5 e 6,0 g kg<sup>-1</sup> respectivamente, para o NV, e de 7,5, 10,5 e 14,5 g kg<sup>-1</sup>, respectivamente, para o CH. Em seguida, as unidades experimentais (3,0 kg de solo, base seca) foram umedecidas, acondicionadas em sacos de plástico e incubadas por 30 dias. Após esse período, foram aplicadas as doses de zinco, a partir de uma solução de cloreto de zinco (ZnCl<sub>2</sub>) pró-análise, cujo reagente foi previamente secado em estufa, a 65°C, por um dia.

Posteriormente, as unidades experimentais foram transferidas para vasos de plástico, com volume de cinco litros, e iniciaram-se os cultivos, todos com a cultivar 'Tractor' e duração de 30 dias após a germinação, sem reaplicação dos tratamentos. O primeiro cultivo foi realizado em novembro e dezembro de 2003, e os demais, em 2004, respectivamente, em março-abril, maio-junho, e setembro-outubro. Antecedendo à semeadura, as unidades experimentais foram revolvidas e fertilizadas com 100 mg dm<sup>-3</sup> de N, de P e de K. Utilizaram-se o delineamento experimental inteiramente casualizado e quatro repetições.

Em cada vaso, foram utilizadas cinco plantas, nos três primeiros cultivos, e oito plantas no último cultivo. Água destilada foi adicionada diariamente, por meio de pesagem, a fim de manter o solo com umidade de aproximadamente 80% do teor de água retido na capacidade de campo. Por ocasião da colheita, as plantas foram cortadas junto ao solo e a parte aérea foi secada em estufa (60° C), com circulação forçada de ar, até peso constante.

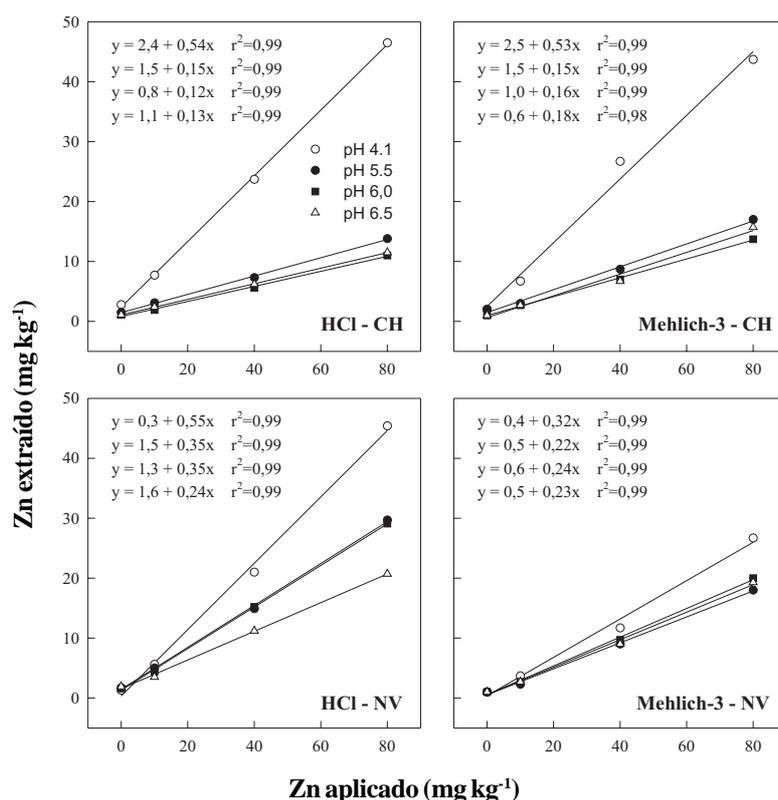
O tecido vegetal (1,00 g) foi digerido com uma mistura de 6,0 mL de HNO<sub>3</sub> e 1,0 mL de HClO<sub>4</sub>. O zinco do solo foi extraído com solução de HCl 0,1 mol L<sup>-1</sup> e também com a solução do método Mehlich-3 (CH<sub>3</sub>COOH 0,2 mol L<sup>-1</sup> + NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub> 0,25 mol L<sup>-1</sup> + NH<sub>4</sub>F 0,015 mol L<sup>-1</sup> +

HNO<sub>3</sub> 0,013 mol L<sup>-1</sup> + EDTA 0,001 mol L<sup>-1</sup>). O Zn foi quantificado por meio de espectrofotometria de absorção atômica. A quantidade absorvida pela parte aérea das plantas foi obtida multiplicando-se a massa seca (g) pela concentração de Zn (mg kg<sup>-1</sup>) na mesma.

