

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA
FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**ABSORÇÃO E MOBILIDADE DO BORO EM PLANTAS DE
TOMATE E DE BETERRABA.**

Ancélio Ricardo de Oliveira Gondim

Mestre em Agronomia - Fitotecnia

JABOTICABAL – SÃO PAULO – BRASIL
2009

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE
MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**ABSORÇÃO E MOBILIDADE DO BORO EM PLANTAS DE
TOMATE E DE BETERRABA.**

**Ancélio Ricardo de Oliveira Gondim
Orientador: Prof. Dr. Renato de Mello Prado
Co-Orientador: Prof. Dr. Arthur Bernardes Cecílio Filho**

Tese apresentada à Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Unesp, Câmpus de Jaboticabal, como parte das exigências para a obtenção do título de Doutor em Agronomia (Produção Vegetal).

JABOTICABAL – SÃO PAULO – BRASIL
Julho de 2009

Gondim, Ancélio Ricardo de Oliveira
G637a Absorção e mobilidade do boro em plantas de tomate e de
beterraba / Ancélio Ricardo de Oliveira Gondim. 22 de julho
Jaboticabal, 2009
xiii, 76 f. ; 28 cm

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de
Ciências Agrárias e Veterinárias, 2009
Orientador: Renato de Mello Prado
Banca examinadora: William Natale, Jairo Osvaldo Cazetta,
Cassio Hamilton Abreu Junior, Francisco Maximino Fernandes
Bibliografia

1. *Lycopersicon esculentum* Mill. 2. *Beta vulgaris* L. 3. adubação
foliar. 4. nutrição de plantas. 5. micronutriente. 6. redistribuição. I.
Título. II. Jaboticabal-Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias.

CDU 631.811:635.64:633.41

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: ABSORÇÃO E MOBILIDADE DO BORO EM PLANTAS DE TOMATE E DE
BETERRABA.

AUTOR: ANCÉLIO RICARDO DE OLIVEIRA GONDIM

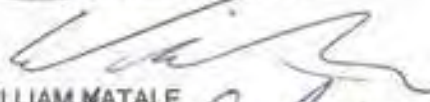
ORIENTADOR: Dr. RENATO DE MELLO PRADO

Co-Orientador(a): Dr. ARTHUR BERNARDES CECÍLIO FILHO

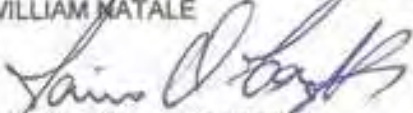
Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de DOUTOR em AGRONOMIA
(PRODUÇÃO VEGETAL) pela Comissão Examinadora:



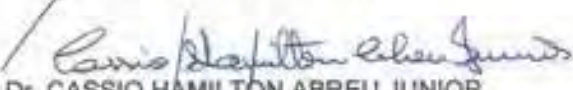
Dr. RENATO DE MELLO PRADO



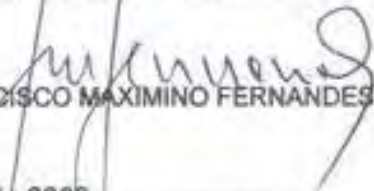
Dr. WILLIAM MATALE



Dr. JAIR O OSVALDO CAZETTA



Dr. CASSIO HAMILTON ABREU JUNIOR



Dr. FRANCISCO MAXIMINO FERNANDES

Data da realização: 22 de julho de 2009.



Presidente da Comissão Examinadora
Dr. RENATO DE MELLO PRADO

DADOS CURRICULARES DO AUTOR

ANCÉLIO RICARDO DE OLIVEIRA GONDIM - filho de Manoel Carlos Gondim e Maria Leni de Oliveira Gondim, nasceu em Upanema, Estado do Rio Grande do Norte, em 17 de novembro de 1978. Em janeiro de 2004, graduou-se em Engenharia Agrônômica pela Escola Superior de Agricultura de Mossoró (ESAM), em Mossoró, Rio Grande do Norte. Em março de 2004, ingressou no programa de pós-graduação, em nível de Mestrado, em Fitotecnia na Universidade Federal de Viçosa (UFV), em Viçosa, MG, submetendo-se à defesa de dissertação em fevereiro de 2006. Em março de 2006, ingressou no programa de pós-graduação, em nível de Doutorado, em Produção Vegetal na Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (UNESP), *Campus* de Jaboticabal, SP, submetendo-se à defesa de tese em Julho de 2009.

