

## Teor, acúmulo e eficiências nutricionais de nutrientes em porta-enxertos de caramboleira em substrato adubado com zinco

Antonio J. de Lima Neto<sup>1</sup> & William Natale<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Universidade Federal de Viçosa, Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, Av. Peter Henry Rolfs, s/n, Centro, CEP 36570-000, Viçosa-MG, Brasil. E-mail: limanetoagro@hotmail.com

<sup>2</sup> Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal, Departamento de Solos e Adubos, Via de Acesso Prof. Paulo Donato Castellane, s/n, CEP 14870-000, Jaboticabal-SP, Brasil. Email: natale@fcav.unesp.br

### RESUMO

As espécies de plantas se diferenciam quanto à capacidade de absorver, translocar e utilizar os nutrientes em seu metabolismo. Informações sobre a influência do zinco na eficiência nutricional de porta-enxertos de caramboleira, são escassas na literatura. Nesta direção, o trabalho objetivou avaliar a influência do Zn sobre o teor, acúmulo, eficiência de absorção, transporte e uso de nutrientes em porta-enxertos de caramboleira. O delineamento utilizado foi em blocos casualizados com cinco doses de zinco: 0 (zero), 2, 4, 6, e 8 mg de Zn dm<sup>-3</sup>, em quatro repetições e três plantas por parcela. Aos 170 dias após a aplicação do zinco as plantas foram coletadas, separadas em parte aérea e raízes, secas, moídas e determinados os teores, calculados os acúmulos, a eficiência de absorção, de transporte e de utilização de macro e micronutrientes. O teor de zinco na parte aérea e nas raízes dos porta-enxertos aumentou com o incremento das doses de Zn. O teor de cálcio nas raízes aumentou em função das doses de zinco enquanto o de Mn foi reduzido na parte aérea, com a elevação das doses. Os resultados permitiram concluir que o transporte de Ca e de Mn das raízes para a parte aérea foi reduzido com a elevação das doses de zinco; o zinco aumentou a eficiência de utilização de N, Ca, Mg, B e reduziu a de Zn.

**Palavras-chave:** *Averrhoa carambola* L., absorção de nutrientes, micronutrientes

### *Content, accumulation and nutritional efficiencies of nutrients of the starfruit rootstocks in the substrate fertilized with zinc*

### ABSTRACT

Plant species differ in their ability to absorb, translocate and utilize nutrients in their metabolism. Information about the influence of zinc with regard to nutritional efficiency in starfruit rootstocks is scarce in literature. In this direction, the study aimed to evaluate the influence of Zn on the content, accumulation, absorption efficiency, transport and use of nutrients in the starfruit rootstock. The experimental design used was randomized blocks with five doses of zinc: 0 (zero), 2, 4, 6, and 8 mg of Zn dm<sup>-3</sup>, consisting of four replications and three plants per plot. At 170 days after administering the zinc, the plants were collected, divided into shoots and roots. The plants were then dried and milled to calculate levels and rates. After which, nutrient accumulations, as well as the absorption efficiency, transport and utilization of macro and micronutrients were calculated. The zinc content in the shoots and roots of the rootstocks of starfruit increased with the increasing levels of Zn in the doses. The calcium content in the roots also increased with the increasing doses of zinc. On the other hand, the increasing doses of zinc actually decreased the levels of Mn in the shoots. The results allow to conclude that the transport of Ca and Mn from the roots to the shoots were reduced with increasing doses of zinc; zinc increased the efficiency of N, Ca, Mg, B and reduced that of Zn.

**Key words:** *Averrhoa carambola* L., nutrient absorption, micronutrients

## Introdução

A caramboleira (*Averrhoa carambola* L.) é uma espécie tropical exótica para o Brasil, com crescente expressão econômica, disseminada em todo o território nacional, exceto em regiões com baixas temperaturas (Bastos et al., 2005). Na fase de mudas, acumula nutrientes em maior quantidade nas folhas, seguido do caule e das raízes (Rozane et al., 2013) sendo o zinco o terceiro micronutriente mais acumulado (Freitas et al., 2011).

O zinco é um elemento essencial a todos os vegetais fazendo parte da composição de inúmeras enzimas, como, desidrogenase alcoólica, dismutase do superóxido, anidrase carbônica, além de manter a integridade estrutural da membrana celular. As enzimas que possuem zinco em sua composição estão, em sua maioria, envolvidas na regulação e na transcrição do DNA, bem como na síntese e no transporte de RNA (Hansch & Mendel, 2009).

As interações entre nutrientes interferem na composição mineral das plantas podendo um elemento estimular ou inibir a absorção de outros (Araújo & Silva, 2012). Essas interações podem ser mensuradas, levando-se em consideração o crescimento das culturas e os teores de nutrientes no tecido vegetal, podendo ocorrer, na superfície das raízes ou no interior da planta (Fageria, 2002). De acordo com Malavolta et al. (1997), a interação de nutrientes em vegetais ocorre quando o suprimento de um elemento afeta a absorção, a redistribuição ou a função de outro nutriente, induzindo deficiência ou toxidez, podendo alterar o desenvolvimento da planta.

A interação entre nutrientes tem sido relatada na literatura por alguns autores. Em mudas de freijó (*Cordia goeldiana* Huber), Fernandes et al. (2007) verificaram que o teor de zinco nas folhas diminuiu com o incremento das doses de fósforo. Por outro lado, Paiva et al. (2003) constataram aumento linear no teor de fósforo na matéria seca das raízes e do caule com a elevação das doses de zinco em mudas de cedro (*Cedrela fissilis* Vell.), indicando que as espécies distintas podem responder diferenciadamente e/ou de forma similar à ação de um ou mais nutrientes.

O zinco pode influenciar, ainda, a absorção, o transporte e o uso de nutrientes pelas plantas. Em mudas de cafeeiro, o micronutriente aumentou sua eficiência de absorção e reduziu as eficiências de translocação e utilização pelas plantas (Reis Junior & Martinez, 2002). Em mudas de cedro, o zinco promoveu incremento linear da translocação dos macronutrientes, exceto do P (Paiva et al., 2003).

Diante do exposto, o trabalho teve como objetivo avaliar a influência do zinco sobre o teor, o acúmulo, a eficiência de

absorção, o transporte e o uso de macro e micronutrientes em porta-enxertos de caramboleira.

## Material e Métodos

O experimento foi desenvolvido de setembro de 2012 a fevereiro de 2013, em viveiro comercial de produção de mudas, situado no Sítio São João, município de Taquaritinga, SP, localizado nas margens da Rodovia Washington Luiz, km 333,8, com coordenadas geográficas de 21° 44' de latitude Sul e 48° 29' de longitude Oeste e altitude de 512 m. O clima da região é classificado, segundo Köppen, Cwa, subtropical com chuvas de verão e inverno seco.