Os dados obtidos em cada cultivo foram submetidos à análise da variância. Como não houve interação entre os fatores estudados (pH x doses de Zn adicionadas), os dados foram avaliados por meio de análises de regressão. O tipo de solo não foi considerado como sendo um fator e, portanto, a análise estatística foi efetuada para cada solo individualmente.

### Resultados e Discussão

A concentração de zinco extraída dos solos pelos métodos do HCl ou de Mehlich-3 aumentou linearmente com o incremento nas doses de Zn adicionadas (Figura 1). Todas as equações apresentaram um elevado coeficiente de determinação, independente do método analítico ou do tipo de solo, mostrando que os extratores foram capazes de detectar eficientemente a adição do nutriente aos solos, de acordo com um modelo linear. Nas amostras de solo coletadas após o primeiro cultivo de milho, 30 dias após a aplicação de Zn, os métodos recuperaram de 12 a 54% do Zn aplicado no Cambissolo Húmico e de 22 a 55% no Nitossolo Vermelho, e as maiores variações foram devidos às diferenças no



**FIGURA 1.** Teores de zinco num Nitossolo Vermelho (NV) e num Cambissolo Húmico (CH), extraídos com solução de HCl 0,1 mol L<sup>-1</sup> ou pela solução de Mehlich-3, nas amostras coletadas após o primeiro cultivo de milho, em função da adição de doses de zinco em diferentes valores de pH. Média de quatro repetições.

pH dos solos (Figura 1). Os valores de Zn extraídos não mudaram no período de dez meses; independente do solo ou do método de extração, eles permaneceram praticamente inalterados nas amostras coletadas após o quarto cultivo (dados não mostrados) em relação àquelas coletadas após o primeiro cultivo.

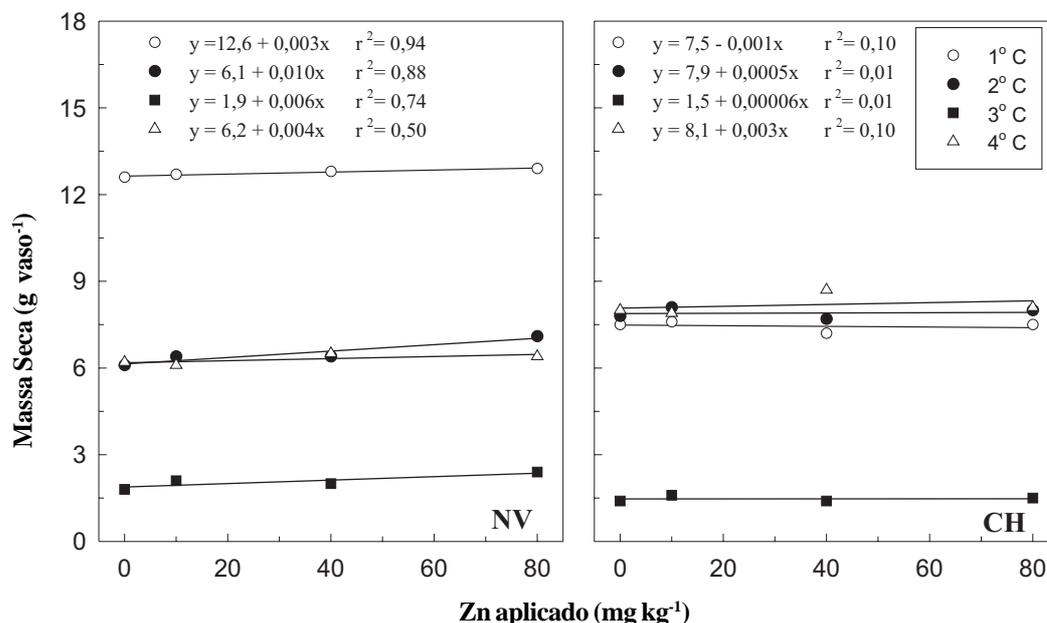
As quantidades de Zn extraídas variaram com o pH do solo (Figura 1). Nos tratamentos que receberam Zn, os valores quantificados pelos dois métodos (HCl 0,1 mol L<sup>-1</sup> e Mehlich-3), em cada uma das doses do nutriente, sempre foram maiores onde não foi aplicado calcário, em relação aos tratamentos que receberam o corretivo da acidez, nos dois solos. Onde foi aplicada a maior dose de Zn (80 mg kg<sup>-1</sup>), a quantidade extraída do tratamento sem calcário, em relação à média dos tratamentos com calcário, após o primeiro cultivo de milho, foi 1,4 a 1,7 vez maior no NV, e 2,8 a 3,8 vezes maior no CH, dependendo do método de extração (Figura 1). Accioly et al. (2004) também observaram diminuição das quantidades de Zn extraídas por métodos ácidos com a elevação do pH do solo. Acredita-se que a menor habilidade dos métodos ácidos em quantificar Zn em valores mais elevados de pH se deve à menor dissolução de precipitados de Zn (Amaral Sobrinho et al., 1997), mas, principalmente, ao decréscimo na extração do Zn adsorvido especificamente por complexos de esfera interna, cuja energia de ligação aumenta com a elevação do pH. Segundo Couto et al. (1992), a capacidade dos métodos químicos de extrair Zn do solo diminui com o aumento da quantidade de Zn da fase sólida, que pode migrar para a solução do solo (fator capacidade), a qual também aumenta com a elevação do pH do solo. A não ser no tratamento com o maior pH (6,5) no Nitossolo, a concentração de Zn quantificada pelo HCl não variou entre os três tratamentos que receberam calcário.

