

Influência do boro no teor, acúmulo e eficiência nutricional em porta-enxertos de caramboleira

Clariana Valadares Xavier¹, William Natale²

¹ Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal, Via de Acesso Prof. Paulo Donato Castellane, s/n, Vila Industrial, CEP 14884-900, Jaboticabal-SP, Brasil. E-mail: clarianavaladares@yahoo.com.br

² Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Departamento de Fitotecnia Avenida Mister Hull, 2977, Bloco 805 - campus Pici, CEP 60356-001, Fortaleza-CE, Brasil. E-mail: natale@ufc.br

RESUMO

A capacidade de absorver, transportar e utilizar os nutrientes é diferente entre as plantas. Há poucos trabalhos na literatura a respeito da influência do boro (B) na eficiência nutricional de porta-enxertos de caramboleira. Diante da falta de informações, o trabalho teve por objetivo avaliar a influência do B sobre o teor, o acúmulo, a eficiência de absorção, de transporte e de uso de nutrientes em porta-enxertos de caramboleira. O delineamento utilizado foi em blocos casualizados, com cinco doses de B: zero; 1; 2; 3; e 4 mg dm⁻³ de B e quatro repetições. Aos 170 dias após a aplicação do B, as plantas foram coletadas, separadas em parte aérea e raízes, secas, pesadas, moídas e determinados os teores, calculados os acúmulos, a eficiência de absorção, de transporte e de utilização de macro e micronutrientes. Os teores de cálcio (Ca) e B nas raízes dos porta-enxertos diminuíram com o incremento de doses de B. Os resultados permitiram concluir que as doses mais elevadas de boro aumentaram a eficiência de transporte e utilização de Ca.

Palavras-chave: absorção de nutrientes; *Averrhoa carambola* L.; macronutrientes

Influence of boron on the content, accumulation and nutritional efficiency in rootstock of star fruit

ABSTRACT

The ability to absorb, transport and use nutrients is different between plants. There are few studies in the literature about the influence of boron (B) on the nutritional efficiency in rootstocks of the star fruit. In view of the lack of information, the objective of this study was to evaluate the influence of B on the content, accumulation, efficiency of absorption, transport and nutrient use in rootstocks of the star fruit. The design was randomized blocks, with five doses of B: zero; 1; 2; 3; 4 mg dm⁻³ of B and four replicates. At 170 days after application of B, the plants were harvested, separated in aerial part and roots, dried, weighed, ground and determined the contents, calculated the accumulations, the efficiency of absorption, transportation and use of macro and micronutrients. The calcium (Ca) and B contents in the roots of the rootstocks decreased with increasing doses of B. The results showed that higher doses of boron increased the transport efficiency and Ca utilization.

Key words: absorption of nutrients; *Averrhoa carambola* L.; macronutrientes

Introdução

A caramboleira (*Averrhoa carambola* L.) é uma espécie tropical, com grande crescimento econômico, distribuída em todas as regiões brasileiras, exceto nas quais ocorrem geadas. Na fase de mudas, o boro é o terceiro micronutriente mais acumulado nestas plantas (Rozane et al., 2013).

O B é um elemento essencial a todos os vegetais, fazendo parte do crescimento meristemático, da biossíntese da parede celular, do funcionamento da membrana celular, no transporte de auxinas (AIA), no metabolismo de carboidrato e na síntese de ácidos nucléicos (Malavolta, 2006), ou seja, exerce papel fundamental no desenvolvimento da planta.

Salienta-se que não apenas o B interfere na planta, pois a absorção dos nutrientes é influenciada por diversos fatores, e estes ainda variam de acordo com os estádios de desenvolvimento da cultura além de afetarem e dependerem do crescimento da planta, da eficiência das raízes e da disponibilidade de nutrientes no solo. Um elemento pode estimular ou inibir a absorção de outros e as interações entre nutrientes interferem na composição mineral das plantas (Marschner, 2012). Essas interações podem ser determinadas, levando em consideração o crescimento das plantas e os teores de nutrientes no tecido vegetal (Fageria, 2002).

A interação entre nutrientes tem sido relatada na literatura por alguns autores, como por exemplo; em mudas de goiabeira (*Psidium guajava*), somente o teor foliar de fósforo (P) e enxofre (S) foram influenciados significativamente pelas doses de B (Salvador et al., 2003). De acordo com Araújo et al. (2013), o teor de Ca e Mg nas raízes e no fruto do algodoeiro (*Gossypium hirsutum* L.) são influenciados pelas concentrações de B na planta. Já Dursun et al. (2010) observaram efeito negativo dos níveis de Ca e Mg em pimenta (*Capsicum spp.*), pepino (*Cucumis sativus*) e tomate (*Solanum lycopersicum*), com o aumento de doses de B no solo.

O B pode influenciar, ainda, a absorção, o transporte e o uso de nutrientes pelas plantas, como verificado no algodoeiro, Araújo & Silva (2012) verificaram que a adubação com B aumentou a eficiência de absorção, já a eficiência de utilização foi influenciada positivamente pelo aumento da concentração de B em $0 \mu\text{M L}^{-1}$ de Zn até a concentração de $40 \mu\text{M L}^{-1}$ de B e $2 \mu\text{M L}^{-1}$ de Zn, havendo efeito negativo nas concentrações mais elevadas desses nutrientes.

Diante disso, o trabalho teve como objetivo avaliar a influência do B sobre o teor, o acúmulo, a eficiência de absorção, de transporte e de uso de macro e micronutrientes, em porta-enxertos de caramboleira.

Material e Métodos

O experimento foi realizado em viveiro comercial de produção de mudas, situado nas coordenadas geográficas $21^{\circ} 44'$ de latitude Sul e $48^{\circ} 29'$ de longitude Oeste, com altitude de 512 m, no município de Taquaritinga, SP, entre os meses de setembro de 2012 e fevereiro de 2013. O clima da região, segundo Köppen (1948), é classificado, como Cwa, subtropical com chuvas de verão e inverno relativamente seco.

Os porta-enxertos de caramboleira (*Averrhoa carambola* L.) tinham um ano e dois meses de idade, propagados via sementes. Antes da instalação do experimento, o porta-enxerto recebeu três adubações com a fórmula 8-28-16 (N- P_2O_5 - K_2O), sendo 1 g por planta em cada aplicação. A primeira adubação foi realizada trinta dias após a emergência e as outras duas, espaçadas a cada 60 dias.