Os porta-enxertos de caramboleira (*Averrhoa carambola* L.) utilizados no experimento tinham um ano e dois meses de idade e foram obtidos com propagação por sementes conduzidas em sacos de polietileno (18 x 30 cm), com volume de 2 dm<sup>3</sup>, contendo substrato à base de casca de pinus (Plantmax<sup>®</sup>), e colocados em bancadas sem espaçamento entre os sacos. As concentrações de nutrientes disponíveis no substrato foram determinadas no Instituto Agronômico de Campinas e encontram-se na Tabela 1.

O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados com cinco tratamentos, quatro repetições e três plantas por parcela, sendo um porta-enxerto por bolsa de polietileno, com dimensões de 18 x 30 cm. Os tratamentos consistiram de cinco doses de zinco utilizando-se, como fonte, o sulfato de zinco (22% de Zn) e se tomando, como referência, as mesmas doses empregadas por Natale et al. (2002) para mudas de goiabeira. As doses utilizadas foram: D<sub>0</sub> = zero de Zn; D<sub>1</sub> = 2; D<sub>2</sub> = 4; D<sub>3</sub> = 6; e D<sub>4</sub> = 8 mg de Zn dm<sup>-3</sup> de substrato. Essas doses corresponderam a zero; 18,2; 36,4; 54,5 e 72,7 mg de sulfato de zinco (ZnSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O) por unidade experimental e foram aplicadas na superfície do substrato em cada saco.

Os porta-enxertos foram irrigados com água de poço semiartesiano, por sistema de microaspersão, acionado diariamente, de maneira a evitar o encharcamento, mantendo-se a umidade próxima a 60% da capacidade de retenção do substrato. Para diminuir a alta incidência de luz solar e a alta evapotranspiração, o viveiro foi coberto com tela de polipropileno com 30% de sombreamento.

No período precedente ao experimento (um ano e dois meses), foram realizadas três adubações com a fórmula 8-28-16 de N-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-K<sub>2</sub>O aplicando-se 1 g planta<sup>-1</sup> em cada adubação. A primeira adubação foi realizada trinta dias após a emergência e as demais espaçadas a cada sessenta dias. Durante a condução da pesquisa se realizaram mais duas adubações com a fórmula 10-10-10 de N-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-K<sub>2</sub>O, de 1 g planta<sup>-1</sup>, a primeira realizada

**Tabela 1.** Análise do substrato empregado no experimento para as concentrações disponíveis dos nutrientes

pH	CE (dS m <sup>-1</sup> )	N-Nitrato	P	Cloreto	S	N-amônio		K	Na	Ca
						(mg L <sup>-1</sup> )				
5,9	1,6	106,7	11,0	20,2	84,3	2,5	108,9	24,8	148,3	
Mg	B	Cu	Fe	Mn	Zn	Umidade	N	Carbono orgânico	Relação	
		(mg L <sup>-1</sup> )				(%)	(g kg <sup>-1</sup> )		C/N	
50,6	0,3	< 0,01	0,03	0,02	0,02	58,5	8,3	366,5	44:1	

pH em água 1:1,5. Método de extração: 1:1,5 (Holanda). Métodos de determinação: N-(amoniacoal e nitrato): destilação; K, Ca, Mg, P, S, Cu, Fe, Mn, Zn: ICP-OES. Umidade 65°C. Resultados para os teores totais de carbono e nitrogênio foram obtidos pelo novo equipamento de análise elementar de CNS (marca ELEMENTAR CNS).

Fonte: Instituto Agronômico de Campinas (IAC).

após a aplicação do zinco e a segunda sessenta dias após a primeira. A eliminação das ervas daninhas foi realizada de forma manual, de acordo com a necessidade. Aos 170 dias após a aplicação dos tratamentos, 590 dias após a semeadura, época em que os porta-enxertos estavam aptos a ser enxertados tanto por borbulhia como por garfagem, as plantas foram coletadas e separadas em parte aérea e raízes, lavadas inicialmente com água destilada; em seguida, com detergente neutro na concentração de 0,1%, depois com solução de HCl na concentração de 3% em volume e, por último, com água destilada e deionizada. Após a lavagem, o material foi seco em estufa com circulação de ar a 65 °C e, posteriormente, pesado em balança analítica para a obtenção da massa de matéria seca de cada parte. O material foi triturado em moinho tipo Wiley e analisado para a determinação do teor de macro e micronutrientes na parte aérea e nas raízes, seguindo a metodologia de Bataglia et al. (1983).

O acúmulo (A) de nutrientes na parte aérea, nas raízes e na planta inteira (raízes + parte aérea) foi calculado pela expressão:  $A = [MSPA \text{ ou } MSR \text{ (g)} \times \text{teor do macronutriente (g kg}^{-1}\text{) ou do micronutriente (mg kg}^{-1}\text{)]/1000$ , em que: MSPA = massa seca da parte aérea; MSR = massa seca das raízes. A quantidade total de nutrientes acumulada na planta inteira foi calculada pelo somatório dos valores acumulados na parte aérea e nas raízes.

A partir do conteúdo dos nutrientes (N, P, K, Ca, Mg, S, B, Cu, Fe, Mn e Zn) e da matéria seca das plantas, foram calculadas as eficiências: a) de absorção (conteúdo total de nutriente na planta/massa seca das raízes) de acordo com Swiader et al. (1994); b) de transporte (conteúdo de nutriente na parte aérea/conteúdo total de nutriente na planta  $\times$  100), conforme Li et al. (1991); c) de utilização (matéria seca total produzida<sup>2</sup>/conteúdo total de nutrientes na planta) segundo Siddiqi & Glass (1981) para os macro e micronutrientes.

Os resultados foram submetidos à análise de variância e análise de regressão polinomial com o auxílio do programa estatístico SISVAR (Ferreira, 2011). Salienta-se que nos modelos em que foram significativas apenas as equações de terceiro grau e que essas equações não permitem a explicação adequada dos fenômenos biológicos, optou-se por não apresentar tais resultados.

## Resultados e Discussão

Os porta-enxertos de caramboleira submetidos às doses de zinco aplicadas ao substrato, apresentaram respostas diferenciadas entre as partes da planta e com o nutriente estudado. De todos os macronutrientes apenas os teores de N na parte aérea e de Ca nas raízes foram influenciados pela adubação com zinco. Com relação aos micronutrientes, as doses de zinco influenciaram os teores Mn na parte aérea e de Zn na parte aérea e nas raízes dos porta-enxertos de caramboleira.