A capacidade extratora dos métodos variou com o tipo de solo (Figura 1). No Cambissolo, os dois métodos extraíram quantidades de Zn muito semelhantes, independente do pH e da quantidade de Zn adicionada. No Nitossolo, entretanto, o HCl extraiu aproximadamente 60% mais do que o método de Mehlich-3, excluindo o tratamento com o maior pH (6,5), onde não houve diferença entre eles.

A adição de zinco não influenciou o rendimento de massa seca da parte aérea de milho em nenhum solo, nos quatro cultivos (Figura 2). Mesmo no tratamento onde o nutriente não foi aplicado, os valores de Zn estiveram acima do nível crítico (0,5 mg kg<sup>-1</sup>) considerado para os solos dos Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina, independente da solução extratora e do tipo de solo (CFS – RS/SC, 2004). Para os solos do cerrado, o nível crítico de Zn para o milho é de 1,0 mg kg<sup>-1</sup>, quando extraído com solução de HCl 0,1 mol L<sup>-1</sup> e de 0,8 mg kg<sup>-1</sup>, quando se usa o método Mehlich-3 (Galvão, 1996).

A resposta das plantas à adição de zinco tem variado com o solo e com a região geográfica. A adição de Zn não tem aumentado o rendimento de várias espécies vegetais, incluindo a massa seca de milho, num Nitossolo Vermelho em Santa Catarina (Ernani et al., 2001a) ou num Latossolo Vermelho de São Paulo (Andreotti et al., 2001), assim como o rendimento de grãos de soja no Paraná (Campo & Lantmann, 1998) e de milho em Minas Gerais (Kondorfer et al., 1995). Em outras regiões brasileiras, entretanto, principalmente nos solos do cerrado, a adição de Zn tem aumentado o rendimento de várias culturas, dentre elas o feijão (Teixeira et al., 2004), o arroz-de-sequeiro (Barbosa Filho et al., 1992) e o milho (Galvão, 1994; Galvão, 1995; Galvão, 1996; Souza et al., 1998).

Houve baixa resposta do milho à adição de calcário. A elevação do pH aumentou o rendimento