As plantas estavam acondicionadas em sacos de polietileno (18×30 cm), com volume de 2 dm^3 , tendo como substrato casca de pinus compostada e vermiculita expandida (Multiplant Citrus®) e colocadas em bancadas sem espaçamento entre os sacos. A análise dos teores de nutrientes disponíveis no substrato utilizado para enchimento dos recipientes encontra-se na Tabela 1.

Os porta-enxertos foram irrigados com água de poço semi-artesiano, por sistema de microaspersão, acionado diariamente, de maneira a evitar o encharcamento do substrato, mantendo-se a umidade próxima a 60% da capacidade de campo (CC). O viveiro era coberto por tela de polipropileno com 30% de sombreamento, a fim de proporcionar proteção às plantas quanto à alta incidência de luz solar, bem como diminuir a evapotranspiração.

O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados com cinco tratamentos, quatro repetições e três plantas por parcela, totalizando 60 caramboleiras, sendo um porta-enxerto por recipiente de 2 dm^3 . Os tratamentos foram doses de B, na forma de ácido bórico (17% de B), tendo como referência a dose de $0,5 \text{ mg dm}^{-3}$ de B sugerida por Malavolta (1980), para experimentos em vasos. As doses utilizadas foram: zero; 1; 2; 3 e 4 mg dm^{-3} de B que correspondem a: 0; 11,76; 23,53; 35,29; $47,06 \text{ mg}$ de ácido bórico (H_3BO_3) por unidade experimental (2 dm^3), aplicadas na forma sólida na superfície do substrato em cada saco.

Durante a condução do experimento foram realizadas duas adubações com a fórmula 10-10-10 (N- P_2O_5 - K_2O), sendo a primeira após a aplicação do boro e, a segunda, 60 dias após a primeira, sendo 1g por planta em cada aplicação.

Aos 590 dias após a semeadura, 170 dias após a aplicação dos tratamentos, época em que os porta-enxertos estavam aptos

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

pH	CE dS m ⁻¹	N-Nitrato	P	Cloro	S	N-amônio	K	Na	Ca
5,9	1,6	106,7	11	20,2	84,3	2,5	108,9	24,8	148,3
Mg	B	Cu	Fe	Mn	Zn	Umidade %	N	Carbono orgânico	Relação C/N
mg L ⁻¹				g kg ⁻¹					
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-(amoniaco e nitrato): destilação; K, Ca, Mg, P, S, Cu, Fe, Mn, Zn: ICP-OES; B: água quente. Umidade 65 °C. Resultados para os teores totais de carbono e nitrogênio foram obtidos pelo novo equipamento de análise elemental de CNS (marca ELEMENTAR CNS). Fonte: Instituto Agronômico de Campinas (IAC).

a serem 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 0,3% e, posteriormente, lavadas com água destilada e deionizada. Após isto, o material foi seco em estufa com circulação de ar a 65 ± 5 °C até massa constante e, por último, triturado em moinho tipo Wiley para avaliação do estado nutricional, segundo a metodologia de Bataglia et al. (1983).

De posse dos valores de matéria seca e teor de nutrientes foi realizado o cálculo para determinar o acúmulo, o qual é dado por:

$$A = [\text{MSPA ou MSR (g) x teor do macronutriente (g kg}^{-1}\text{)} \\ \text{ou do micronutriente (mg kg}^{-1}\text{)]/1000$$

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 das quantidades acumuladas na parte aérea e nas raízes.

A partir da massa seca e do acúmulo de nutrientes (N, P, K, Ca, Mg, S, B, Cu, Fe, Mn e Zn) na planta, foram calculados os seguintes índices (Swiader et al., 1994): a) eficiência de absorção (conteúdo total do nutriente na planta/massa seca de raízes), nos quais indicam a capacidade de extração da planta de nutrientes do meio de cultivo; b) eficiência de transporte $\{(\text{conteúdo do nutriente na parte aérea}/\text{conteúdo total do nutriente na planta}) \times 100\}$, de acordo com Li et al. (1991), que demonstra a capacidade das plantas de transportar os nutrientes das raízes para a parte aérea; c) eficiência de utilização (matéria seca total produzida²/conteúdo total do nutriente na planta), segundo Siddiqi & Glass (1981), que indica a capacidade da planta em converter o nutriente absorvido em matéria seca total.

Os resultados foram submetidos à análise de variância (ANOVA), teste F, com o auxílio do *Software* AgroEstat (Barbosa & Maldonado Jr, 2014).

Resultados e Discussão

Os porta-enxertos de caramboleira apresentaram respostas distintas às doses de boro de acordo com a parte da planta e com o nutriente analisado no substrato. Dos macronutrientes, apenas os teores de P na parte aérea e os de Ca e S nas raízes foram influenciados pelas doses de B, enquanto nos micronutrientes, a adubação com B influenciou os teores de B na parte aérea e, de B e Cu nas raízes dos porta-enxertos de caramboleira (Tabela 2 e 3).

O teor de P, na parte aérea dos porta-enxertos apresentou comportamento quadrático, atingindo o valor máximo de 2,6 g kg⁻¹ na dose de 1,6 mg dm⁻³ de B (Figura 1). Resultados

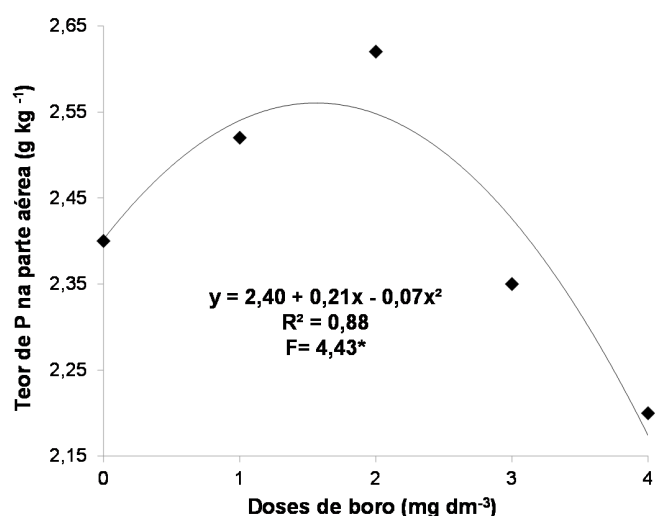


Figura 1. Teor de fósforo na parte aérea dos porta-enxertos de caramboleira.