*Eu plantei, Apolo regou; mas
Deus deu o crescimento.
(I Corintios 3:6)*

*Por isso, nem o que planta é
alguma coisa, nem o que rega,
mas Deus, que dá o crescimento.
(I Corintios 3:7)*

*Ora, o que planta e o que rega
são um; mas cada um receberá o
seu galardão segundo o seu
trabalho. (I Corintios 3:8)*

DEDICO

A Deus, pelo dom da vida;

Aos meus pais Manoel Gondim e Maria Leni, pela minha existência;

A minha esposa Andréia, pelo companheirismo e dedicação;

A minha filha Raíssa, pelas horas emprestadas.

AGRADECIMENTOS

À Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (UNESP) e ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia – Produção Vegetal, pela oportunidade na realização do curso;

Ao Prof. Dr. Renato de Mello Prado, pelo enriquecido com suas opiniões e conceitos indispensáveis;

Aos técnicos e amigos, Cláudia Campos Della Marta, Diego Wyllyam do Vale, Marcus André Ribeiro Correia e Adriana Ursulino Alves, pelo valioso auxílio;

Aos colegas e amigos do programa de Pós-Graduação em Agronomia – Produção Vegetal e Ciência do Solo, pela amizade e convivência;

Ao CNPq, pela concessão da bolsa de estudos.

Ao Prof. Dr. Arthur Bernardes Cecílio Filho, pelas valiosas sugestões e contribuições para a realização deste trabalho.

Aos Prof. Dr. Antonio Eneidi Boareto e Prof. Dr. Cássio Hamilton Abreu Júnior por fornecer o ¹⁰B e pelas análises no ICP-MS.

E a todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização desta pesquisa.

SUMÁRIO

	Página
RESUMO.....	iii
SUMMARY.....	iv
1 INTRODUÇÃO.....	1
2 REVISÃO DE LITERATURA.....	4
2.1 Importância da cultura do tomate e da beterraba.....	4
2.1.1 Tomate.....	4
2.1.2 Beterraba.....	5
2.2 Importância de boro na nutrição das plantas.....	6
2.3 Aplicação foliar de boro e tempo de absorção.....	12
2.4 Estudo sobre o transporte e mobilidade do boro nas plantas.....	13
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	17
3.1 Localização e caracterização da área experimental.....	17
3.2 Experimentos.....	17
3.2.1 Experimento 1 – Omissão de boro em plantas de tomate e beterraba.....	17
3.2.2 Experimento 2 – Dose de boro via foliar, no desenvolvimento e teor de B de plantas de tomate e beterraba.....	19
3.2.3 Experimento 3 – Tempo de absorção de boro, aplicado via foliar, em plantas tomate e beterraba.....	22
3.2.4 Experimento 4 – Absorção foliar e radicular de B.....	24
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	28
4.1 Experimento 1 - Omissão de boro em plantas de tomate e beterraba.....	28
4.1.1 Tomate.....	28

	Página
4.1.2 Beterraba.....	38
4.2 Experimento 2 - Dose de boro via foliar, no desenvolvimento e teor de B em plantas de tomate e beterraba.....	47
4.2.1 Tomate.....	47
4.2.2 Beterraba.....	51
4.3 Experimento 3 - Tempo de absorção de boro via foliar em plantas de tomate e beterraba.....	55
4.3.1 Tomate.....	55
4.3.2 Beterraba.....	58
4.4 Experimento 4 - Absorção foliar e radicular de B.....	61
4.4.1 Tomate.....	61
4.4.2 Beterraba.....	63
5 CONCLUSÕES.....	67
6 REFERÊNCIAS.....	68