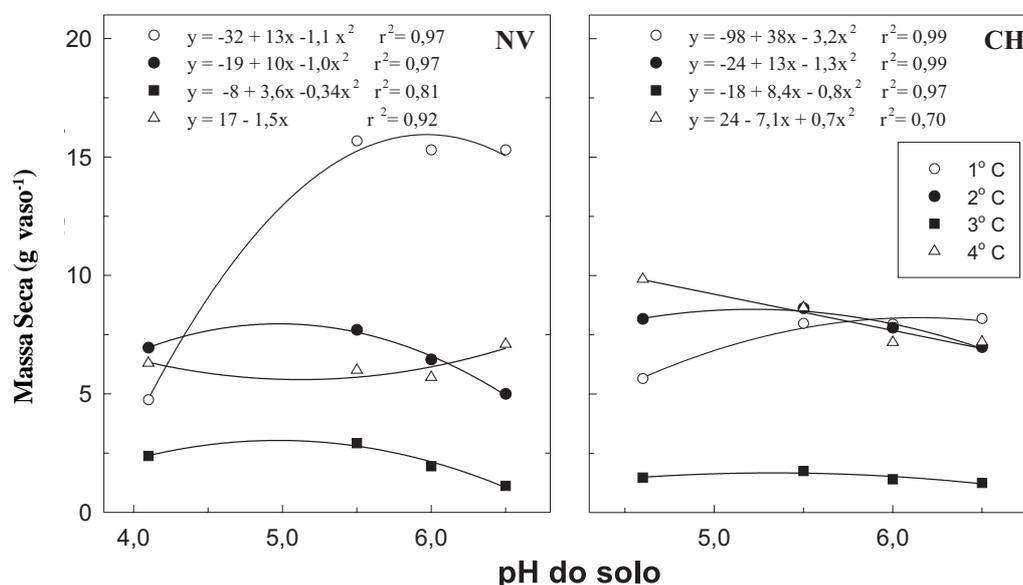


**FIGURA 2.** Rendimento de massa seca da parte aérea de quatro cultivos de milho em casa-de-vegetação, com duração de 30 dias cada, em função da adição de doses de zinco a dois solos ácidos. Média de 16 avaliações (quatro repetições e quatro valores de pH).

de massa seca somente no primeiro cultivo, nos dois solos, onde o rendimento máximo foi obtido em pH 5,9 (Figura 3). Ernani et al. (2001b) já haviam observado baixa resposta à calagem de inúmeras espécies vegetais cultivadas nesses solos, em casa-de-vegetação. Acredita-se que isso possa estar relacionado com a adição de doses moderadas a altas de P e também com a baixa taxa de desenvolvimento vegetal. A adição de quantidades médias a altas de P em experimentos com vasos é necessária, devido à alta relação entre o volume de raízes e de solo nessas condições, mas se sabe que há uma relação de substituição entre P e calcário (Ernani et al, 2000). O primeiro cultivo foi realizado na primavera, com temperaturas superiores a 25°C, justamente quando o rendimento de massa seca aumentou com o aumento do pH do solo. Os outros três cultivos aconteceram em épocas em que a temperatura ambiente não foi muito apropriada para o desenvolvimento de milho, especialmente o

terceiro, realizado durante o inverno, onde prevaleceram dias nublados e nele foram obtidas as menores produções de massa seca. No período de outono/inverno, o comprimento do dia é menor, resultando em menor quantidade de energia radiante, em relação ao período compreendido entre a primavera e o verão. O milho é uma planta C<sub>4</sub> que fotossintetiza com maior eficiência em altas temperaturas e com maior disponibilidade de radiação solar.

A adição de Zn aumentou linearmente a concentração do nutriente nas plantas e a quantidade acumulada na parte aérea (Figuras 4 e 5), à exceção do tratamento sem calcário, em alguns cultivos. Resultados similares foram obtidos por vários outros autores (Galvão, 1994; Kondorfer et al., 1995; Galvão, 1995; Galvão, 1996; Ernani et al., 2001a; Andreotti et al., 2001). Como a adição de zinco não aumentou o rendimento de massa seca (Figura 2), isso mostra que as plantas têm capacidade de

