

# RESPOSTAS DA MACIEIRA À APLICAÇÃO DE ZINCO NO SOLO<sup>1</sup>

MARCOS ANTONIO PAVAN<sup>2</sup>

**RESUMO** - Avaliou-se, durante cinco anos, a resposta da macieira cv. Gala sobre o porta-enxerto MM106 à aplicação de Zn, em dois solos ácidos, no Estado do Paraná. O solo, em ambos os locais, foi classificado como cambissolo álico, com pH < 4,5 e Zn-HCl 0,1N < 3 ppm. Forma granulada de ZnSO<sub>4</sub>.H<sub>2</sub>O foi aplicada na superfície do solo, e concentrada em dois orifícios (5 cm de diâmetro por 10 cm de profundidade) em lados opostos na projeção da copa das árvores, em uma aplicação e em duas doses de 17,5 e 35,0 g Zn/árvore. No primeiro ano, após a aplicação de Zn no solo, não houve diferenças significativas nos teores de Zn-folha e na produção de frutas. A partir do segundo ano, o Zn-incorporado nos orifícios aumentou a concentração de Zn-folha e a produção de frutas. Este efeito permaneceu, no mínimo, até o quinto ano. O aumento na dose de Zn-incorporado no solo aumentou a concentração de Zn-folha, e eliminou os sintomas da carência nutricional. O tratamento Zn-superfície, em ambos os locais, não foi efetivo para a correção da deficiência de Zn em macieira.

Termos para indexação: *Malus domestica*, micronutriente, adubação de Zn.

## RESPONSE OF APPLE TO SOIL APPLIED ZINC

**ABSTRACT** - The response of apple Gala var. on MM106 rootstocks to applied Zn on acid soil was investigated during five years in two commercial orchards in the State of Paraná, Brazil. The soil in both sites was an Inceptisol with topsoil reaction of about 4.5 and 0.1N HCl extractable Zn < 3 ppm. Granular ZnSO<sub>4</sub>.H<sub>2</sub>O was applied by broadcasting on the soil surface around each tree and in two concentrated holes (5 cm diameter by 10 cm deep) around each tree, one time only at two rates: 17.5 and 35.0 g Zn/tree. There were no significant differences in leaf-Zn concentration and fruit yields during the first year of the experiment. After two years, placement of Zn-fertilizer in holes significantly increased leaf-Zn and fruit yields. This treatment continued to be effective until the end of five years experiment, correcting the symptoms of Zn deficiency. As the Zn rate was increased, the leaf-Zn also increased. Surface-Zn treatment was not effective at either site.

Index terms: *Malus domestica*, micronutrient, Zn fertilization.

## INTRODUÇÃO

A deficiência de zinco (Zn) é generalizada nas áreas produtoras de maçã, no Paraná. Os sintomas visuais são caracterizados pela presença de internódios curtos e folhas jovens pequenas em forma de rosetas, associadas com teores de Zn inferiores a 10 ppm e diminuição no tamanho dos frutos (Trani, 1982). Teores foliares de Zn entre 15 a 80 ppm são considerados adequados para a nutrição

da macieira (Chapman, 1966). A correção da deficiência de Zn nos pomares de macieira tem sido realizada através de aplicações foliares de sais solúveis de Zn em mistura com outros produtos químicos utilizados nos tratamentos fitossanitários do pomar (Basso & Wilms, 1989). A maior limitação do fornecimento de Zn via foliar é a necessidade de aplicações anuais, e, na maioria das vezes, de várias aplicações no mesmo ano, durante o desenvolvimento vegetativo, dada a baixa mobilidade do metal nos vasos do floema das plantas. O tráfico de máquinas pesadas no pomar é outro fator a ser considerado, em face do aumento da compactação do solo, resultando em reduções na infiltração de água e no crescimento das raízes (Tisdale et al., 1993).

<sup>1</sup> Aceito para publicação em 31 de outubro de 1997.

<sup>2</sup> Eng. Agr., Ph.D., Instituto Agronômico do Paraná (IAPAR), Caixa Postal 481, CEP 86001-970 Londrina, PR.