ABSORÇÃO E MOBILIDADE DO BORO EM PLANTAS DE TOMATE E DE BETERRABA

RESUMO - Objetivou-se estudar os efeitos nutricionais da omissão de boro, doses de boro via foliar, tempo de absorção e a sua mobilidade em plantas de tomate e beterraba cultivadas em ambiente protegido. Para isto, foram realizados na Unesp Câmpus Jaboticabal, quatro experimentos com as plantas do tomate e da beterraba cultivadas em vasos. Estudou-se no primeiro a omissão de boro em plantas de tomate e beterraba. No segundo experimento, estudou-se as doses de boro via foliar nas duas hortaliças. No terceiro experimento, estudou-se a absorção foliar de B ao longo do tempo nas plantas de tomate e beterraba. Comparou-se no quarto experimento, a mobilidade do boro absorvido pelas raízes e pelas folhas, para as partes novas da planta. Em todos os experimentos, avaliaram-se as variáveis de crescimento, nutrição e de produção de matéria seca das plantas. Verificou-se, no primeiro experimento, que o prejuízo da deficiência de boro ficou evidente no final do ciclo das hortaliças (terceiro estágio de desenvolvimento), causando maior diminuição nos órgãos reprodutivos do tomate (frutos) e da beterraba (raiz tuberosa). No segundo experimento, a adubação foliar com o micronutriente promoveu a maior produção de matérias secas do fruto e da planta inteira do tomateiro, com pulverizações foliares de B na concentração de $0,340 \text{ g L}^{-1}$ e esteve associada com o teor foliar de B de 72 mg kg^{-1} . Para a produção de matérias secas da raiz tuberosa e da planta inteira de beterraba ocorreu com $0,065 \text{ g L}^{-1}$ e associou-se com o teor de B de 26 mg kg^{-1} . No terceiro experimento, notou-se que o B é rapidamente absorvido pelas folhas, atingindo 50% do B absorvido, próximo de dez horas após aplicação para o tomate e duas horas e meia após a aplicação para a beterraba. No último experimento, observou-se que a aplicação do boro via foliar não foi eficiente para aumentar o teor do micronutriente no tecido novo das hortaliças emitido após a aplicação, comparado a aplicação do nutriente via raiz, inferindo não haver mobilidade do boro nas culturas do tomate e da beterraba.

Palavras-chave: *Lycopersicon esculentum* Mill., *Beta vulgaris* L., adubação foliar, nutrição de plantas, micronutriente, redistribuição.

BORON ABSORPTION AND MOBILITY IN BOTH TOMATO PLANTS AND BEETROOTS

SUMMARY – This work aimed to study the nutritional effects of the boron omission, boron doses by foliar means, absorption time and its mobility in both tomato and beetroot cultures which were cultivated in a protected environment. For this purpose, four experiments with the plants of both tomato and beetroot cultivated in vases were used at the Unesp Campus of Jaboticabal. In the first experiment, it was studied the boron absorption by the roots of both vegetables in a hydroponic system, with the presence and the omission of the micronutrient. In the second experiment, it was studied the boron doses by foliar means in both vegetables. In the third one, it was studied the foliar absorption of B over the time in both tomato and beetroot plants. In the fourth, it was compared the boron mobility absorbed by the roots and the leaves, for the new parts of the plant. In all the experiments, it was evaluated the growth, nutrition and production variables of the plants dry matter. It was verified, in the first experiment, that the boron deficiency loss was evident in the end of the vegetables cycle (third development phase) causing higher decrease in the reproductive organs of the tomato (fruits) and beetroot (tuberous root). In the second experiment, the foliar fertilization with the micronutrient promoted the highest production of both the fruit's and the whole plant's dry matter of the tomato plant with B foliar spray at the concentration of $0,340 \text{ g L}^{-1}$ and it was associated with the B leaf content of 72 mg kg^{-1} . The tuberous root and the beetroot whole plant dry matter production occurred with $0,065 \text{ g L}^{-1}$ and it was associated with the B content of 26 mg kg^{-1} . In the third experiment, it was noticed that the B is quickly absorbed by the leaves, reaching 50% of the absorbed B, close to ten hours after the application for the tomato and two hours and a half after the application for the beetroot. In the last experiment, it was observed that the boron application by foliar means was not efficient to raise the micronutrient content in the new vegetables tissue emitted after the application, compared to the nutrient application via root, thus inferring there is no boron mobility in both tomato and beetroot cultures.

Keywords: *Lycopersicon esculentum* Mill., *Beta vulgaris* L., foliar fertilization, plants nutrition, micronutrient, redistribution.

1. INTRODUÇÃO

Os solos tropicais apresentam baixa fertilidade, sendo que ultimamente os micronutrientes têm sido muito estudados devido à necessidade de mais e melhores informações na produtividade das culturas. O boro é um dos micronutrientes que mais limita o rendimento das culturas no Brasil, principalmente nas culturas cultivadas em solos de textura arenosa, onde o micronutriente, tendo alta mobilidade no solo pode ser lixiviado no perfil (BLEVINS & LUKASZENWSKI, 1998). Nas hortaliças, as deficiências de micronutriente com o boro são frequentes (COUTINHO et al., 1993), o que poderá promover rápida inibição do crescimento das plantas. Isto ocorre porque desempenha funções na vida das plantas tais como: síntese da parede e alongamento celular, integridade estrutural da parede celular e transporte de carboidratos, promovendo alteração na síntese dos compostos que compõem a parede celular (pectina, hemicelulose e precursores da lignina), na fertilidade dos grãos de pólen e alongamento do tubo polínico (MARSCHNER, 1995).