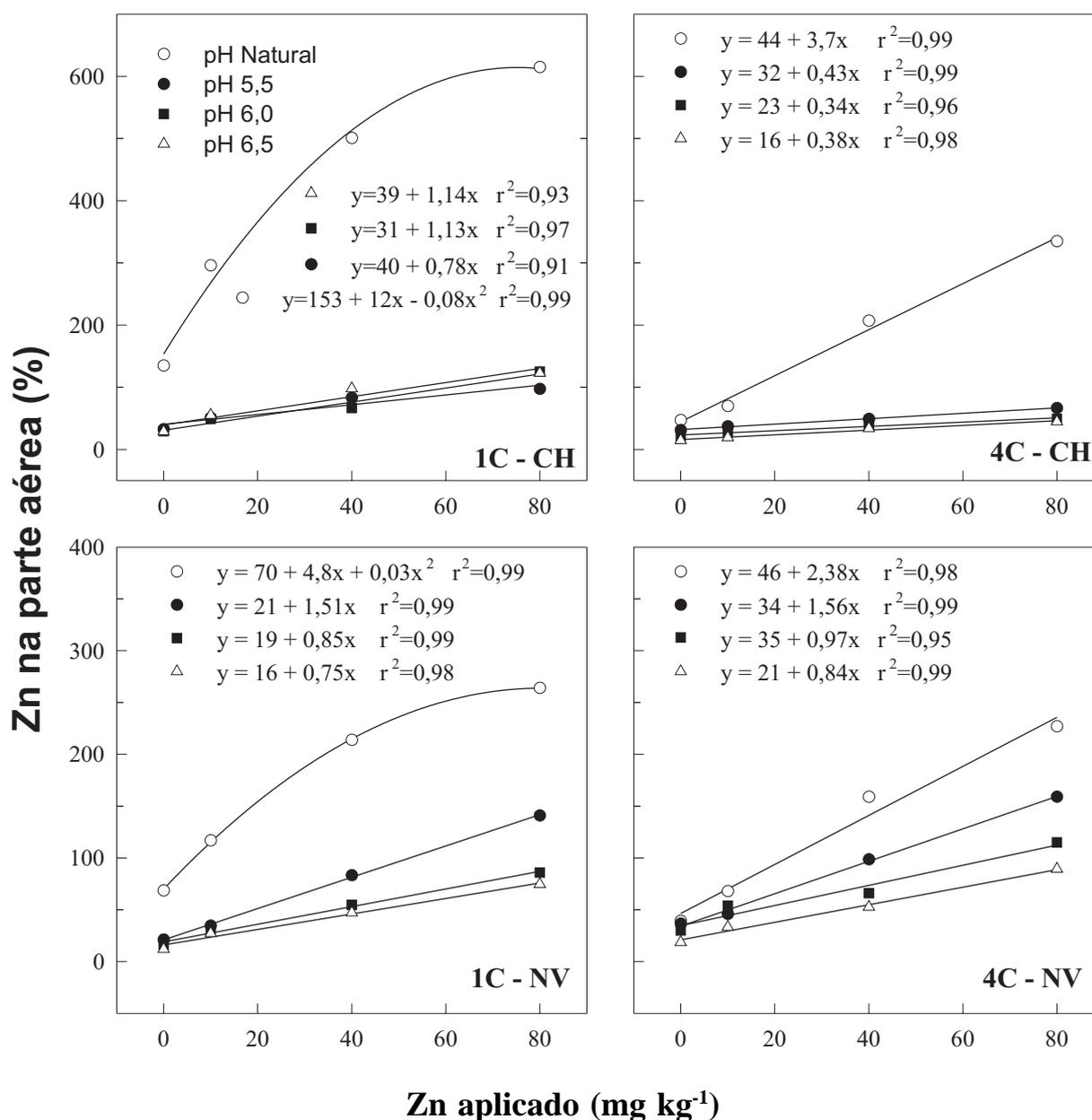


**FIGURA 3.** Rendimento de massa seca da parte aérea de quatro cultivos de milho em casa-de-vegetação, com duração de 30 dias cada, em função da elevação do pH em dois solos ácidos. Média de 16 avaliações (quatro repetições e quatro doses de Zn).