O fornecimento de Zn às plantas via solo tem sido utilizado com sucesso há décadas em algumas frutíferas, tais como citros (Leonard et al., 1958; Embleton et al., 1964, 1965; Anderson, 1984), abacateiro (Gustafson, 1957; Embleton & Wallihan, 1966) e macieira (Orphanos, 1982). Estes autores documentaram que uma aplicação de Zn em solos ácidos foi efetiva para corrigir a deficiência durante vários anos, em comparação com a aplicação foliar. Por outro lado, em pomares de frutíferas instalados em solos com pH próximo à neutralidade, a aplicação foliar foi mais efetiva do que através do solo, devido à diminuição da solubilidade do Zn (Chapman, 1966, 1968).

O objetivo foi avaliar a eficiência da aplicação de Zn em solo ácido para corrigir a deficiência em pomares de macieira, no Paraná.

## MATERIAL E MÉTODOS

Conduziram-se dois experimentos no período de 1986 a 1991 em pomares adultos (seis a oito anos de idade), com a cultivar Gala sobre o porta-enxerto MM106, no espaçamento de 4 m x 1,5 m, respectivamente, localizados na Estação Experimental do Instituto Agrônomo do Paraná (IAPAR), em Palmas e na Fazenda Prima, propriedade da Paraná Equipamentos, em Porto Amazonas. Utilizou-se a cultivar Fuji como polinizadora, em ambos os locais. O solo, em ambos os locais, foi classificado como cambissolo álico (Ca) ou Inceptisol (US. Soil Taxonomy), cujas principais características químicas iniciais da camada de 0 a 20 cm de profundidade são apresentadas na Tabela 1.

Utilizaram-se os seguintes tratamentos: testemunha (sem aplicação de sal de Zn) e  $ZnSO_4 \cdot H_2O$  (35% de Zn) na superfície e incorporado nas doses de 17,5 e 35,0 g de Zn/árvore. O tratamento Zn-superfície consistiu de aplicação do fertilizante, espalhado, o mais uniforme possível,

na superfície do solo, na projeção da copa das árvores. O tratamento Zn-incorporado consistiu de aplicação do fertilizante em dois orifícios de 5 cm de diâmetro por 10 cm de profundidade, localizados na projeção da copa em lados opostos da árvore. O fertilizante com Zn foi aplicado no solo, após a quebra de dormência em 1986.

Durante o período de 1986 a 1991 avaliaram-se a produção total de frutas e as composições químicas do solo e das folhas. Amostras de folhas foram coletadas de ramos produtivos, cerca de dez a doze semanas após o florescimento, ou durante o período de 15 a 30 de janeiro de cada ano; e amostras de solo na projeção da copa das árvores, no período de inverno, nas profundidades de 0 a 5, 5 a 10, 10 a 20, 20 a 40 e 40 a 60 cm. As análises de folha e solo foram realizadas segundo os métodos de rotina do IAPAR (Miyazawa et al., 1992; Pavan et al., 1992). Em resumo, determinou-se o pH em solução de  $CaCl_2$  0,01 mol L<sup>-1</sup> na relação 1:2,5 (solo:solução); Ca, Mg e Al extraídos com a solução de KCl 1 mol L<sup>-1</sup> na relação 1:10 (solo: solução), sendo o Ca e o Mg determinados por espectrofotometria de absorção atômica, e o Al, por titulação com NaOH 0,015N, com o indicador azul de bromotimol; K e P, extraídos com a solução de Mehlich (HCl 0,05M + H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,0125M), sendo o K determinado por fotometria de chama, e o P, por colorimetria com azul de molibdênio, e o carbono orgânico (CO), por oxidação úmida, pelo método de Walkley-Black. Outras práticas culturais e fitossanitárias foram realizadas de acordo com as recomendações para o cultivo da macieira no Paraná (IAPAR, 1988). O Zn do solo foi extraído com a solução de HCl 0,1N, na relação 1:10 (solo:solução), após uma hora de agitação, e determinado por espectrofotometria de absorção atômica (Machado & Pavan, 1987b).