As culturas de beterraba e de tomate desempenham papel fundamental na agricultura brasileira, devido ao consumo da população e a sua importância econômica. Para que estas hortaliças obtenham maiores produtividades é necessário atender as suas exigências nutricionais.

Para atender a exigência das hortaliças em boro, o seu fornecimento pode ser via semente, solo e foliar. A aplicação do boro via foliar é amplamente utilizada pelos produtores de hortaliças. Apesar disso, a recomendação de adubação via aplicação foliar de B em hortaliças para o Estado de São Paulo é restrito às brássicas (TRANI & RAIJ, 1997), e em outras hortaliças importantes como tomate e beterraba não existem indicações técnicas para adubação foliar com esse micronutriente.

Assim, para garantir maior eficiência da adubação foliar com boro nas culturas de tomate e de beterraba, é importante conhecer alguns aspectos básicos da nutrição das plantas desde as desordens nutricionais, absorção até a sua mobilidade na planta.

Um aspecto básico importante seria o estágio de desenvolvimento da planta que a deficiência no suprimento de boro promoveria maior prejuízo no crescimento e no desenvolvimento das hortaliças. Alguns estudos indicaram que o prejuízo do baixo suprimento de boro em culturas como tomate e nabo (MARSCHNER, 1995) ficam evidentes apenas na fase reprodutiva das plantas. Além disso, existem poucas informações dos órgãos das plantas de tomate e de beterraba teriam maior sensibilidade à deficiência deste micronutriente ao longo do ciclo da cultura. Neste sentido, o conhecimento do estágio de desenvolvimento e do órgão que a deficiência de boro causaria maior distúrbio na planta poderia indicar maior resposta da cultura à aplicação do micronutriente e, consequentemente, poderia contribuir para maior eficiência da adubação foliar.

Outros aspectos aplicados poderiam influenciar na eficiência da adubação foliar com o boro nas hortaliças, tomate e beterraba, que seria a concentração de boro nas aplicações foliares, o tempo de absorção e a sua mobilidade na planta após a pulverização foliar.

Os estudos sobre a dose de boro via foliar nas culturas do tomate e da beterraba são escassos na literatura. O conhecimento da dose adequada de boro na solução é importante para maior eficiência nutricional dessa prática, pois deve ser suficiente para corrigir a deficiência sem causar toxicidade. A toxicidade em pulverizações foliares é uma preocupação para adubação foliar com micronutrientes, pois pode causar prejuízo na produção e/ou até morte da planta.

O conhecimento do tempo de absorção do boro pelas folhas é importante para o manejo adequado da adubação foliar em hortaliças cultivadas em condições de campo para aferir o sucesso da adubação foliar. Isso ocorre porque em condições de campo a ocorrência de precipitação pluvial é freqüente ao longo do ciclo da cultura e sua ocorrência no momento anterior à absorção do nutriente pela planta causaria perda do nutriente e menor eficiência da adubação foliar. Em plantas de tomate e beterraba não foram encontrados trabalhos que indicaram o tempo de absorção foliar do boro.

Um outro aspecto também pouco estudado em hortaliças é a mobilidade do boro, fato que poderia afetar a eficiência da adubação foliar desse micronutriente. Culturas que produzem políois formam complexos com o boro propiciando a sua mobilidade no floema (BROWN & HU, 1994) e, portanto, espera-se que as partes jovens das plantas que

emergiram após a pulverização foliar tenham sua exigência nutricional atendida pela redistribuição do micronutriente, garantido determinado efeito residual da pulverização e maior eficiência da adubação foliar.

Diante da carência de pesquisas sobre aspectos da nutrição do boro em hortaliças, pode-se inferir que o seu estudo trará contribuições para o manejo da adubação foliar boratada nas plantas de tomate e de beterraba, com impactos diretos na produção destas culturas.

Diante deste contexto, objetivou-se estudar os efeitos da omissão de boro, dose de boro via foliar, tempo de absorção e a sua mobilidade nas culturas de tomate e beterraba cultivados em ambiente protegido.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Importância da cultura do tomate e da beterraba

2.1.1 Tomate

O tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) é uma das principais hortaliças cultivadas no Brasil e a segunda hortaliça cultivada no mundo, sendo superada apenas pela batata em produção. Segundo o AGRIANUAL (2009), estima-se que a produção brasileira de tomate (2006/2007) esteja em 3,3 milhões de toneladas ocupando uma área de 58 mil ha, sendo 27% da produção destinada à indústria e 73% ao consumo *in natura*. Dentre os estados produtores de tomate, São Paulo destaca-se em primeiro lugar, seguido por Minas Gerais, Goiás, Rio Grande do Sul e Rio de Janeiro, tendo o mesmo, uma produção anual estimada de tomate “in natura” de 76 mil t.