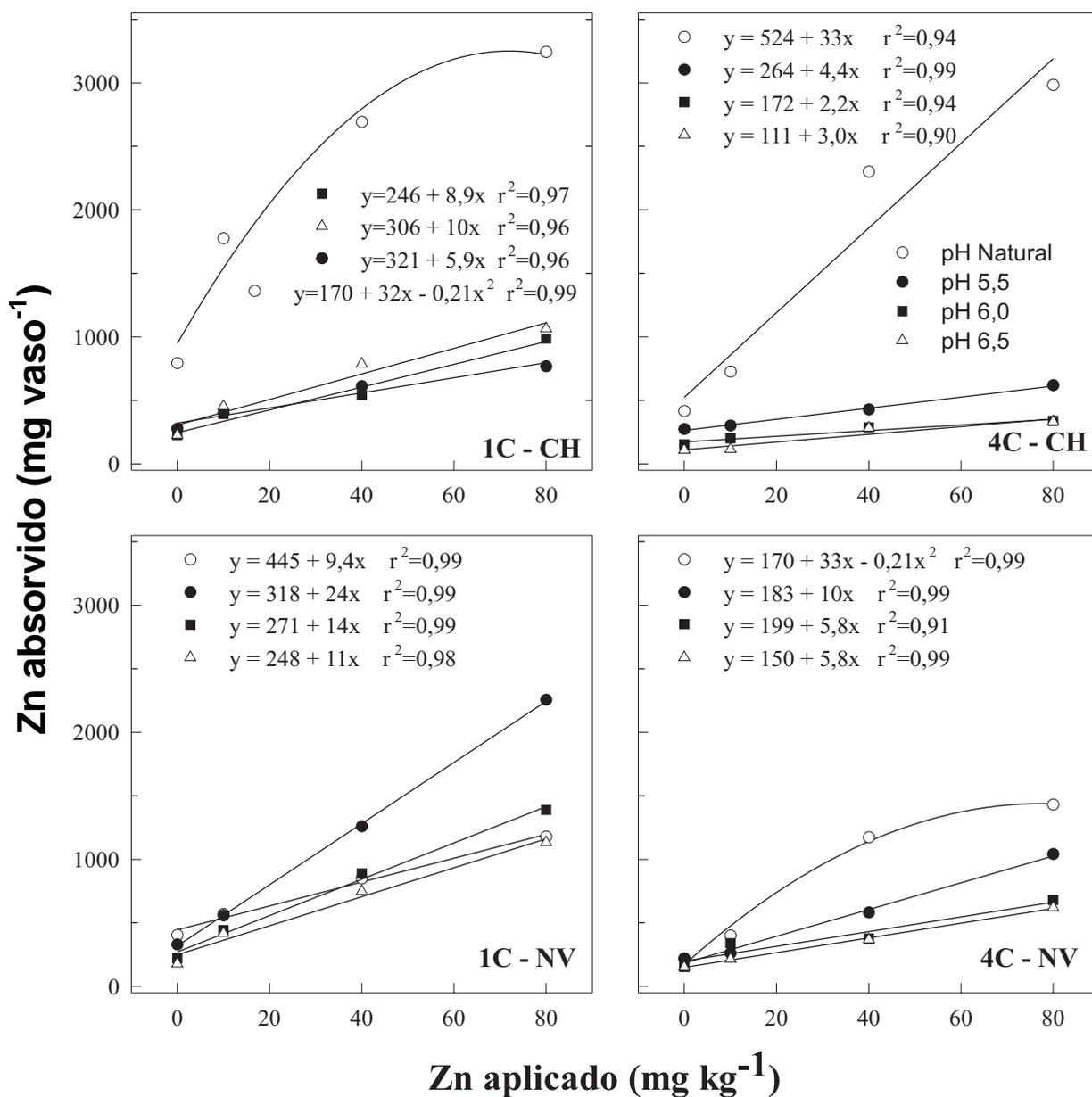
absorver e acumular, pelo menos na fase inicial, quantidades bem maiores do que elas precisam para realizar seus processos metabólicos, podendo translocar o nutriente, posteriormente, para outros órgãos ou estruturas.

As concentrações de Zn e as quantidades acumuladas na parte aérea das plantas variaram com o pH, nos dois solos (Figuras 4 e 5). As maiores concentrações ocorreram nas plantas cultivadas no tratamento mais ácido, onde não foi aplicado calcário, nos dois solos. Isso provavelmente ocorreu porque a disponibilidade de Zn às plantas é determinada pela sua atividade na solução do solo, que é controlada pela adsorção do nutriente aos compostos sólidos, por meio de complexos de esfera interna e pela formação de alguns precipitados (Ma & Lindsay, 1993). Como a magnitude dessas reações aumenta com a elevação do pH, a concentração de Zn na solução do solo e nas plantas (Galvão, 1995) diminui com a diminuição da acidez.

A concentração de Zn nas plantas praticamente não variou entre os três tratamentos que receberam calcário no Cambissolo, independente da dose aplicada; no Nitossolo, entretanto, as plantas cultivadas no tratamento com a menor dose de calcário (pH 5,5) apresentaram maior concentração de Zn do que as cultivadas nos tratamentos com pH 6,0 e 6,5, as quais não diferiram entre si (Figura 4). O aumento do pH diminuiu a absorção de Zn principalmente no Cambissolo: no último cultivo, a elevação do pH para 6,5 diminuiu a absorção de Zn em 4 vezes, no CH, e em 45%, no NV, no tratamento onde não foi aplicado Zn; onde foi adicionada a maior dose do nutriente ( $80 \text{ mg kg}^{-1}$ ), a diminuição na absorção foi de 9 vezes no CH e de 2,3 vezes no NV (Figura 5). Além do milho (Andreotti et al., 2001), tem sido observado que a elevação do pH do solo diminui a absorção de Zn por outras espécies, incluindo o eucalipto (Accioly et al., 2004) e o café (Chaves et al., 1984).