O teor de N na parte aérea dos porta-enxertos de caramboleira aumentou com as doses de zinco atingindo o maior valor de 7,8 g kg<sup>-1</sup> na dose de 8 mg de Zn dm<sup>-3</sup> (Figura 1A). Tendência semelhante foi registrada por Fageria (2002) ao verificar que o zinco aumentou a absorção de N em plantas de feijoeiro e a inibiu em plantas de arroz. Avaliando a omissão de nutrientes em mudas de gravioleira, Silva & Farnezi (2009) verificaram que o zinco reduziu os teores de N na parte aérea. Entretanto, o zinco não influenciou os teores de N na parte aérea nem nas raízes em mudas de maracujazeiro (Natale et al., 2004). O maior teor de N na parte aérea, nas maiores doses de Zn, pode ser atribuído ao efeito de concentração, pois, o micronutriente em doses elevadas, promoveu menor crescimento e acúmulo de massa da matéria seca dos porta-enxertos de caramboleira (dados não apresentados).

O teor de cálcio nas raízes aumentou linearmente com as doses de zinco atingindo o valor de 3,3 g kg<sup>-1</sup> na dose de 8 mg de Zn dm<sup>-3</sup> (Figura 1B); entretanto, como o Ca ficou acumulado nas raízes não se pode considerar isto como sinergismo. Em mudas de feijó, Fernandes et al. (2007) verificaram que doses de zinco elevaram o teor de Ca nos caules e o reduziram nas raízes, não alterando o teor nas folhas. Em mudas de cedro, o zinco reduziu os teores de Ca nas raízes, caules e folhas (Paiva et al., 2003). Esses resultados comprovam que a interação Ca  $\times$  Zn pode ser positiva, negativa ou nula, dependendo da espécie e do órgão da planta analisado. Malavolta (2006) relata que, quando o Ca está em baixa concentração no meio de cultivo, exerce relação de sinergismo com o Zn, o que pode ter favorecido a absorção pelos porta-enxertos de caramboleira.

Quanto ao Mn, o teor na parte aérea foi reduzido com a elevação das doses de zinco (Figura 2A). Tendências semelhantes foram verificadas por Soares et al. (2001) ao

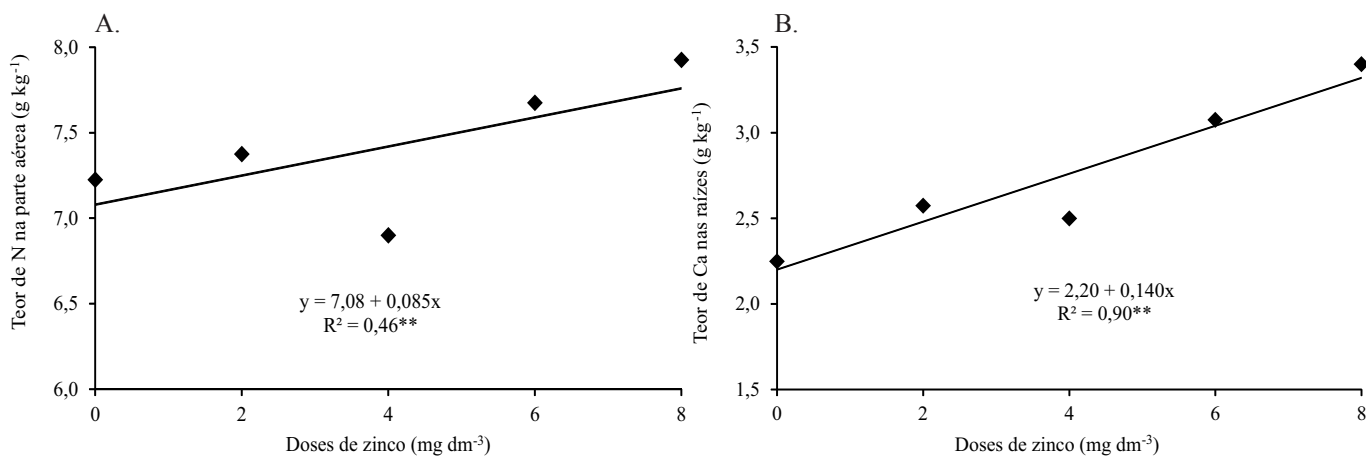


Figura 1. Teor de N na parte aérea (A) e de Ca nas raízes (B) em porta-enxertos de caramboleira adubados com zinco

observarem redução no teor de Mn na parte aérea de mudas de eucalipto em função do aumento da concentração de Zn na solução nutritiva, tendência esta também observada em mudas de cedro nas quais doses elevadas de zinco reduziram o teor de Mn nas folhas (Paiva et al., 2003), ficando evidente a inibição competitiva entre esses dois nutrientes. Tal diminuição no teor de Mn é provavelmente que tenha ocorrido em função das doses elevadas de zinco reduzirem a absorção de Mn, conforme evidenciaram Salvador et al. (1999) em mudas de goiabeira, cultivadas em solução nutritiva.

O teor de zinco na parte aérea e nas raízes dos porta-enxertos aumentou com as doses de Zn aplicadas ao substrato, atingindo valores de 69,0 e 32,9 mg kg<sup>-1</sup>, ambos na dose de 8 mg de Zn dm<sup>-3</sup> respectivamente (Figura 2B). Em cultivares de café, Reis Junior & Martinez (2002) também evidenciaram aumento dos teores de Zn na parte aérea e raízes, com a elevação da concentração de zinco na solução nutritiva. Tal fato é explicado porque, com o aumento da concentração de zinco no substrato, ocorre maior absorção do micronutriente pelas plantas (Fageria et al., 2011).

Os acúmulos de N (parte aérea, raízes e planta inteira), P (raízes), K (parte aérea e raízes), Ca (parte aérea e na planta inteira), Mg e S (raízes) não foram influenciados pelas doses de zinco. O acúmulo de P na parte aérea e na planta inteira (Figura 3A) e de K na planta inteira (Figura 3B), aumentou até a dose de 2,7, 2,9 e 1,9 mg de Zn dm<sup>-3</sup>, respectivamente, diminuindo

com as doses mais elevadas (Figura 3A; Figura 3B). Em mudas de gravioleira cultivadas em solução nutritiva, Silva & Farnezi (2009) verificaram, nos tratamentos com omissão de Zn, que houve maior absorção de P e K. De acordo com Malavolta et al. (1997) o P insolubiliza o Zn no xilema diminuindo o transporte para a parte aérea e, em doses elevadas, o zinco pode reduzir a absorção de P pelas plantas.

As maiores doses de zinco favoreceram o acúmulo linear de Ca nas raízes dos porta-enxertos de caramboleira, atingindo o valor de 0,06 g planta<sup>-1</sup> na dose de 8 mg de Zn dm<sup>-3</sup> (Figura 4A). Este maior acúmulo de cálcio nas raízes pode ter ocorrido devido à redução no transporte de Ca para a parte aérea (Figura 7A). Este resultado indica, para porta-enxertos de caramboleira, que doses elevadas de zinco não afetam a absorção de Ca e, sim, o transporte das raízes para a parte aérea. Em mudas de freijó Fernandes et al. (2007) verificaram que o zinco reduziu o acúmulo de cálcio nas raízes e o aumentou nas folhas.