Tabela 2. Valores médios dos teores de macronutrientes e micronutrientes na parte aérea de porta-enxertos de caramboleira adubados com boro.

Doses de B mg dm ⁻³	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
	g kg ⁻¹						mg kg ⁻¹				
0	7,0	2,4	5,42	9,2	2,95	1,07	25,25	5,25	29,0	13,5	65,5
1	7,4	2,52	5,75	8,62	3,25	1,2	27,5	5,25	32,25	14,5	62,0
2	8,02	2,62	6,52	8,45	3,3	1,3	31,25	5,5	33,5	18,5	64,0
3	7,15	2,35	5,65	8,0	3,27	1,15	29,5	5,0	30,5	16,25	63,25
4	7,07	2,2	5,77	7,5	2,9	1,05	29,25	4,75	29,25	15,75	55,75
Teste F	1,43 ns	4,43*	0,64 ns	2,37 ns	1,58 ns	2,41 ns	5,07*	1,70 ns	0,65 ns	2,73 ns	1,09 ns
Reg. Linear	-	5,49*	-	-	-	-	9,82**	-	-	-	-
Reg. Quadrática	-	10,15*	-	-	-	-	7,73*	-	-	-	-
CV (%)	9,5	6,4	17,82	9,99	9,82	11,23	7,07	8,5	15,62	14,65	11,64

** , * , ns - significativo a 1%, 5% e não significativo respectivamente.

Tabela 3. Valores médios dos teores de macronutrientes e micronutrientes nas raízes de porta-enxertos de caramboleira adubados com boro.

Doses de B mg dm ⁻³	N	P	K	Ca	Mg	S	Cu	Fe	Mn	Zn
	g kg ⁻¹					mg kg ⁻¹				
0	4,07	1,57	3,1	3,075	1,77	0,42	8,75	197,0	12,5	29,75
1	4,3	1,57	3,25	3,5	1,97	0,47	9,0	141,75	11,25	28,75
2	4,75	1,62	3,4	2,675	2,02	0,55	16,0	146,75	12,5	36,25
3	4,12	1,55	3,2	2,025	1,87	0,45	10,0	143,25	10,75	27,0
4	4,12	1,5	3,5	2,025	1,87	0,42	8,0	140,5	10,5	30,75
Teste F	0,97 ns	0,37 ns	0,95 ns	13,86*	1,61 ns	5,16*	6,78**	0,92 ns	0,77 ns	2,32 ns
Reg. Linear	-	-	-	42,08**	-	-	-	-	-	-
Reg. Quadrática	-	-	-	-	-	14,49**	14,15**	-	-	-
CV (%)	13,23	9,6	9,97	13,1	8,07	9,81	24,02	32,79	18,83	15,07

** , * , ns - significativo a 1%, 5% e não significativo respectivamente.

semelhantes foram encontrados por Prado et al. (2006), que observaram este mesmo comportamento nos teores de P na parte aérea, em mudas de maracujazeiro-amarelo adubadas com B. Salienta-se que o menor teor de P na parte aérea, nas maiores doses de B, pode ser atribuído ao desbalanço nutricional ocasionado pelo antagonismo entre o B e o macronutriente descrito por Peixoto & Carvalho (1996).

Resultados semelhantes foram observados por Araújo & Silva (2012), que avaliando o efeito de doses de B na absorção de P no algodoeiro, em cultivo hidropônico, verificaram que o teor de P na parte aérea diminuiu com o aumento das concentrações de B. O teor de Ca nas raízes diminuiu com as doses de B atingindo valor de $1,9 \text{ g kg}^{-1}$ na dose de 4 mg dm^{-3} de B (Figura 2A).

Relações antagonísticas entre o B e o Ca também foram relatadas por Dursun et al. (2010) que observaram efeito negativo nos teores de Ca com o aumento de doses de B no solo, em pimenta, pepino e tomate. Ahmed et al. (2008), em algodoeiro, também verificaram a interação negativa entre o B e o Ca em diferentes partes da planta, inclusive nas raízes. As maiores doses de B proporcionaram menor teor de Ca nas raízes, que pode ser explicado pelas funções semelhantes do B e do Ca na síntese da parede celular (Gupta, 1979). Resultados contrários foram encontrados por Salvador et al. (1999), que ao observarem a composição mineral de folhas de goiabeira,

verificaram efeito sinérgico entre B e Ca, já que a omissão de B na solução nutritiva acarretou em redução dos teores de Ca na planta.

Nas raízes dos porta-enxertos de caramboleira, o teor de enxofre (S) apresentou comportamento quadrático, atingindo o valor máximo de $0,5 \text{ g kg}^{-1}$ na dose de $2,0 \text{ mg dm}^{-3}$ (Figura 2B). Em mudas de goiabeira, Salvador et al. (2003) evidenciaram, também, significância das doses de B sobre os teores de S na planta. A diminuição no teor de S pode ter ocorrido em função das doses elevadas de B reduzirem a absorção do macronutriente, esses elementos podem competir pelos mesmos sítios de absorção, por serem íons aniônicos. Loué (1993) descreveu correlações significativas entre o B disponível no solo com os teores foliares de S.

Quanto ao B, seu teor na parte aérea dos porta-enxertos de caramboleira atingiu o valor máximo de $30,4 \text{ mg kg}^{-1}$ na dose de $2,7 \text{ mg dm}^{-3}$ de B, com comportamento quadrático (Figura 3A).