As hortaliças de frutos são importantes na dieta humana não apenas por serem fonte substancial de carboidratos e proteínas, mas também por serem excelente suprimento de vitaminas e minerais. Entre estes atributos mais importantes relacionados à qualidade e preferência de consumo do tomate, entre as hortaliças, estão a aparência, o sabor, o aroma, a textura e o valor nutricional (baseado principalmente no conteúdo de vitaminas e minerais). A coloração verde dos frutos imaturos é devido à presença de clorofila. Esta clorofila começa a degradar-se com o início da maturação e a síntese de pigmentos amarelos, principalmente xantofilas e β caroteno, atingindo posteriormente a coloração vermelha em razão do acúmulo de licopeno. O fruto fresco apresenta baixo poder calórico, baixo teor de matéria seca e é muito rico em cálcio e vitamina C. Os açúcares (sacarose e frutose) constituem cerca de 65% dos sólidos solúveis totais e se acumulam na fase final da maturação. A colheita de frutos antes da maturação, a baixa luminosidade e a eliminação de folhas contribuem para diminuir o teor de açúcar no fruto (ALVARENGA, 2004).

2.1.2 Beterraba

A beterraba (*Beta vulgaris* L.) pertence à família Quenopodiaceae. Essa hortaliça, têm como centro de origem a Europa e o norte da África, regiões de clima temperado. As raízes são os órgãos com valor comercial, possuindo acentuada importância econômica nas regiões produtoras de olerícolas e por apresentar elevado valor nutricional, entre as hortaliças, por ser rica em fibras, agente anti-cancerígenos e anti-oxidantes, pelo seu conteúdo em vitaminas A, do Complexo B e C, no entanto, essa última só é aproveitada quando as mesmas são consumidas cruas. Além disso, a beterraba possui boas quantidades de sais minerais, especialmente de sódio, magnésio, potássio, zinco, e ferro, principalmente (FERREIRA & TIVELLI, 1990; FILGUEIRA, 2007).

No Brasil, o cultivo de beterraba é exclusivamente das variedades de mesa, mesmo assim, em pequena escala comercial, se comparado ao de outras hortaliças mais tradicionais, tais como batata, tomate, cebola, alho, pimentão, repolho e cenouras. Vem-se observando, nos últimos dez anos, aumento da demanda dessa hortaliça, para consumo "*in natura*" e também para as indústrias de conservas. Suas raízes são os órgãos com valor comercial, possuindo acentuada importância econômica nas regiões produtoras de hortaliças (FILGUEIRA, 2007). A produção de beterraba é uma das mais significativas do mercado nacional de hortaliças, existindo hoje no Brasil cerca de 10 mil ha desta hortaliça, produzidos em mais de 100 mil propriedades, concentrando-se região Sudeste (42%) e na região Sul (35%). O Estado de São Paulo cultiva em média 5 mil hectares dessa hortaliça por ano, produzindo 115 mil toneladas e uma produtividade de 25,7 toneladas por hectare (CAMARGO FILHO & MAZZEI, 2002). No ano de 2006, o volume comercializado foi superior a 18 mil t (AGRIANUAL, 2009).

No período de janeiro de 1998 a outubro de 2004, 91% da beterraba comercializada pela Ceagesp-SP foi na forma de raízes e os restantes 9% foram comercializados com folha. Em média, a Ceagesp-SP comercializou 25 mil toneladas de beterraba por ano durante o período, o que representa apenas 22% da beterraba produzida no estado de São Paulo (TRANI et al., 2003). Desse modo, há necessidade de expansão do cultivo da beterraba no estado de São Paulo.

2.2 Importância de boro na nutrição das plantas

O elemento boro possui número atômico 5 e massa atômica de 10,811 u.m.a., tendo dois isótopos estáveis de massas 10 e 11, com abundância natural média de $^{10}\text{B} = 19,9\%$ e $^{11}\text{B} = 80,1\%$ (BIEVRE & BARNES, 1985). Na tabela periódica, o B é o único não metal pertencente à família do grupo IIIA e possui número de valência +3.

O B é amplamente distribuído tanto na litosfera quanto na hidrosfera apresentando baixa a abundância na crosta terrestre. A quantidade de B aumenta com a acidificação das rochas magmáticas, enquanto nas rochas sedimentares, o elemento está associado à fração de argila. As maiores quantidades de B estão concentradas em regiões que já foram oceanos e em sedimentos marinhos argiláceos, portanto a quantidade de B pode servir como indicador de paleossalinidade (KABATA-PENDIAS & PENDIAS, 1984).