**FIGURA 4.** Concentração de zinco na parte aérea do primeiro (1C) e do quarto (4C) cultivos de milho em casa-de-vegetação, com duração de 30 dias cada, em função da adição de doses de zinco num Nitossolo Vermelho (NV) e num Cambissolo Húmico (CH) em diferentes valores de pH. Média de quatro repetições.



**FIGURA 5.** Quantidade de zinco acumulada na parte aérea do primeiro (1C) e do quarto (4C) cultivos de milho em casa-de-vegetação, com duração de 30 dias cada, em função da adição de doses de zinco num Nitossolo Vermelho (NV) e num Cambissolo Húmico (CH) em diferentes valores de pH. Média de quatro repetições.

A concentração de Zn na parte aérea esteve dentro da faixa normal para o milho (20 a 80 mg kg<sup>-1</sup>) na quase totalidade dos tratamentos (Figura 4). Valores menores do que 20 mg kg<sup>-1</sup> somente ocorreram no tratamento onde não foi aplicado Zn e que tinha o maior pH (6,5) (alguns dados não mostrados). A maior concentração de Zn nas folhas (615 mg kg<sup>-1</sup>) ocorreu no CH, no tratamento onde foi aplicada a maior dose de Zn (80 mg kg<sup>-1</sup>), e aparentemente não houve nenhum sintoma visual de fitotoxidez. Ernani *et al.* (2001a) também não encontraram sintomas de toxidez de Zn em milho, mesmo quando a concentração do nutriente no tecido atingiu valores maiores que do 300 mg kg<sup>-1</sup>.

A quantidade de Zn acumulada nas plantas foi conseqüência da concentração do nutriente no tecido vegetal, uma vez que tanto a adição de zinco quanto a elevação do pH não aumentaram a massa seca das plantas, à exceção do primeiro cultivo realizado no NV, onde o aumento do pH elevou a produção de massa seca da parte aérea (Figura 3). Por isso, a maior concentração de Zn nas plantas cultivadas na ausência de calcário (Figura 4) está positivamente relacionada com a maior disponibilidade desse nutriente às plantas, diagnosticada pelos métodos químicos (Figura 1). Os coeficientes de determinação entre os valores de zinco acumulados nas plantas e os extraídos dos solos pelos dois métodos químicos foi de 0,64 no primeiro cultivo e de 0,70 no último cultivo (dados não mostrados).

### Conclusões

1. A adição de Zn aos solos aumenta linearmente a absorção do nutriente, porém não influencia o rendimento de massa seca de milho em nenhum dos dois solos.
2. A absorção de Zn por plantas de milho diminui com a elevação do pH do solo.
3. A capacidade extratora dos métodos analíticos varia com o tipo de solo e, principalmente, com o pH, pois os valores de Zn extraídos são maiores na ausência do que na presença de calcário e isso precisa ser considerado por ocasião da interpretação das análises de solo para fins de recomendação de adubação.

### Agradecimentos

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) a concessão de Bolsa de Produtividade em Pesquisa aos professores co-autores do trabalho.

### Literatura Citada

- ACCIOLY, A. M. A.; SIQUEIRA, J. O.; CURTI, N.; MOREIRA, F. M. S. Amenização do calcário na toxidez de zinco e cádmio para mudas de *Eucalyptus camaldulensis* cultivadas em solo contaminado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 28, p. 775-783, 2004.
- AMARAL SOBRINHO, N .M. B.; GOMES, M. F.; VELLOSO, A. C. X.; OLIVEIRA, C. de. Fracionamento de zinco e chumbo em solos tratados com fertilizantes e corretivos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 21, p. 17-21, 1997.
- ANDREOTTI, M.; SOUZA, E. C. A. de; CRUSCIOL, C.A.C. Componentes morfológicos e produção de matéria seca de milho em função da aplicação de calcário e zinco. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 58, p. 321-327, 2001.
- ARIAS, M.; PÉREZ-NOVO, C.; OSORIO, F.; LÓPEZ, E.; SOTO, B. Adsorption and desorption