O acúmulo de magnésio na parte aérea e na planta inteira se ajustou ao modelo quadrático atingindo o maior valor na dose de 3,0 mg de Zn dm<sup>-3</sup> em ambos os órgãos das plantas (Figura 4B).

O S teve seu acúmulo estimulado pelo zinco até a dose de 2,6 mg de Zn dm<sup>-3</sup> tanto na parte aérea como na planta inteira, sendo reduzido a partir de doses acima deste valor (Figura 5A). Natale et al. (2002) também relataram, estudando mudas de goiabeira, que doses elevadas de zinco reduziram

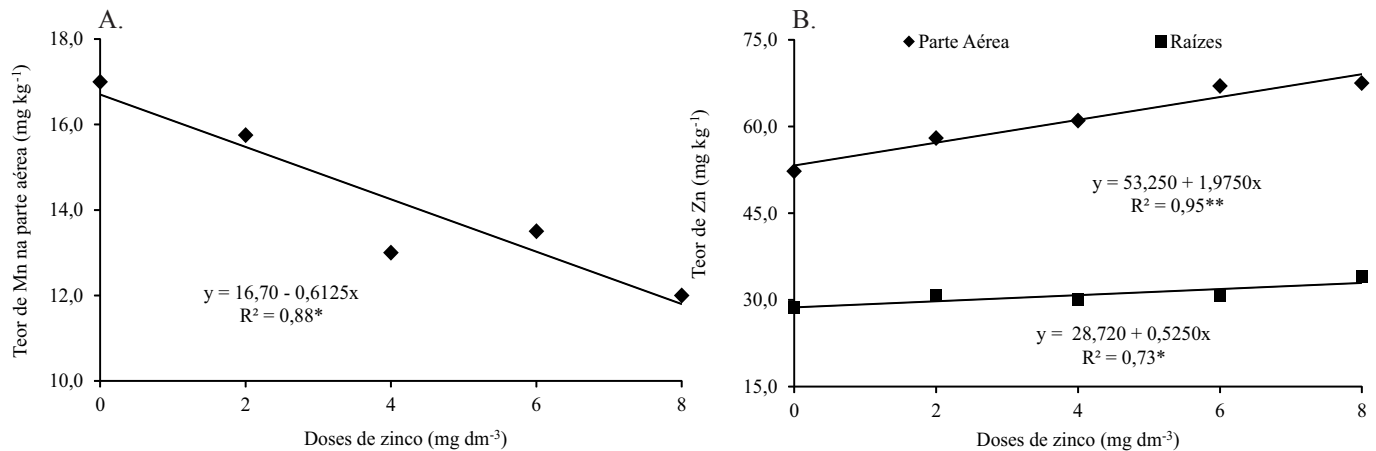


Figura 2. Teor de Mn na parte aérea (A) e de Zn na parte aérea e nas raízes (B) em porta-enxertos de caramboleira adubados com zinco

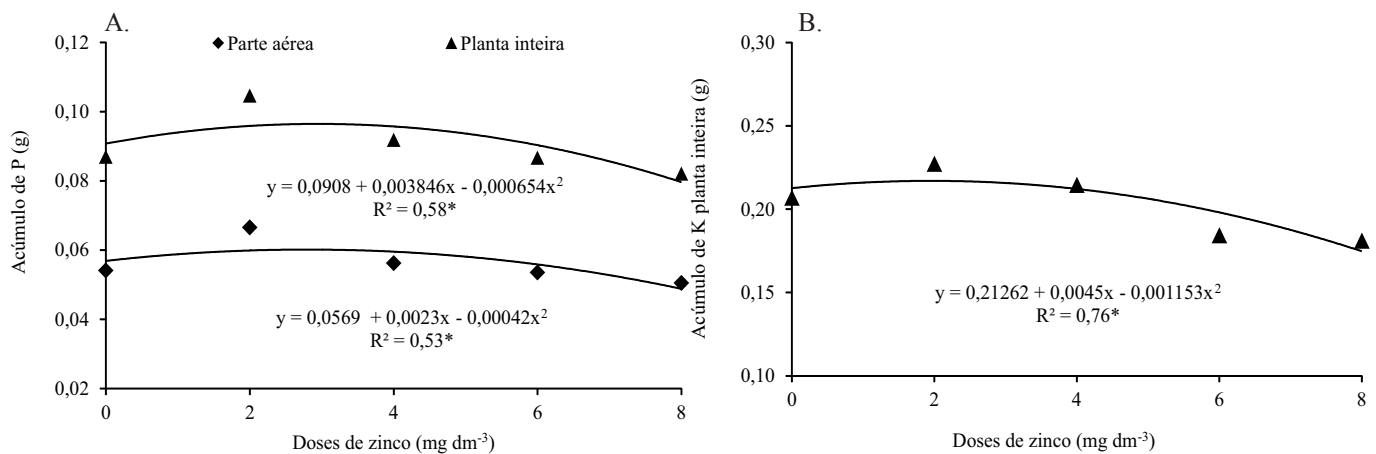
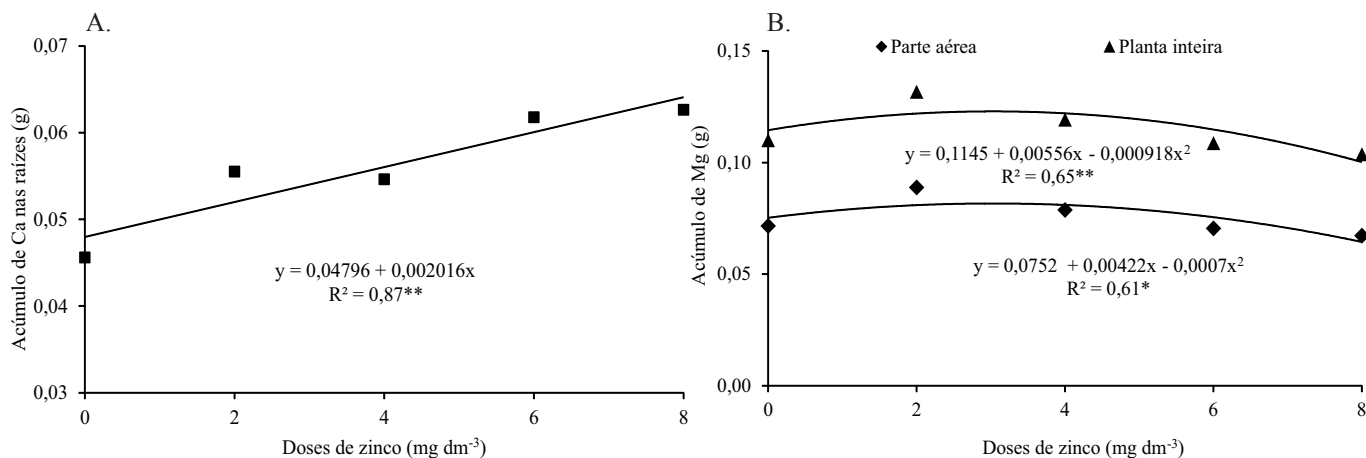