O delineamento experimental foi o de blocos ao acaso, com cinco tratamentos e quatro repetições, sendo cada parcela composta por quatro ruas com quatro árvores em cada uma, utilizando-se as quatro centrais para as avaliações de produção. Os dados foram submetidos à análise da variância, e as médias, comparadas pelo teste Tukey a 5%.

TABELA 1. Características químicas dos solos (0-20 cm) antes do início do experimento.

Local	Unidade de solo	pH CaCl <sub>2</sub>	Cátions trocáveis (meq/100 mL)				C.O. (%)	P (ppm)	Zn (ppm)
			Ca	Mg	K	Al			
Palmas	Ca	4,3	4,1	2,3	0,38	1,6	3,5	6,0	3,8
Porto Amazonas	Ca	4,2	3,4	1,8	0,30	2,1	3,0	9,0	2,6

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise de solo no final do experimento demonstrou que os teores de Zn-HCl (0-20 cm) nas parcelas sem Zn-fertilizante foram inferiores a 4 ppm (Fig. 1). Segundo Barber (1984), teores de Zn-HCl no solo entre 2 e 7 ppm são considerados deficientes para a maioria das plantas cultivadas. Machado & Pavan (1987b) concluíram que níveis de Zn-HCl em solos do Paraná inferiores a 4 ppm causaram deficiências nutricionais em cafeeiros. Os resultados da Fig. 1 também demonstraram que apenas os tratamentos Zn-superfície resultaram em aumentos nos teores de Zn-HCl no solo. É importante mencionar que nos tratamentos Zn-incorporado retiraram-se as amostras de solo em uma área localizada na projeção da copa das árvores entre os orifícios de aplicação do Zn-fertilizante. O baixo teor de Zn no solo no tratamento Zn-incorporado, demonstra a limitada difusão do Zn no solo do orifício de aplicação para as áreas adjacentes. O maior teor de Zn no solo na camada de 0 a 5 cm, no tratamento Zn-superfície, demonstra também a limitada mobilidade vertical do metal. Foi também observado, em um latossolo roxo, cultivado com o cafeeiro, maior concentração do Zn nas camadas superficiais do solo, diminuindo sistematicamente com a profundidade (Pavan et al., 1986). Nas revisões realizadas por Lindsay (1972) e por Barber (1984), há um grande número de trabalhos

demonstrando a pequena mobilidade do Zn em diferentes tipos de solo. Esta característica de baixa mobilidade do Zn no solo demonstra a necessidade da localização do Zn-fertilizante próximo à zona de maior densidade radicular.

A concentração de Zn nas folhas das plantas que não receberam Zn-fertilizante foi no máximo 10 ppm, em ambos os pomares, durante todo o período experimental (Tabela 2). Segundo Trani (1982), níveis foliares de Zn inferiores a 10 ppm são considerados deficientes para a produção de maçã. A baixa concentração de Zn nas folhas das plantas-testemunha indicaram que, mesmo em condições ácidas, os solos foram ineficientes no fornecimento do Zn nativo, causando os sintomas de deficiência do metal. O teor deficiente de Zn nas folhas das plantas-testemunha foi devido à baixa concentração do metal no solo. Os efeitos dos tratamentos de aplicação de Zn no solo, na correção da deficiência foliar, dependeram do tempo após a aplicação, do modo e da dose. No primeiro ano, os tratamentos de aplicação de Zn no solo não aumentaram o teor de Zn nas folhas, continuando os sintomas da deficiência

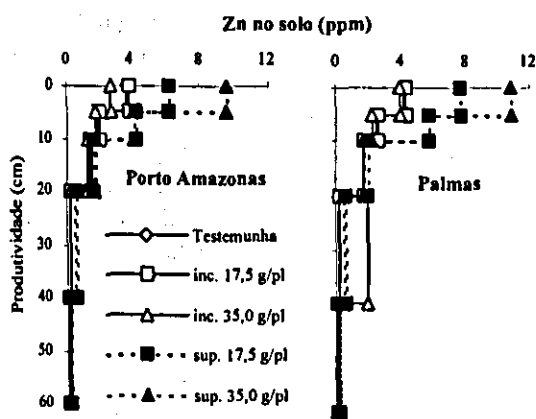


FIG. 1. Efeito da aplicação de Zn no solo no teor de Zn extraído com HCl 0,1 N.