O B é demasiado reativo para ocorrer no seu estado livre. Contudo, pode-se encontrar combinado em diversos minerais, de que são exemplos, a colemanita ($\text{Ca}_2\text{B}_6\text{O}_{11} \cdot 5\text{H}_2\text{O}$), a ulexita ($\text{CaNaB}_5\text{O}_9 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$), o boráx ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$) e a boracita ($\text{Mg}_3\text{B}_7\text{O}_{13}\text{Cl}$) também pode se encontrado na forma de ácido bórico (H_3BO_3), (BOARETTO, 2006).

BERGMAN (1984) relatou que os primeiros estudos verificando os efeitos de B nas plantas datam a partir de 1876. Na literatura existem discordâncias quanto ao autor que demonstrou a essencialidade do B para as plantas. A prova inicial foi publicada por Warrington em 1923 (POWER & WOODS, 1997), e há muito já se estabeleceu que o B é um elemento essencial ao desenvolvimento das plantas superiores, apesar de sua função primária não ter sido totalmente esclarecida (MATOH, 1997). Em revisão realizada por LOOMIS & DURST (1992), os autores relataram que AGULHON, em 1910, demonstrou a presença de B em diversas espécies de plantas, entretanto, não demonstrou a essencialidade do elemento para as plantas, e MAZÉ (1915; 1919) demonstrou a essencialidade de B para o milho, entretanto, os seus experimentos não foram realizados em condições bem controladas e o autor também definiu no mesmo trabalho que o alumínio, flúor e iodo eram benéficos para o desenvolvimento das plantas. Por estas razões a essencialidade do B como nutriente é creditada para WARINGTON (1923).

Nas culturas de forma geral, entre os micronutrientes, a deficiência de B é a que ocorre em maior frequência (GUPTA, 1979; BLEVINS & LUKASZEWSKI, 1998). Os principais fatores que interferem na disponibilidade do B presente no solo para as plantas, segundo GOLDBERG (1997) seriam: a) o pH da solução do solo (com o aumento do valor do pH da solução do solo, menor é a disponibilidade do B para as plantas); b) a textura do solo (quanto mais arenoso o solo, menor é a disponibilidade do nutriente); c) a umidade do solo (a disponibilidade de B geralmente diminui com a redução da umidade do solo); d) a temperatura (ocorre aumento na adsorção de B com o aumento da temperatura, entretanto, isso pode ser devido à interação entre o efeito da temperatura com a umidade do solo); e) a matéria orgânica (quanto maior a quantidade de matéria orgânica, maior é a disponibilidade de B para as plantas).

De todos os nutrientes minerais presentes no reino vegetal, a função do B é o menos entendido. O que se conhece sobre a exigência do nutriente provem de estudos sobre o que acontece na planta na ausência de B ou na aplicação do nutriente após condições de deficiência da planta (MARSCHNER, 1995).

O B é o único nutriente que satisfaz apenas o critério indireto de essencialidade, sendo que ainda não foi demonstrada a participação do B na constituição de enzimas e nem como ativador enzimático (MARSCHNER, 1995). Ainda, segundo esse mesmo autor, o B está relacionado a uma série de processos fisiológicos das plantas tais como: transporte de açúcar; síntese da parede celular; lignificação; estrutura da parede celular; respiração; metabolismos de carboidratos; metabolismos de RNA; metabolismos de ácido indolacético; metabolismos de compostos fenólicos; metabolismo de ascorbato; fixação de nitrogênio; e diminuição da toxidez de alumínio, entretanto, pode ser que alguns dos efeitos nos processos fisiológicos em que a ausência de B esteja relacionada não ocorram de forma direta e sim sejam efeitos secundários ou “efeitos cascatas”.

Existem inúmeros compostos biológicos, no citoplasma ou na parede celular, que podem formar complexos de B (ácido bórico) com alguns açúcares, fenóis, ácidos orgânicos e polímeros (DEMBITSKY et al., 2002). MATOH (1997) constatou que o B pode ocorrer nas plantas superiores tanto em formas solúveis em água (localizado na região apoplástica na forma de ácido bórico) quanto em formas insolúveis. O B insolúvel

em água está associado com rhamnogalacturona II (RG-II), que é composto de ácido bórico com duas cadeias do monômero GR-II.