Figura 3. Acúmulo de P na parte aérea e na planta inteira (A) e de K na planta inteira (B) em porta-enxertos de caramboleira adubados com zinco

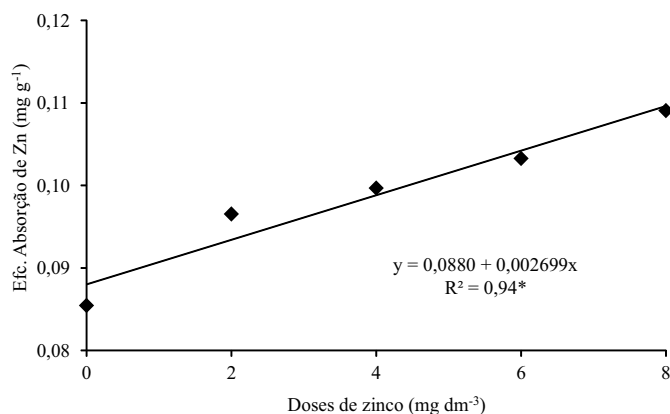


**Figura 4.** Acúmulo de Ca nas raízes (A) e de Mg na planta inteira (B) em porta-enxertos de caramboleira adubados com zinco

o acúmulo de Mg e S nas plantas. Marschner (1995) cita que cátions divalentes como o  $Zn^{2+}$  competem com outros cátions como o  $Mg^{2+}$  pelos mesmos sítios reduzindo sua absorção pelas raízes.

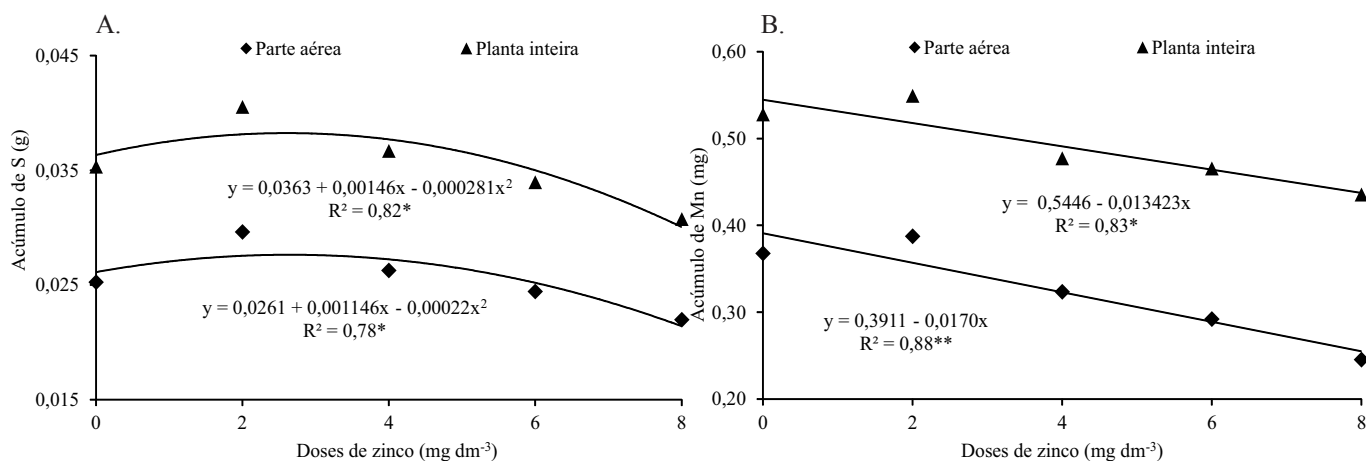
O acúmulo de manganês na parte aérea e na planta inteira foi reduzido linearmente com as doses de zinco (Figura 5B), indicando haver antagonismo entre esses nutrientes. Na dose mais elevada de zinco a redução foi de 34,8 e 19,7% na parte aérea e na planta inteira, respectivamente. Comportamentos semelhantes foram obtidos por Paiva et al. (2003) em mudas de cedro. Em mudas de eucalipto Soares et al. (2001) verificaram que a menor dose de Zn aplicada na solução (400 mM) foi suficiente para reduzir em 57% a concentração de Mn na parte aérea das plantas. Esta redução ocorre porque o zinco inibe a absorção de Mn em virtude dos mesmos serem íons catiônicos e possuírem raio iônico similar (Marschner, 1995).

A absorção dos nutrientes pelos porta-enxertos de caramboleira não foi influenciada pelas doses de zinco, exceto em relação ao próprio Zn, que foi maior na dose de 8 mg de  $Zn\ dm^{-3}$  (Figura 6). Nesta dose, as plantas absorveram 0,11 mg de Zn por grama de matéria seca de raízes produzida, possibilitando aumento de 24,5%, quando comparada com a ausência do elemento. Os resultados estão de acordo com os encontrados por Pedrosa et al. (2013) em variedades de cafeeiro.