TABELA 2. Teores foliares de Zn em função da aplicação de doses e da incorporação de sulfato de zinco no solo de 1986 a 1991, em dois locais produtores de maçã no Paraná. (Médias de quatro repetições)<sup>1</sup>.

Tratamento	Zn-folha (ppm) durante o período experimental					
	1986	1987	1988	1989	1990	1991
Palmas						
Testemunha	10a	10a	8a	8a	8a	8a
Zn-superf. dose 1	9a	10a	10a	10a	9a	9a
Zn-superf. dose 2	10a	10a	10a	10a	10a	8a
Zn-incorp. dose 1	11a	18b	22b	56b	62b	75b
Zn-incorp. dose 2	9a	26b	26b	69b	73b	84b
Porto Amazonas						
Testemunha	8a	8a	7a	7a	7a	6a
Zn-superf. dose 1	10a	10a	9a	8a	8a	8a
Zn-superf. dose 2	10a	9a	8a	9a	9a	10a
Zn-incorp. dose 1	9a	16b	24b	44b	60b	68b
Zn-incorp. dose 2	10a	15b	32b	37b	49b	72b

<sup>1</sup> As médias seguidas pela mesma letra, dentro de cada coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

nutricional. A partir do segundo ano, as plantas que receberam Zn-incorporado apresentaram teores foliares superiores aos demais tratamentos. Os resultados demonstraram que a aplicação de Zn-incorporado em forma solúvel ( $ZnSO_4 \cdot H_2O$ ) demorou de um a dois anos para causar aumentos significativos nas folhas, permanecendo efetivo até o final do período experimental. O teor de Zn nas folhas das plantas que receberam 35 g de Zn/árvore incorporado manteve-se superior a 20 ppm do segundo ao quinto ano, e eliminou os sintomas carenciais deste nutriente. Desta forma, o Zn-fertilizante incorporado em um volume reduzido de solo localizado próximo à zona radicular, apresentou alto poder residual de, no mínimo cinco anos. Em um estudo com citrus em solos ácidos da Flórida, constatou-se que uma aplicação de  $ZnSO_4$  incorporado no solo próximo à zona radicular foi efetiva para manter as árvores sem sintomas de deficiência de Zn, por doze anos (Smith & Rasmussen, 1959).

O tratamento Zn-superfície não foi eficiente na correção da deficiência de Zn em macieira (Tabela 2), permanecendo os sintomas de carência deste metal. Provavelmente, este efeito deve-se à baixa mobilidade do Zn no solo, da superfície até a zona de absorção radicular; à alta fixação pelos colóides do solo; e à precipitação com íons ortofosfatos acumulados pelas aplicações anuais de fertilizantes (Lindsay, 1972; Barber, 1984). A menor densidade radicular da macieira na zona de 5 cm próxima à superfície do solo (Pavan, 1995) pode também ter contribuído para a falta de respostas das plantas ao tratamento Zn-superfície. Machado & Pavan (1987a) estudaram a capacidade de adsorção de Zn por alguns solos do Paraná, e concluíram que os cambissolos apresentam alta capacidade de adsorção de Zn, cuja energia de retenção aumentou com o aumento de pH. Portanto, é provável que a incorporação do Zn em um volume reduzido de solo tenha proporcionado menor adsorção, dada a menor superfície de contacto com o solo e a menor possibilidade da reação de precipitação com o P do fertilizante, resultando em maior disponibilidade para as plantas. A falta de resposta no primeiro ano de aplicação do Zn-incorporado no solo pode ser atribuída à provável ausência de raízes no local de aplicação do fertilizante, principalmente

por causa do corte mecânico das raízes realizado durante a operação de abertura dos orifícios no solo. Com o provável restabelecimento das raízes durante o primeiro ano, incrementou-se a absorção, e corrigiu-se a deficiência de Zn. Orphanos (1982) também documentou que o modo de aplicação de Zn no solo é crítico para suprir as necessidades nutricionais da macieira. Este autor concluiu que a incorporação do Zn-fertilizante em orifícios localizados a uma distância de 30 a 60 cm do tronco da árvore foi o melhor método de correção da deficiência de Zn em macieira.