- of copper and zinc in the surface layer of acid soils. **Journal of Colloid and Interface Science**, New York, v. 288, n. 1, p. 21-29, 2005.
- BARBOSA FILHO, M. P.; FAGERIA, N. K.; SILVA, O. F. da; BARBOSA, A. M. Interações entre calagem e zinco na absorção de nutrientes e produção de arroz-de-sequeiro em casa de vegetação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Piracicaba, v. 16, p. 355-360, 1992.
- BISSANI, C. A.; GIANELLO, C. **Utilização de micronutrientes**. In: CURSO DE FERTILIDADE DO SOLO EM PLANTIO DIRETO, 6., 2003, Ibirubá. **Trabalhos publicados**. Passo Fundo: Aldeia Norte, 2003. p. 52-63.
- CAMPO, R. J.; LANTMANN, A. F. Efeitos de micronutrientes na fixação biológica do nitrogênio e produtividade da soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 33, p. 1245-1253, 1998.
- CHAVES, J. C. D.; PAVAN, M. A.; IGUE, K. Resposta do cafeeiro à calagem. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 19, p. 573-582, 1984.
- COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO – RS/SC. **Recomendações de adubação e de calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina**. 3. ed. Passo Fundo EMBRAPA-CNPT, 2004. 394 p.
- COUTO, C.; NOVAIS, R. F.; TEIXEIRA, J. L.; BARRO, 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 do fator capacidade. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 16, p. 79-87, 1992.
- CUNHA, R. C.; CAMARGO, O. A.; KINJO, T. Aplicação de três isoterma na adsorção de zinco em oxissolos, alfissolos e ultissolos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 18, p. 15-20, 1994.
- ERNANI, P. R.; NASCIMENTO, J. A. L.; CAMPOS, M. L.; CAMILO, R. J. Influência da combinação de fósforo e calcário no rendimento de milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 24, p. 537-544, 2000.
- ERNANI, P. R.; BITTENCOURT, F.; VALMORBIDA, J.; CRISTANI, J. Influência de adições sucessivas de zinco, na forma de esterco suíno e de óxido, no rendimento de matéria seca de milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 25, p. 905-911, 2001a.
- ERNANI, P. R.; BAYER, C.; FONTOURA, S. M. V. Influência da calagem no rendimento de matéria seca de plantas de cobertura e adubação verde, em casa-de-vegetação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 25, p. 897-904, 2001b.
- FAGERIA, N. K. Níveis adequados e tóxicos de zinco na produção de arroz, feijão, milho, soja e trigo em solo de cerrado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 4, p. 390-395, 2000.
- GALRÃO, E. Z. Métodos de correção de deficiência de zinco para o cultivo do milho num Latossolo Vermelho-Escuro argiloso sob cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 18, p. 229-233, 1994.

- GALRÃO, E. Z. Níveis críticos de zinco para o milho cultivado em Latossolo Vermelho-Amarelo, fase cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do 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. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 20, p. 283-289, 1996.
- GALRÃO, E. Z. Micronutrientes. In: SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E. (Ed.). **Cerrado: correção do solo e adubação**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2002. 416 p.
- KORNDORFER, G. H.; ALCANTARA, C. B.; HOROWITZ, N.; LANA, R. M. Q. Formas de adição de zinco a um formulado NPK e seu efeito sobre a produção de milho. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 52, p. 555-560, 1995.
- HAMILTON, M. A.; WESTERMANN, D. T.; JAMES, D. W. Factors affecting zinc uptake in cropping systems. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 57, p. 1310-1315, 1993.
- MA, Q. Y.; LINDSAY, W. L. Measurements of free zinc<sup>+2</sup> activity in uncontaminated and contaminated soils using chelation. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 57, p. 963-967, 1993.
- SOUZA, E. C. A.; COUTINHO, E. L. M.; NATALE, W.; BARBOSA, J. C. Respostas do milho à adubação com fósforo e zinco. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 33, p. 1031-1036, 1998.
- STAHL, R. S.; JAMES, B.R. Zinc sorption by iron-oxide-coated sand as a function of pH. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 55, p. 1287-1290, 1991.
- TEIXEIRA, I.R.; BOREM, A.; ARAUJO, G.A.A.; FONTES, R.L.F. Manganese and zinc leaf application on common bean grown on a "Cerrado" soil. **Scientia Agricola**, v.61, p.77-81, 2004.