Porém, em mudas de maracujazeiro-amarelo, Prado et al. (2006) observaram que os teores de B aumentaram linearmente com a aplicação deste nutriente. É oportuno ressaltar que, geralmente, com o aumento da concentração de B no substrato, ocorre maior absorção pelas plantas (Fageria et al., 2011). Nas raízes, o teor de B diminuiu linearmente com as doses de B aplicadas ao substrato (Figura 3B), possibilitando redução de

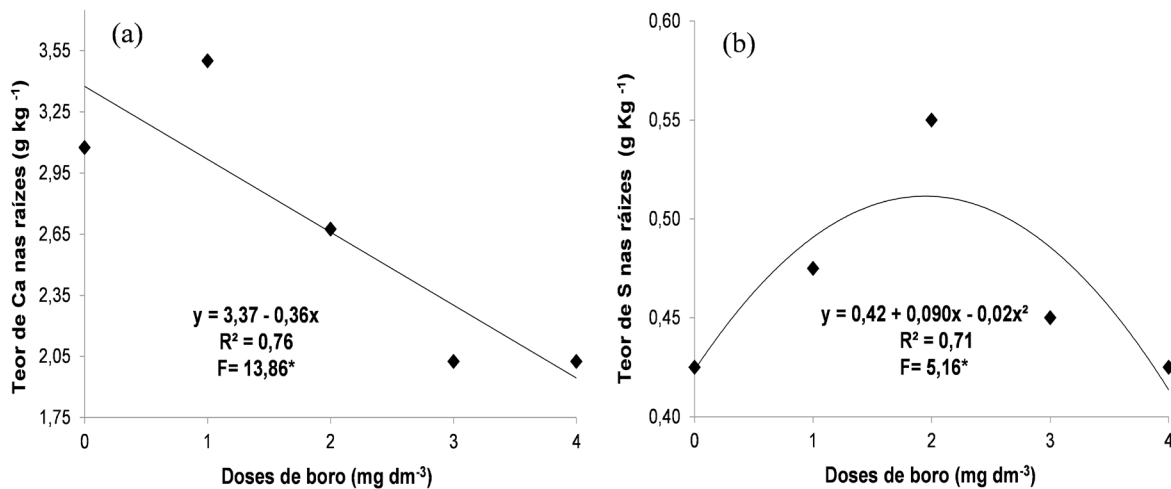


Figura 2. Teor de cálcio (A) e enxofre (B) nas raízes dos porta-enxertos de caramboleira.

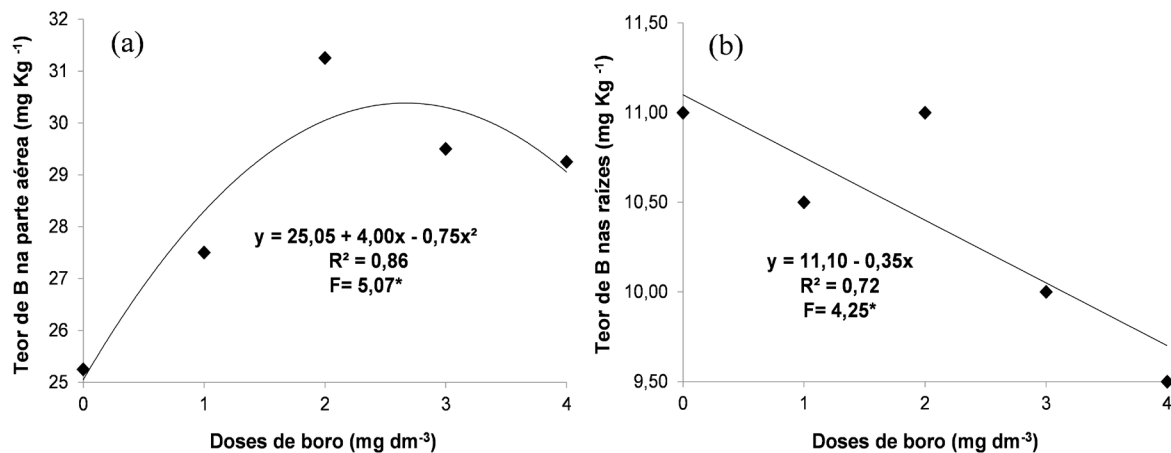


Figura 3. Teor de boro na parte aérea (A) e nas raízes (B) dos porta-enxertos de caramboleira.

12,6%, quando comparado à testemunha. O teor relativamente elevado de B, obtido sem aplicação do nutriente pode ser atribuído ao seu teor inicial no substrato.

O teor de Cu nas raízes dos porta-enxertos de caramboleira aumentou até a dose de 2,0 mg dm⁻³ de B, diminuindo com o incremento das doses (Figura 4). Esse resultado corrobora os de Prado et al. (2006), em mudas de maracujazeiro amarelo, ao registrarem que os teores de Cu diminuíram após a concentração de 0,4 mg de B dm⁻³ no substrato nas raízes. Esses resultados podem ser explicados, segundo Loué (1993), pela interação entre os nutrientes em algum sítio de absorção, afetando a absorção ou translocação.

Os acúmulos de N, P, K, Mg, S (parte aérea, raízes e planta inteira) e Ca (parte aérea e na planta inteira) não foram influenciados pelas doses de B. O acúmulo de Ca nas raízes (Figura 5) diminuiu com as doses, atingindo o valor de 0,04 g planta⁻¹ na dose de 4 mg dm⁻³ de B. Araújo et al. (2013), em plantas de algodoeiro, obtiveram resposta significativa das concentrações de B para conteúdo de Ca nas raízes, sendo que as maiores concentrações de B proporcionaram menor acúmulo de Ca pelas raízes do algodoeiro. Estes nutrientes possuem funções semelhantes na biossíntese da parede celular de plantas superiores (Marschner, 2012). Segundo Gupta (1979) há necessidade do fornecimento adequado do B, para que o Ca se associe à pectina na parede celular. Para Ginzburg (1961) e Loomis & Durst (1992) o B estabiliza os compostos de Ca com

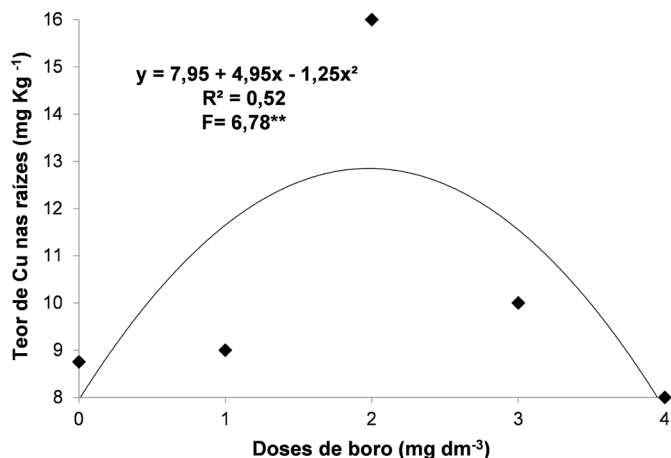


Figura 4. Teor de cobre nas raízes dos porta-enxertos de caramboleira.