Aparentemente, não se observaram sintomas visuais de toxidez de Zn nas folhas de macieira com concentrações superiores a 50 ppm.

Constatou-se, também, que as concentrações foliares de N, P, K, Ca e Mg estavam adequados para a produção de maçã, segundo os níveis de interpretação publicados por Trani (1982).

A Tabela 3 apresenta os resultados de produção de maçã. No primeiro ano, não houve diferenças significativas entre os tratamentos. A partir do segundo ano, as árvores que receberam Zn-incorporado no solo apresentaram maior produção de frutas do que os demais tratamentos, com exceção de Porto Amazonas em 1989. A aplicação de Zn na superfície do solo não aumentou a produção de maçãs. Os resultados de produção refletem os efeitos dos tratamentos no estado nutricional das macieiras. O tratamento Zn-incorporado no solo aumentou o Zn-folha, e resultou em aumento na produção de frutas. Os dados de Porto Amazonas devem ser analisados com a devida cautela, em face das baixas produções de frutos por planta.

No presente estudo, uma aplicação de Zn-incorporado em volume reduzido de solo foi efetiva para corrigir a deficiência e manter os níveis nutricionais em condições ótimas para a produção de maçã por um período de, no mínimo, cinco anos. Em função da pequena mobilidade do Zn no floema, é preferível o fornecimento através das raízes, aproveitando o transporte relativamente rápido via xilema (Barber, 1984). Neste aspecto, o modo de aplicação do Zn no solo é crítico, e é necessário minimizar a superfície de contacto com o solo, além da localização próxima à zona de maior densidade radicular.

**TABELA 3. Produção de maçãs (kg/planta) em função da aplicação de doses e da incorporação de sulfato de zinco durante o período de 1987 a 1991, em dois locais produtores de maçã, no Paraná. Médias de quatro repetições<sup>1</sup>.**

Tratamento	Produção de maçã (kg/planta)					Média
	1987	1988	1989	1990	1991	
Palmas						
Testemunha	13,4a	15,3a	13,1a	20,9a	26,3a	17,8a
Zn-superf. dose 1	11,8a	16,6a	12,3a	17,5a	25,1a	16,7a
Zn-superf. dose 2	12,3a	18,8a	12,5a	15,4a	32,2a	18,2a
Zn-incorp. dose 1	12,6a	27,4b	20,2b	28,6b	56,7b	29,5b
Zn-incorp. dose 2	12,8a	26,9b	24,4b	26,0b	59,1b	29,8b
Porto Amazonas						
Testemunha	10,3a	5,3a	8,3a	4,9a	2,8a	6,3a
Zn-superf. dose 1	10,0a	6,6a	8,9a	3,2a	3,5a	6,4a
Zn-superf. dose 2	12,4a	7,0a	8,6a	2,0a	3,8a	6,8a
Zn-incorp. dose 1	11,0a	18,0b	10,2a	18,8b	12,0b	14,0b
Zn-incorp. dose 2	12,0a	20,9b	10,0a	19,8b	19,0b	16,3b

<sup>1</sup>As médias seguidas pela mesma letra dentro de cada coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

## CONCLUSÕES

1. O fornecimento de Zn via solo é efetivo para diminuir os sintomas de carência e aumentar a produção de maçã.

2. A eficiência da aplicação de Zn no solo é condicionada à diminuição da superfície de contacto com o solo e sua localização na zona de absorção radicular.