KOBAYASHI et al. (1997) propuseram que a localização do B na célula parece ser um pré-requisito para a identificação das suas funções, entretanto, os locais onde o ácido bórico está localizado podem ser consequência das ligações de di-éster do ácido bórico com grupos de cis-diol de açúcares e fenóis.

O boro é absorvido pelas plantas como ácido bórico (GUPTA, 1979). Há uma incerteza se a absorção do B é um processo ativo ou passivo (MENGEL & KIRKBY, 2001). GUPTA (1979), HU & BROWN (1997) sugerem que a absorção de B pelas plantas superiores é um processo passivo, não-metabólico, que age em resposta à concentração externa de ácido bórico, à permeabilidade da membrana, à formação de complexos dentro da célula e à taxa de transpiração. BROWN & HU (1994) observaram em diversas culturas que a absorção do boro é um processo não metabólico, o qual é controlado pela formação de complexos de boro não trocáveis no citoplasma e parede celular.

Entre os fatores ambientais não edáficos, a taxa de transpiração é a que mais influencia a absorção de B. O aumento da transpiração promove o aumento na absorção de B, que é influenciada pela umidade relativa, temperatura e intensidade luminosa (HU & BROWN, 1997).

Quando o B está em deficiência, inicialmente, ocorre redução dos tecidos meristemáticos (extremidades da raiz e ramos) que, em seguida, tornam-se desorganizados e morrem. No entanto, COHEN & LEPPER (1977) consideraram que o alongamento de raízes de abóbora cessou quando as mesmas foram submetidas à omissão de boro, que foi causada pela falta de divisão das células meristemáticas e não por falta de alongamento celular, sugerindo que esse micronutriente age como um regulador da divisão celular. Acredita-se que o B influencie os processos de divisão celular, alterando o nível do AIA, através da ativação de enzimas que oxidam esse hormônio. O B participa da síntese da base nitrogenada uracil e como esta é componente do RNA, têm-se queda na síntese do RNA e conseqüentemente a síntese protéica. Como a síntese de RNA, ribose e proteína são os processos mais importantes nos tecidos meristemáticos, a divisão e diferenciação celular é seriamente prejudicada

e, portanto, o crescimento das partes jovens das plantas é afetado (MENGEL & KIRKBY, 2001).

Assim o B atua na biossíntese da parede celular, auxiliando o Ca na deposição e formação de pectatos que formam parte dessas estruturas (SANTOS et al., 1990). Cabe salientar que as plantas que apresentam maior exigência em B são aquelas que contêm maior quantidade de B complexado na parede celular. Quando o B está presente em concentrações baixas, a maior parte do nutriente contido nas células, sendo que acima de 95% de B está localizado na parede celular associados a pectinas (POWER & WOODS, 1997; HU et al., 1997). Para CAKMAK & RÖMHELD (1997). Outra importante função do B é a manutenção da integridade da membrana plasmática, que está associado a sua habilidade em se ligar a componentes com configuração cis-diol, tais como glicoproteínas e glicolipídios. CAKMAK et al. (1995), analisando folhas de girassol deficientes e com níveis suficientes em boro, observaram que o efluxo de potássio, sacarose e fenóis e aminoácidos em folhas deficientes em boro foram, respectivamente, 35, 45 e 7 vezes maiores quando comparados com folhas com níveis suficientes de boro. POWER & WOODS (1997) argumentam que o transporte de alguns nutrientes (K e P) pela membrana é inibido na ausência de B. Além dessas funções, o B também está relacionado com transporte de açúcares, lignificação, metabolismo de carboidratos, metabolismo de RNA, respiração, metabolismo de ácido indol acético (AIA), metabolismo de fenol de ascorbato (CAKMAK & RÖMHELD, 1997).

AMBERGER (1988) relata que o crescimento radicular pode ser paralisado após 48 horas de omissão de B. Além disso, a deficiência de B promove rápido endurecimento da parede celular, pois o mesmo formando complexos com carboidratos controla a disposição de micelas de celulose, o que não permite o aumento normal no volume da célula (MALAVOLTA, 1980). O alongamento da planta é também prejudicado pelo fato que o B tem efeito direto na formação de vasos xilemáticos (crescimento e diferenciação). Cabe ressaltar que concentrações de B acima do normal protegem o crescimento radicular em situações em que altos teores de Al normalmente seriam inibidores, (LENOBLE et al., 2000).