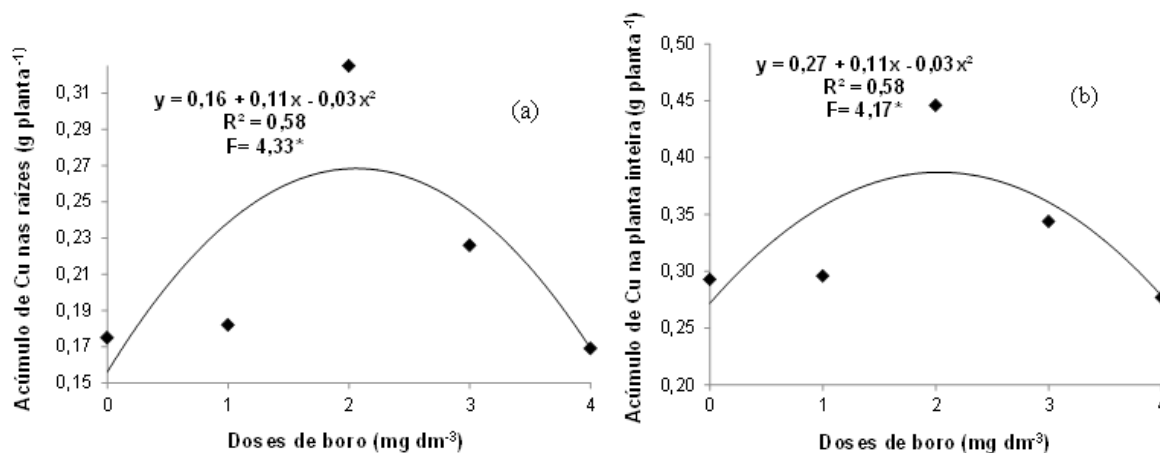


Figura 6. Acúmulo de cobre nas raízes (A) e na planta inteira (B) dos porta-enxertos de caramboleira.

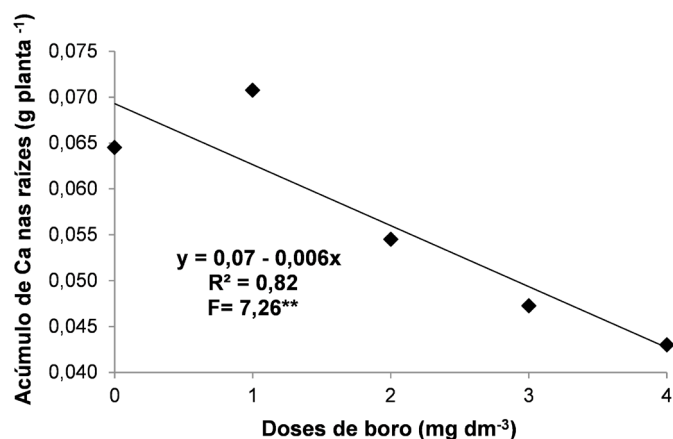


Figura 5. Acúmulo de cálcio nas raízes dos porta-enxertos de caramboleira.

pectinas. Assim, uma menor utilização do Ca devido à carência de B levaria a um excesso desse nutriente, imobilizado como oxalato de cálcio, e a uma redução no conteúdo de pectato de cálcio da lamela média (Moraes et al., 2002). No entanto, o B tende a formar uma ligação mais forte que o Ca na estrutura da parede celular (Teasdale & Richards, 1990) sendo que maiores doses de B podem diminuir o acúmulo de Ca nos tecidos.

Os acúmulos de B, Fe, Mn, Zn (parte aérea, raízes e planta inteira) e Cu (parte aérea) não foram influenciados pelas doses de B. O acúmulo de Cu, nas raízes e na planta, se ajustou ao modelo quadrático, atingindo o maior valor na dose de 2,1 e 2,0 mg dm⁻³ de B, respectivamente (Figura 6A e 6B).

Segundo Gupta (1993), estudos demonstram que o incremento de B altera a absorção de Cu, e as interações desse elemento com outros micronutrientes afetam positivamente e negativamente os teores dos nutrientes nas plantas. Para Fageria et al. (2002), os altos suprimentos de B resultaram em alta absorção de Cu. No entanto, nos trabalhos descritos por Loué (1993), há uma interação negativa entre o boro e o cobre.

A eficiência de absorção dos nutrientes pelos porta-enxertos de caramboleira foi influenciada pelas doses de B, em relação aos níveis de N, S, B e Cu. Esses nutrientes apresentaram comportamento quadrático, atingindo o valor máximo de 0,013 g g⁻¹ de N na dose de 1,8 mg dm⁻³ de B (Figura 7A); 0,019 g g⁻¹ de S na dose de 1,9 mg dm⁻³ de B (Figura 7B); 0,04 mg g⁻¹ de B na dose de 2,3 mg dm⁻³ de B (Figura 7C) e 0,019 mg g⁻¹ de Cu na dose de 1,9 mg dm⁻³ de B (Figura 7D), respectivamente.