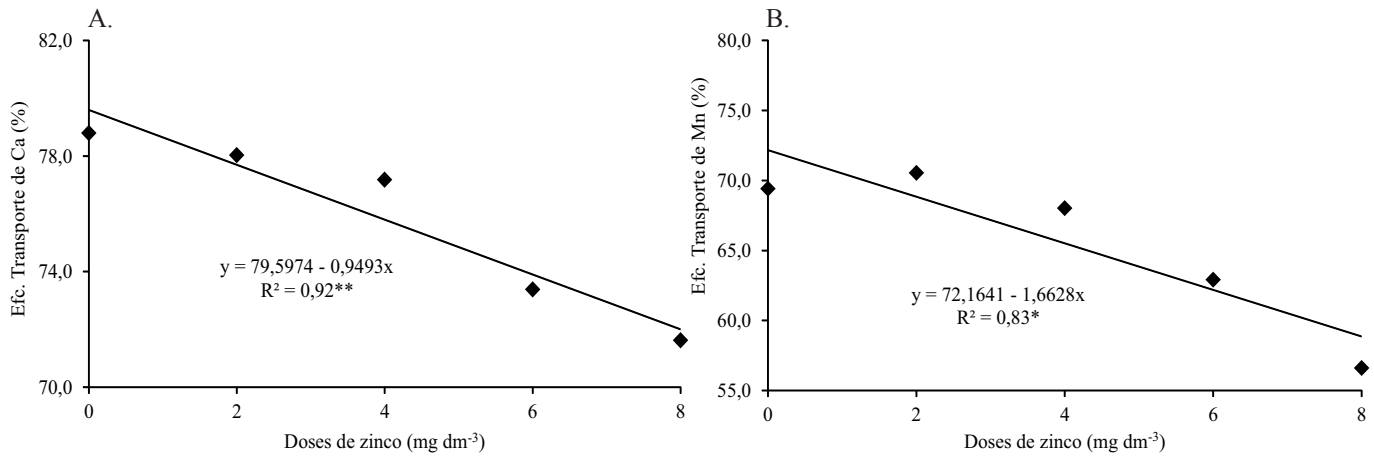


**Figura 6.** Eficiência de absorção de Zn por porta-enxertos de caramboleira adubados com zinco

As doses de zinco influenciaram a eficiência de transporte do Ca (Figura 7A) e do Mn (Figura 7B). Pela análise de regressão, verifica-se que o zinco reduziu o transporte do cálcio de 79,6% para 72,0% e, do manganês de 72,1% para 58,8%, das raízes para a parte aérea dos porta-enxertos, indicando que plantas deficientes em zinco apresentam maior habilidade de transporte de cálcio das raízes para a parte aérea. Segundo Malavolta et al. (1997) devido ao zinco ter propriedades químicas semelhantes às do manganês, o Zn pode inibir a absorção e o transporte do Mn para a parte aérea.



**Figura 5.** Acúmulo de S na parte aérea e na planta inteira (A) e de Mn na parte aérea e na planta inteira (B) em porta-enxertos de caramboleira adubados com zinco



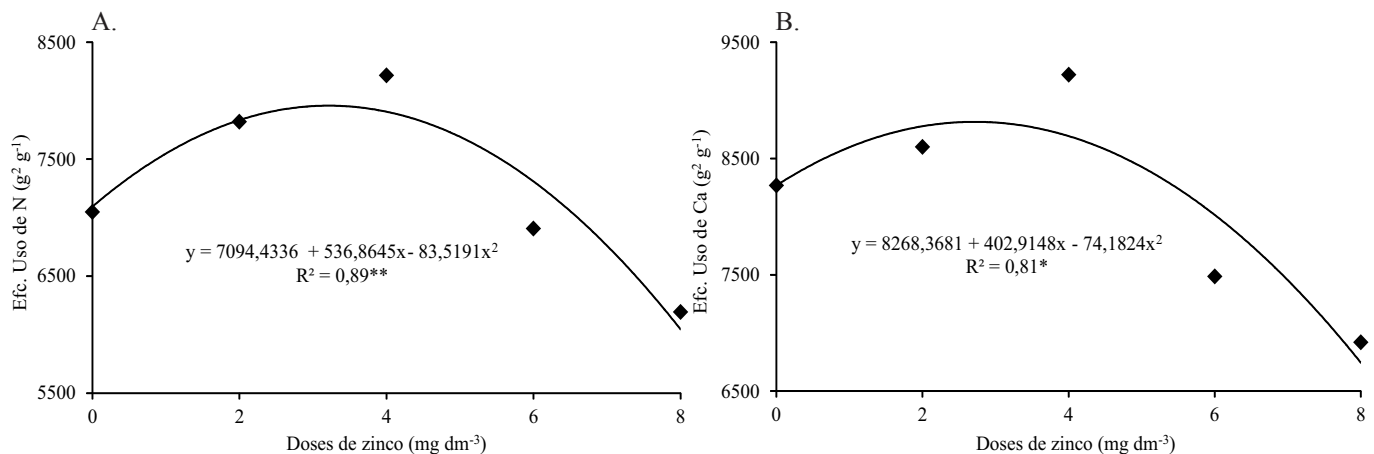
**Figura 7.** Eficiência de transporte de Ca (A) e Mn (B) por porta-enxertos de caramboleira adubados com zinco

Em mudas de cedro, as doses de zinco aumentaram linearmente o transporte de cálcio das raízes para a parte aérea e reduziram o de Mn nas doses mais elevadas (Paiva et al., 2003). Em eucalipto, Soares et al. (2001) verificaram que nas doses mais elevadas de zinco houve redução da translocação de Ca para a parte aérea das plantas. Uma provável explicação para a redução no transporte de cálcio e manganês para a parte aérea é que, sob doses elevadas de zinco, ocorre deposição de lignina nas paredes celulares do xilema das raízes, conforme evidenciaram Cunha et al. (2008) em plantas de milho, dificultando a ascensão da seiva bruta para a parte aérea (Malavolta et al., 1997). O transporte de cálcio no xilema se dá por troca iônica, sendo este adsorvido a sítios com carga negativa no interior ou nas paredes do vaso condutor (Malavolta, 2006). É provável que em doses elevadas o zinco possa se ligar a essas cargas negativas e, com isto, reduzir o transporte de Ca para a parte aérea.

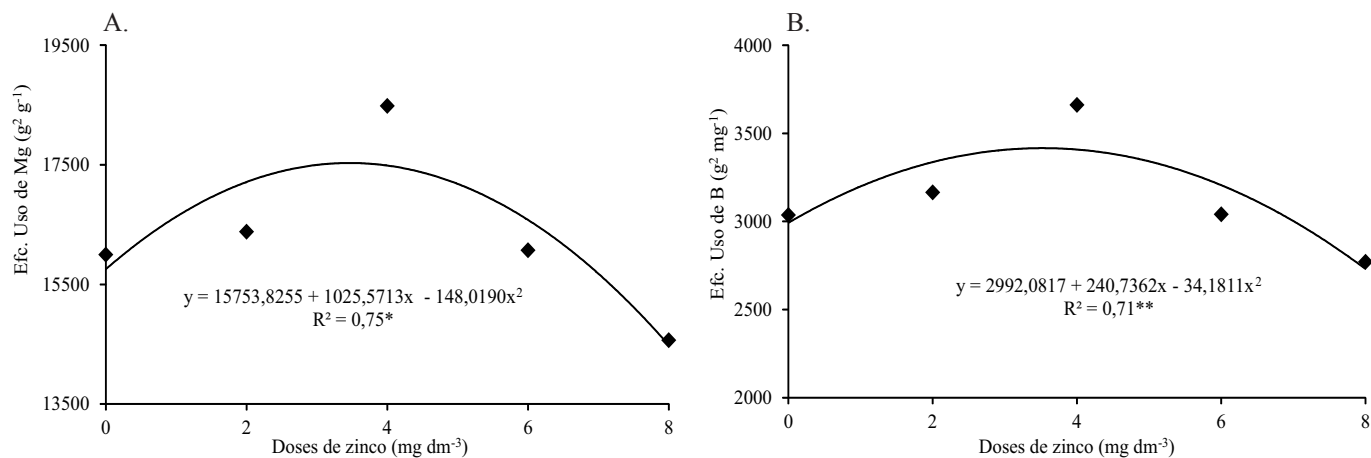
De acordo com Araújo et al. (2013) a dinâmica de íons nas raízes e seu descarregamento no xilema, envolvem diversos mecanismos que podem limitar o transporte das raízes para a parte aérea, promovendo diferenças na absorção e na movimentação dos nutrientes. Dentre os vários mecanismos se destacam a geometria radicular, a solubilização do nutriente na rizosfera, a capacidade de absorção em baixas concentrações na solução do solo, a alocação interna na planta e a necessidade funcional do nutriente (Lauchli, 1987).