## REFERÊNCIAS

- ANDERSON, C.A. Micronutrient uptake by citrus from soil applied zinc compounds. *Soil and Crop Science Society of Florida. Proceedings*, v.43, p.36-39, 1984.
- BARBER, S.A. *Soil nutrient bioavailability: a mechanistic approach*. New York: J. Wiley, 1984. p.346-363.
- BASSO, C.; WILMS, F.W.W. Adubação foliar em frutíferas de clima temperado. In: ADUBAÇÃO foliar. Campinas: Fundação Cargill, 1989. p.371-392.
- CHAPMAN, H.D. Zinc. In: CHAPMAN, H.D. (Ed.). *Diagnostic criteria for plant and soils*. Riverside: University of California, 1966. p.484-499.
- CHAPMAN, H.D. The mineral nutrition of citrus: zinc. In: REUTHER, W.; BATCHELOR, L.D.; WEBBER, H.J. (Eds.). *The citrus industry*. Riverside: University of California, 1968. p.233-243.
- EMBLETON, T.W.; WALLIHAN, E.F. Soil applications of zinc for avocados. *California Avocado Society Yearbook*, v.50, p.87-93, 1966.
- EMBLETON, T.W.; WALLIHAN, E.F.; GOODALL, G.E. Effectiveness of soil vs. foliar applied zinc, and of foliar applied manganese on California lemons. *Proceedings of the American Society for Horticultural Science*, v.86, p.253-259, 1965.
- EMBLETON, T.W.; WALLIHAN, E.F.; LABANAUSKAS, C.K.; GOODALL, G.E. Soil applications of zinc for citrus. *California Citrograph*, v.49, p.491-496, 1964.
- GUSTAFSON, C.D. Zinc soil treatment on avocado. *California Citrograph*, v.42, p.225-227, 1957.
- IAPAR (Londrina, PR). *A cultura da macieira no Paraná*. Londrina: IAPAR, 1988. 112p. (IAPAR. Circular, 50).
- LEONARD, C.D.; STEWART, I.; EDWARDS, G. Soil applications of zinc for citrus on acid sandy soil. *Proceedings of the Florida State Horticultural Society*, v.71, p.99-106, 1958.

- LINDSAY, W.L. Zinc in soils and plant nutrition. *Advances in Agronomy*, v.24, p.147-186, 1972.
- MACHADO, P.L.O. de A.; PAVAN, M.A. Adsorção de zinco por alguns solos do Paraná. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.11, p.253-256, 1987a.
- MACHADO, P.L.O. de A.; PAVAN, M.A. Avaliação de métodos químicos para extração de zinco disponível no solo para mudas de café. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v.22, p.213-217, fev. 1987b.
- MIYAZAWA, M.; PAVAN, M.A.; BLOCH, M. de F. *Análise química de tecido vegetal*. Londrina: IAPAR, 1992. 20p. (IAPAR. Circular, 74).
- ORPHANOS, P.I. Spray and soil application of zinc to apples. *Journal of Horticultural Science*, v.57, p.259-266, 1982.
- PAVAN, M.A. Efeito da adubação mineral na distribuição do sistema radicular da macieira. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.19, p.477-480, 1995.
- PAVAN, M.A.; SIQUEIRA, R.; FARIA, R.T. de; MACHADO, P.L.O. de A.; MIYAZAWA, M. Influência da umidade do solo no diagnóstico da deficiência de zinco em cafeeiro. *Ciência e Cultura*, v.38, p.1695-1699, 1986.
- PAVAN, M.A.; BLOCH, M. de F.; ZEMPULSKI, H.C.; MIYAZAWA, M.; ZOCOLER, D.C. *Manual de análise química de solo e controle de qualidade*. Londrina: IAPAR, 1992. 40p. (IAPAR. Circular, 76).
- SMITH, P.F.; RASMUSSEN, G.K. Field trials on the long-term effect of single applications of copper, zinc, and manganese on Florida sandy citrus soil. *Proceedings of the Florida State Horticultural Society*, v.72, p.87-92, 1959.
- TISDALE, S.; NELSON, W.L.; BEATON, J.D.; HAVLIN, J.L. Zinc. In: COREY, P.F. *Soil Fertility and Fertilizers*. 5.ed. New York: Macmillan, 1993. p.319-326.
- TRANI, P.E. *Nutrição mineral e adubação da macieira*. Campinas: Fundação Cargill, 1982. 43p.