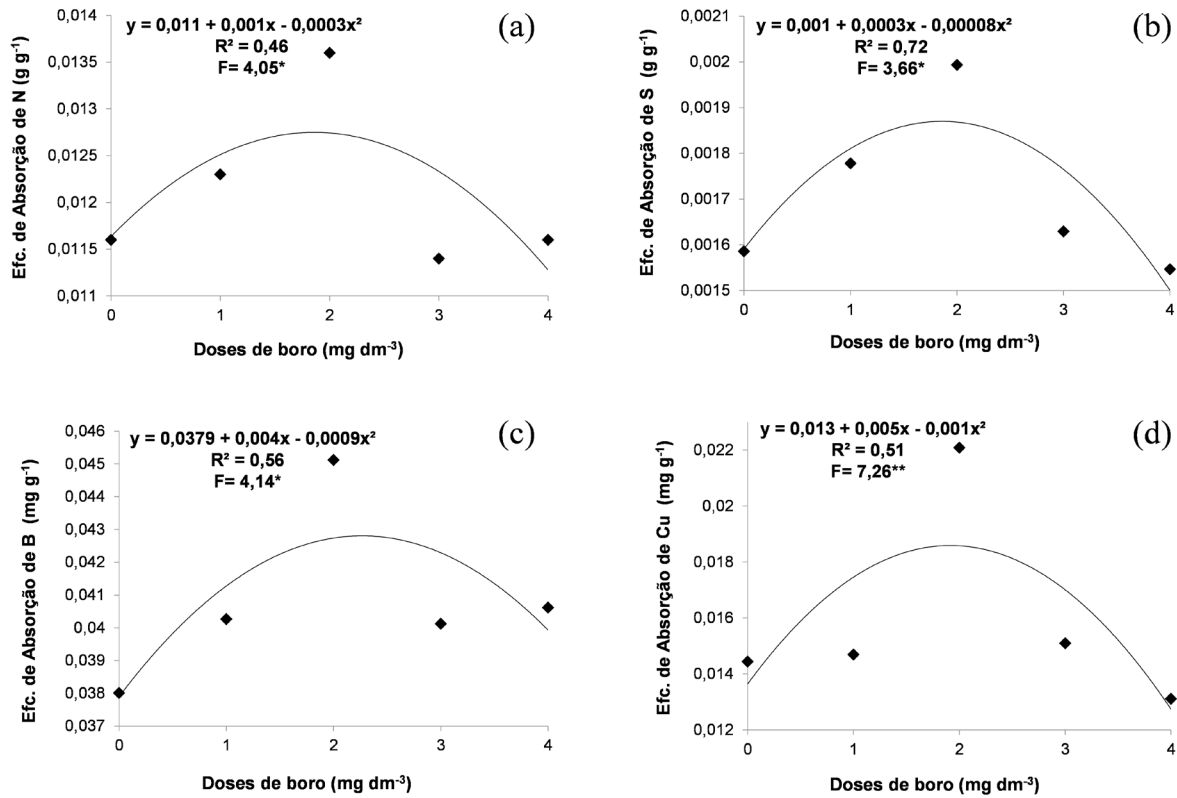


Figura 7. Eficiência de absorção de nitrogênio (A), enxofre (B), boro (C) e cobre (D) nos porta-enxertos de caramboleiras.

A eficiência de absorção de nitrogênio (N) nos porta-enxertos de caramboleiras aumentou até a dose de 1,84 mg dm⁻³ de B, diminuindo com o incremento das doses de boro (Figura 7A), mostrando que a absorção de N é influenciada pela interação com outros nutrientes. Ruiz et al. (1998) indicaram efeito positivo do B no metabolismo de N, que pode resultar em influência positiva do B na síntese de proteínas e enzimas. López-Lefebvre et al. (2002) verificaram que o suprimento de B estimula a assimilação do N por plantas de tabaco (*Nicotiana tabacum*) com acúmulo de aminoácidos e proteínas. Em experimentos com ervilha (*Pisum sativum*), Carpena et al. (2000) concluíram que altos suprimentos de B podem contribuir para uma baixa atividade da nitrogenase.

A eficiência de absorção do S nos porta-enxertos de caramboleira aumentou até a dose de 1,9 mg dm⁻³ de B, diminuindo com o incremento das doses (Figura 7B), que pode ser justificado pela interação S × B (Loué, 1993) reduzindo a absorção do macronutriente. Em relação ao B, a eficiência de absorção aumentou até a dose de 2,3 mg dm⁻³ de B e diminuiu de acordo com a elevação das concentrações de B (Figura 7C). Segundo Fageria et al. (2011), com o aumento da concentração de B no substrato, deveria ocorrer maior absorção do micronutriente pelas plantas. Entretanto, isso indica que a caramboleira tem exigência menor de B nesta fase de crescimento. Já em relação ao cobre, a sua eficiência de absorção foi reduzida, após a dose de 1,9 mg dm⁻³ de B aplicadas ao substrato (Figura 7D). Para Fageria (2002) e Loué (1993) o B pode demonstrar efeitos negativo na absorção de Cu.

Deve-se ser considerado que cada porta-enxerto pode ter componentes genéticos diferenciados, pois as sementes são provenientes de polinização aberta, devido à autoincompatibilidade de polinização, afetando assim a

atividade de enzimas que estão relacionadas com a capacidade da planta de absorver e utilizar nutrientes. As doses de B influenciaram significativamente a eficiência de transporte do Ca (Figura 8A), do B (Figura 8B) e do Cu (Figura 8C).

Verificou-se que o boro aumentou o transporte do cálcio de 74,2% para 80,2% em função das doses aplicadas e, do próprio boro de 71,8 % para 76,8% em função da adubação boratada, das raízes para a parte aérea dos porta-enxertos (Figura 8A e 8B). Resultados semelhantes foram obtidos por López-Lefebvre et al. (2002), ao observarem relação sinérgica entre os elementos B e Ca sinalizando que o transporte de Ca aumentou com as doses de B. Da mesma maneira, foram observadas alterações no transporte do Ca para a parte aérea em frutos sob deficiência de B (Franco et al., 2012). Moraes et al. (2002), ao observarem a relação entre a flexibilidade do caule de seringueira (*Hevea spp*) e a carência de boro, verificaram que a síntese de pectato de cálcio nestas plantas é bloqueada pela carência de boro.

Em estudos realizados por Araújo et al. (2013), observaram redução do índice de transporte de Ca em função das doses de B aplicadas no milho, ou seja, houve maior acumulação de Ca nas raízes (no interior das células ou no espaço livre aparente) em detrimento da parte aérea. Em relação ao B, ressalta-se ainda que, com o incremento das doses, houve aumento do índice de transporte do B, o que difere dos resultados obtidos por Prado et al. (2006) em mudas de maracujazeiro-amarelo.