A eficiência de uso de P, K, S, Cu, Fe e Mn não foi afetada pelas doses de Zn. O zinco promoveu aumento significativo ( $P < 0,01$ ) sobre a eficiência de uso do N, sendo a maior eficiência obtida com a dose de  $3,2 \text{ mg de Zn dm}^{-3}$ ; em doses maiores, o Zn diminuiu a eficiência de utilização do N pelas plantas (Figura 8A). Isso indica que para cada g de N acumulado foram produzidos  $7.957,2 \text{ g}$  de matéria seca. Com relação ao cálcio, doses superiores a  $2,7 \text{ mg de Zn dm}^{-3}$  provocaram redução na eficiência de utilização deste elemento (Figura 8B). Araújo et al. (2013), avaliando diferentes concentrações de boro e zinco em plantas de algodoeiro, verificaram que a eficiência de utilização de cálcio aumentou nas maiores concentrações de zinco.

A eficiência de utilização do Mg (Figura 9A) e do B (Figura 9B) foi influenciada de forma quadrática pelas doses de zinco aplicadas, decrescendo nas doses mais elevadas. A máxima eficiência de uso do Mg ( $17.530,1 \text{ g}^2 \text{ g}^{-1}$ ) e do B ( $3.415,9 \text{ g}^2 \text{ mg}^{-1}$ ) foi atingida na dose de  $3,5 \text{ mg de Zn dm}^{-3}$ , para ambos os nutrientes. Esses resultados indicam que doses elevadas de zinco reduzem a produção de matéria seca por grama de Mg e miligrama de B absorvido. Araújo et al. (2013) obtiveram aumento na eficiência de utilização de Mg pelo algodoeiro, com a elevação das concentrações de Zn na solução nutritiva. Avaliando a interação B x Zn em algodoeiro, Araújo & Silva (2012) observaram que a eficiência de uso do B foi influenciada positivamente até a concentração de  $40 \mu\text{M L}^{-1}$  de B e  $2 \mu\text{M}$



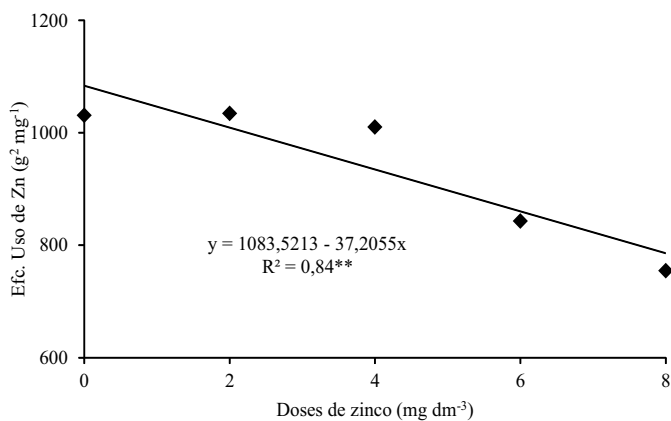
**Figura 8.** Eficiência de uso de N (A) e Ca (B) por porta-enxertos de caramboleira adubados com zinco



**Figura 9.** Eficiência de uso de Mg (A) e B (B) por porta-enxertos de caramboleira, adubados com zinco

$L^{-1}$  de Zn, promovendo efeito negativo em concentrações mais elevadas dos nutrientes.

A eficiência de utilização do zinco foi reduzida linearmente com a elevação das doses do micronutriente aplicadas ao substrato (Figura 10). Esta redução na eficiência de uso, com o aumento das doses, foi verificada, também, em variedades de cafeeiro (Reis Junior & Martinez, 2002; Pedrosa et al., 2013) e em plantas de arroz (Fageria et al., 2011). Tal fato ocorre porque, nessa condição, a produção de biomassa pelas plantas não sofre incremento na mesma proporção que a absorção e o acúmulo do nutriente nos tecidos ocorrendo, neste caso, declínio na utilização interna do nutriente para a produção de biomassa (Siddiqi & Glass, 1981).



**Figura 10.** Eficiência de uso de Zn por porta-enxertos de caramboleira adubados com zinco

## Conclusões

O aumento das doses de zinco diminuiu os teores de Mn (na parte aérea) e aumentou os teores de N (parte aérea) e de Ca nas raízes;

O zinco estimulou o acúmulo de P, Mg e S (na parte aérea e na planta inteira), de K (na planta inteira), de Ca (nas raízes) e reduziu o acúmulo de Mn (na parte aérea e na planta inteira) da caramboleira;

O zinco não exerceu efeito na eficiência de absorção dos macro e micronutrientes, com exceção do próprio Zn.

O transporte de Ca e de Mn das raízes para a parte aérea das plantas foi reduzido com a elevação das doses de zinco;

O zinco aumentou a eficiência de utilização de N, Ca, Mg e B mas reduziu a de Zn;

Doses de 1,9 a 3,5  $mg dm^{-3}$  promoveram maior acúmulo de P, K, Mg e S e maior eficiência de utilização de N, Ca, Mg e B.

## Agradecimentos

Aos irmãos José Mauro da Silva e João Mateus da Silva, pela colaboração e oportunidade de realização do experimento no viveiro de mudas do Sítio São João, em Taquaritinga, SP.

Ao professor Jairo Osvaldo Cazetta, por disponibilizar a casa de vegetação para realização de parte da pesquisa.

## Literatura Citada

- Araújo, E. O.; Santos, E. F.; Camacho, M. A. Absorção de cálcio e magnésio pelo algodoeiro cultivado sob diferentes concentrações de boro e zinco. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, v.8, n.3, p.383-389, 2013. <<http://dx.doi.org/10.5039/agraria.v8i3a2423>>.
- Araújo, E. O.; Silva, M. A. C. Interação boro e zinco no crescimento, desenvolvimento e nutrição do algodoeiro. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, v.7, suplemento, p.720-727, 2012. <<http://dx.doi.org/10.5039/agraria.v7isa1848>>.
- Bastos, D. C.; Scarpate Filho, J. A.; Pio, R.; Libardi, M. N.; Almeida, L. F. P. Desenvolvimento inicial de mudas enxertadas e de estacas de caramboleira. *Revista Brasileira de Fruticultura*, v.27, n.2, p.338-340, 2005. <<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-29452005000200039>>.
- Bataglia, O. C.; Furlani, A. M. C.; Teixeira, J. P. F. Furlani, P. R.; Gallo, J. R. Métodos de análise química de plantas. Campinas: Instituto Agrônomo, 1983. 48p. (Boletim Técnico, 78).
- Cunha, K. P. V.; Nascimento, C. W. A.; Pimentel, R. M. M.; Accioly, A. M. A.; Silva, A. J. Disponibilidade, acúmulo e toxidez de cádmio e zinco em milho cultivado em solo contaminado. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.32, n.3, p.1319-1328, 2008. <<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832008000300039>>.