A eficiência de transporte do Cu foi influenciada de forma quadrática pelas doses de boro aplicadas, atingindo o valor mínimo de 31% na dose de 2,2 mg dm⁻³ de B (Figura 8C). As diferenças encontradas quanto à absorção e movimentação dos nutrientes são devido ao fato destes processos envolverem vários mecanismos que podem limitar sua ascensão para a parte

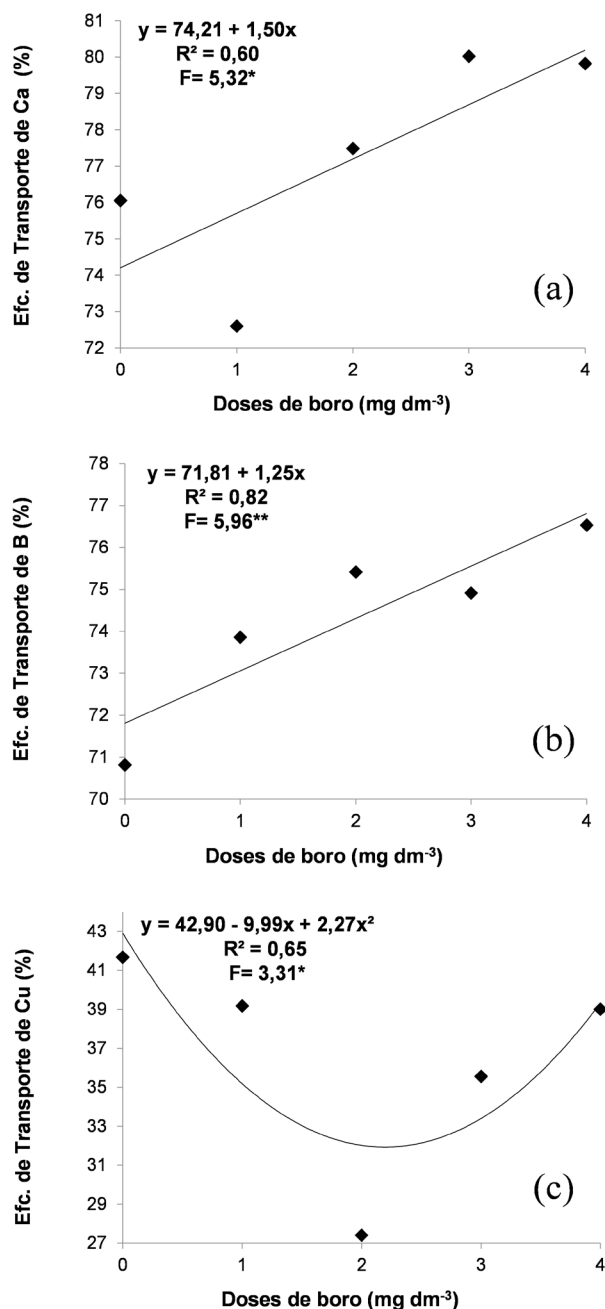


Figura 8. Eficiência de transporte de cálcio (A), boro (B) e cobre (C) nos porta-enxertos de caramboleiras.

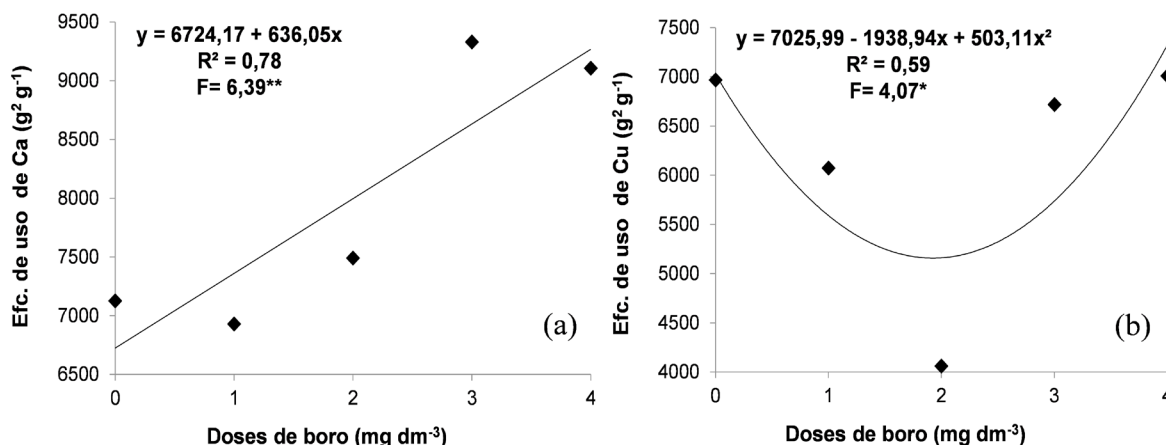


Figura 9. Eficiência de uso de cálcio (A) e de cobre (B) nos porta-enxertos de caramboleiras.

aérea no movimento de íons nas raízes e seu descarregamento no xilema (Araújo et al., 2013).

A eficiência de uso de N, P, K, Mg, S, B, Fe, Mn e Zn não foi afetada pelas doses de B. O B promoveu efeito linear positivo e significativo na eficiência de uso do Ca, sendo a maior eficiência obtida com a dose de 4 mg dm⁻³ (Figura 9A). Tal resultado demonstra que para cada grama de Ca acumulado foram produzidas 9.27 g de matéria seca. Em plantas de algodoeiro, Araújo et al. (2013), estudando diferentes concentrações de B e Zn, verificaram que a eficiência de utilização de Ca foi influenciada positivamente pelo aumento das concentrações de B. Isso pode ser justificado pelo envolvimento do B na estrutura da parede celular, principalmente na síntese dos seus componentes, como a pectina, a celulose e a lignina auxiliando o Ca na deposição e formação de pectatos envolvidos na construção destas estruturas (Gupta, 1993; Loué, 1993). Com a aplicação de doses de boro no substrato, pode haver maior formação de ésteres de borato na parede celular, contribuindo assim com as funções do Ca.

A eficiência de utilização do Cu foi influenciada pelas doses de boro aplicadas (Figura 9B). A mínima eficiência de uso do Cu (5.16 g² ms g⁻¹) foi atingida na dose de 1,9 mg dm⁻³ de B. Vale ressaltar que, alguns mecanismos e processos na planta contribuem para o uso eficiente de nutrientes, como: sistema radicular eficiente; alta relação entre raízes e parte aérea e maior eficiência de absorção.

Conclusões

O aumento das doses de boro diminui os teores de Ca e B nas raízes.

As concentrações de B influenciam os acúmulos de Ca nas raízes e de Cu (nas raízes e na planta inteira).

A eficiência de transporte de Ca e B das raízes para a parte aérea das plantas é favorecida com a elevação das doses de boro.

O boro aumenta a eficiência de utilização de Ca nas plantas.