- Fageria, N. K. Influence of micronutrients on dry matter yield and interaction with other nutrients in annual crops. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.37, n.12, p.1765-1772, 2002. <<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2002001200013>>.
- Fageria, N. K.; Santos, A. B.; Cobucci, T. Zinc nutrition of lowland rice. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, v.42, n.14, p.1719-1727, 2011. <<http://dx.doi.org/10.1080/00103624.2011.584591>>.
- Fernandes, A. R.; Paiva, H. N.; Carvalho, J. G.; Miranda, J. R. P. Crescimento e absorção de nutrientes por mudas de feijão (*Cordia goeldiana* huber) em função de doses de fósforo e de zinco. *Revista Árvore*, v.31, n.4, p.599-608, 2007. <<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-67622007000400004>>.
- Ferreira, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. *Ciência e Agrotecnologia*, v.35, n.6, p.1039-1042, 2011. <<http://dx.doi.org/10.1590/S1413-70542011000600001>>.
- Freitas, N.; Prado, R. M.; Rozane, D. E.; Torres, M. H.; Arouca, M. B. Marcha de absorção de nutrientes e crescimento de mudas de caramboleira enxertada com a cultivar nota-10. *Semina: Ciências Agrárias*, v.32, n.4, p.1231-1242, 2011. <<http://dx.doi.org/10.5433/1679-0359.2011v32n4p1231>>.
- Hansch, R.; Mendel, R. R. Physiological functions of mineral micronutrients (Cu, Zn, Mn, Fe, Ni, Mo, B, Cl). *Current Opinion in Plant Biology*, v.12, n.3, p.259-266, 2009. <<http://dx.doi.org/10.1016/j.pbi.2009.05.006>>.
- Läuchli, A. Soil science in the next twenty five years: does a biotechnology play a role? *Soil Science Society of America Journal*, v.51, n.6, p.1405-1409, 1987. <<http://dx.doi.org/10.2136/sssaj1987.03615995005100060003x>>.
- Li, B.; Mckeand, S. E.; Allen, H. L. Genetic variation in nitrogen use efficiency of loblolly pine seedlings. *Forest Science*, v.37, n.2, p.613-626, 1991. <<http://www.ingentaconnect.com/content/saf/fs/1991/00000037/00000002/art00015>>. 20 Nov. 2013.
- Malavolta, E. Manual de nutrição de plantas. São Paulo: Ed. Agrônômica Ceres, 2006. 638p.
- Malavolta, E.; Vitti, G. C.; Oliveira, S. A. Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações. Piracicaba: Potafós, 1997. 319p.
- Marschner, H. Mineral nutrition of higher plants. 2. ed. San Diego: Academic, 1995. 902p.
- Natale, W.; Prado, R. M.; Corrêa, M. C. M.; Silva, M. A. C.; Pereira, L. Resposta de mudas de goiabeira à aplicação de zinco. *Revista Brasileira de Fruticultura*, v.24, n.2, p.770-773, 2002. <<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-29452002000300052>>.
- Natale, W.; Prado, R. M.; Leal, R. M.; Franco, C. F. Efeitos da aplicação de zinco no desenvolvimento, no estado nutricional e na produção de matéria seca de mudas de maracujazeiro. *Revista Brasileira de Fruticultura*, v.26, n.2, p.310-314, 2004. <<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-29452004000200031>>.
- Paiva, H. N.; Carvalho, J. G.; Siqueira, J. O.; Corrêa, J. B. D. Teor, conteúdo e índice de translocação de nutrientes em mudas de cedro (*Cedrela fissilis* Vell.) submetidas a doses crescentes de zinco. *Ciência Florestal*, v.13, n.1, p.1-10, 2003. <<http://cascavel.ufsm.br/revistas/ojs2.2.2/index.php/cienciaflorestal/article/view/1717/986>>. 20 Nov. 2013.
- Pedrosa, A. W.; Martinez, H. E. P.; Cruz, C. D.; Damatta, F. M.; Clemente, J. M.; Paula Neto, A. Characterizing zinc use efficiency in varieties of Arabica coffee. *Acta Scientiarum-Agronomy*, v.35, n.3, p.343-348, 2013. <<http://dx.doi.org/10.4025/actasciagron.v35i3.16322>>.
- Reis Junior, R. A.; Martinez, H. E. P. Adição de Zn e absorção, translocação e utilização de Zn e P por cultivares de cafeeiro. *Scientia Agricola*, v.59, n.3, p.537-542, 2002. <<http://dx.doi.org/10.1590/S0103-90162002000300019>>.
- Rozane, D. E.; Prado, R. M.; Natale, W.; Romualdo, L. M.; Franco, C. F. Caracterização biométrica e acúmulo de nutrientes em porta-enxertos de caramboleira cultivada em solução nutritiva. *Revista Ciência Agronômica*, v.44, n.3, p.426-436, 2013. <<http://dx.doi.org/10.1590/S1806-66902013000300003>>.
- Salvador, J. O.; Moreira, A.; Muraoka, T. Sintomas visuais de deficiências de micronutrientes e composição mineral de folhas em mudas de goiabeira. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.34, n.9, p.1655-1662, 1999. <<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X1999000900016>>.
- Siddiqi, M. Y.; Glass, A. D. M. Utilization index: a modified approach to the estimation and comparison of nutrient utilization efficiency in plants. *Journal of Plant Nutrition*, v.4, n.3, p.289-302, 1981. <<http://dx.doi.org/10.1080/01904168109362919>>.
- Silva, E. B.; Farnezi, M. M. M. Limitações nutricionais para o crescimento de mudas de graviola em casa de vegetação em Latossolo Vermelho distrófico do norte de Minas Gerais. *Bioscience Journal*, v.25, n.6, p.52-58, 2009. <<http://www.seer.ufu.br/index.php/biosciencejournal/article/view/7004/4644>>. 20 Nov. 2013.
- Soares, C. R. F. S.; Graziotti, P. H.; Siqueira, J. O.; Carvalho, J. G.; Moreira, F. M. S. Toxidez de zinco no crescimento e nutrição de *Eucalyptus maculata* e *Eucalyptus urophylla* em solução nutritiva. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.36, n.2, p.339-348, 2001. <<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2001000200018>>.
- Swiader, J. M. Chyan, Y.; Freiji, F. G. Genotypic differences in nitrate uptake and utilization efficiency in pumpkin hybrids. *Journal Plant Nutrition*, v.17, n.10, p.1687-1699, 1994. <<http://dx.doi.org/10.1080/01904169409364840>>.