Literatura Citada

Ahmed, N.; Abid, M.; Ahmad, F. Boron toxicity in irrigated cotton (*Gossypium hirsutum* L.). Pakistan Journal of Botany, v. 40, n.6, p. 2443-2452, 2008. [http://www.pakbs.org/pjbot/PDFs/40\(6\)/PJB40\(6\)2443.pdf](http://www.pakbs.org/pjbot/PDFs/40(6)/PJB40(6)2443.pdf). 17 Sep. 2016.

- 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, supl., p. 720-727, 2012. <http://dx.doi.org/10.5039/agraria.v7isa1848>.
- Barbosa, J. C.; Maldonado Jr, W. AgroEstat: sistema para análises estatísticas de ensaios agrônômicos. Versão 1.1.0.711. rev 77. Jaboticabal: Departamento de Ciências Exatas, 2014.
- 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 Agronômico, 1983. 48p.
- Carpena, R. O.; Esteban, E.; Sarro, M. J.; Penalosa, J.; Gárate, A.; Lucena, J. J.; Zornoza, P. Boron and calcium distribution in nitrogen-fixing pea plants. *Plant Science*, v.151, n.2, p.163-170, 2000. [http://dx.doi.org/10.1016/S0168-9452\(99\)00210-1](http://dx.doi.org/10.1016/S0168-9452(99)00210-1).
- Dursun, A.; Turan, M.; Ekinçi, M.; Gunes, A.; Ataoglu, N.; Esringu, A.; Yildirim, E. Effects of boron fertilizer on tomato, pepper and cucumber yields and chemical composition. *Communications in Soil Science Plant Analysis*, v. 41, n. 13, p. 1576-1593, 2010. <http://dx.doi.org/10.1080/00103624.2010.485238>.
- 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 Plant Analysis*, v. 42, n. 14, p. 1719-1727, 2011. <http://dx.doi.org/10.1080/00103624.2011.584591>.
- Fageria, N.K.; Baligar, V.C.; Clark, R.B. Micronutrients in crop production. *Advances in Agronomy*, v.77, p.185-268, 2002. [https://doi.org/10.1016/S0065-2113\(02\)77015-6](https://doi.org/10.1016/S0065-2113(02)77015-6).
- Franco, H. C. J.; Lavres Junior, J.; Oliveira Junior, O.; Matias, G. C. S.; Cabral, C. P.; Malavolta, E. Optimum ratio of calcium and boron in the nutrient solution or in castor bean shoot for fruit yield and seed oil content. *Journal of Plant Nutrition*, v. 35, n. 3, p. 413-427, 2012. <https://doi.org/10.1080/01904167.2012.639921>.
- Ginzburg, B. Z. Evidence for a protein gel structure crosslinked by metal cations in the intercellular cement of plant tissue. *Journal of Experimental Botany*, v. 12, n. 1, p. 85-107, 1961. <https://doi.org/10.1093/jxb/12.1.85>.
- Gupta, U. C. Boron and its role in crop production. Boca Raton: CRC Press, 1993. 237 p.
- Gupta, U. C. Boron nutrition of crops. *Advances in Agronomy*, v. 31, p. 273-307, 1979.
- Köeppen, W. Climatologia: con un estudio de los climas de la Tierra. México: Fondo de Cultura Económica, 1948. 478 p.
- 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.
- Loomis, W. D.; Durst, R. W. Chemistry and biology of boron. *Biofactors*, v. 3, n. 4, p. 229-239, 1992.
- López-Lefebvre, L. R.; Rivero, R. M.; Garcia, P. C.; Sanchez, E.; Ruiz, J. M.; Romero, L. Boron effect on mineral nutrients of tobacco. *Journal of Plant Nutrition*, v. 25, n. 3, p. 509-522, 2002. <http://dx.doi.org/10.1081/PLN-120003379>.
- Loué, A. Oligo-éléments en agriculture. Antibes: Nathan, 1993. 557 p.
- Malavolta, E. Elementos de nutrição mineral de plantas. 3.ed. São Paulo: Ceres, 1980. 251 p.
- Malavolta, E. Manual de nutrição mineral de plantas. São Paulo: Agronômica Ceres, 2006. 638p.
- Marschner, H. Mineral nutrition of higher plants. 3.ed. San Diego: Academic Press, 2012. 651p.
- Moraes, L. A. C.; Moraes, V. H. F.; Moreira, A. Relação entre a flexibilidade do caule de seringueira e a carência de boro. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 37, n.10, p.1431- 1436, 2002. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2002001000011>.
- Peixoto, J. R.; Carvalho, M. L. M. Efeito da uréia, do sulfato de zinco e do ácido bórico na formação de mudas do maracujazeiro amarelo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 31, n. 5, p. 325-330, 1996. <https://seer.sct.embrapa.br/index.php/pab/article/view/4488>. 11 Set. 2016.
- Prado, R. M.; Natale, W.; Rozane, D. E. Níveis críticos de boro no solo e na planta para cultivo de mudas de maracujazeiro-amarelo. *Revista Brasileira de Fruticultura*, v. 28, n. 2, p. 305-309, 2006. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-29452006000200034>.
- 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>.
- Ruiz, J. M.; Baghour, M.; Bretones, G.; Belahir, A.; Romero, L. Nitrogen metabolism in tobacco plants (*Nicotiana tabacum* L.): role of boron as a possible regulatory factor. *International Journal of Plant Sciences*, v. 159, n. 1, p. 121-126, 1998. <http://dx.doi.org/10.1086/297529>.
- Salvador, J. O.; Moreira, A.; Malavolta, E.; Cabral, C. P. Influência do boro e do manganês no crescimento e na composição mineral de mudas de goiabeira. *Ciência Agrotecnologia*, v. 27, n. 2, p. 325-331, 2003. <http://dx.doi.org/10.1590/S1413-70542003000200011>.
- Salvador, J. O.; Moreira, A.; Muraoka, T. Sintomas de deficiência 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>.
- Swiader, J. M.; Chyan, Y.; Freiji, F. G. Genotypic differences in nitrate uptake and utilization efficiency in pumpkin hybrids. *Journal of Plant Nutrition*, v. 17, n. 10, p. 1687-1699, 1994. <http://dx.doi.org/10.1080/01904169409364840>.
- Teasdale, R. D.; Richards, D. K. Boron deficiency in cultured pine cells. quantitative studies of interaction with Ca and Mg. *Plant Physiology*, v. 93, n. 3, p. 1071-1077, 1990. <https://doi.org/10.1104/pp.93.3.1071>.