A restrição no crescimento do sistema radicular é um dos sintomas mais evidentes da deficiência de B, porém as funções bioquímicas do B no processo de crescimento das

raízes ainda não estão bem definidas. LUKASZEWSKI & BLEVINS (1996) propuseram que a ação do B no meristema radicular está associada com o metabolismo do ascorbato. O mecanismo da interação boro-ascorbato pode estar relacionado com a associação do B com o ciclo de oxi-redução do ascorbato e com o transporte de elétrons na membrana plasmática, o que podem influenciar no crescimento do tecido. Em experimento realizado em plantas de abóbora, os autores acima citados verificaram que quanto menor foi o suprimento de B à planta, menor foi a concentração de ascorbato no ápice das raízes. E quando foi adicionado ascorbato na solução nutritiva, este promoveu aumento no crescimento radicular de plantas que estavam sendo cultivadas em solução sem B ou com baixo fornecimento do nutriente.

RUIZ et al. (2006) observaram que a toxidez de Al pode ser minimizado pelo efeito do B nas enzimas relacionadas ao metabolismo da Glutathione (GSH) que é considerado mecanismo importante das plantas em aliviar estresse do ambiente. Assim, o B, estimula a biossíntese do GSH nas folhas e estas são transportadas para as raízes, reduzindo a ação do oxigênio ativo, normalmente produzido pela toxidez de Al. SOTIROPOULOS et al. (2006) acrescentam, ainda, que o aumento da concentração de B, no meio de cultura, houve incremento na atividade de enzimas nas folhas de maçã (peroxidase, catalase e da superóxido dismutase).

Para que o boro desempenhe suas funções nas plantas, suas exigências nutricionais devem ser atendidas. Nas plantas de tomate e de beterraba, o teor foliar de boro considerado adequado é de 30-100 e 40-80 mg kg⁻¹, respectivamente (TRANI & RAIJ, 1997).

A adubação com boro aumenta o crescimento e a produção das plantas e sua deficiência resulta numa rápida inibição do crescimento sendo necessário adicionar fertilizantes na agricultura (GUPTA et al., 1985). Por exemplo, suprimento de boro em tomate tem efeito regulador no metabolismo e translocação de carboidratos, evita clorose, necrose de pontas e ramificações, alongamento de raízes e afilamento das folhas (MAGALHÃES, 1988). PLESE et al. (1998) verificaram que a aplicação de B até 1 g por cova aumentou a produção de tomate e redução da podridão apical. DELL & HUANG (1997) relatam que baixo teor de B nas folhas inibe a expansão de folha. OYEWOLE &

ADUAYI (1992) verificaram que a produção máxima de frutos de tomate "Ife Plum" cv. 51691 esteve associada ao emprego de 2 mg dm^{-3} de B.

Sabe-se que os teores e os conteúdos de nutrientes no tomateiro variam com o desenvolvimento da cultura, sendo que o seu conhecimento é importante para decisões sobre a aplicação racional de fertilizantes (HAAG et al., 1978). Para beterraba, o suplemento ideal de boro reduz as lesões nas raízes, áreas escurecidas na superfície e manchas escuras no interior do tubérculo (HEMPHILL Jr. et al., 1982; MACK, 1989; TRANI et al. 1993). Entretanto, o boro pode ser tóxico em plantas quando a concentração na solução excede a 250 mg L^{-1} (GUPTA et al., 1985). GUPTA & MUNRO (1969) trabalhando com *Brassica napobrassica*, Mill. var. York, fertirrigado em casa de vegetação, observaram que a concentração 2 mg L^{-1} de B proporcionou maior produção em relação à omissão do nutriente.

GENÚNCIO et al. (2006) trabalhando com tomate em solução nutritiva em sistema NFT em função da concentração iônica da solução, verificaram uma produção de 99 t ha^{-1} na cultivar T-93. Para atingir tais rendimentos, são necessárias doses adequadas de nutrientes, normalmente elevadas. Inúmeras recomendações de adubação para uso encontram-se na literatura, com forte discrepância entre os valores. Essas diferenças provêm tanto do fato de que o potencial de produção é variável entre as diferentes cultivares e híbridos, com reações no meio radicular que variam quando os cultivos são efetuados em diferentes condições, tanto no solo como em substrato (RAIJ, 1991).

Tem sido demonstrado que entre os macronutrientes, o nitrogênio e entre os micronutrientes, o boro são os nutrientes que na ausência causam mais prejuízos para as plantas de beterraba (TRANI et al., 1993). Como o nitrogênio é fornecido sistematicamente nos cultivos, tanto pela adubação química como pela adição de matéria orgânica, sintomas de deficiência não ocorrem com frequência. Entretanto, no caso do boro, devido ao uso excessivo de calcário que torna o nutriente pouco disponível, bem como a possibilidade de deficiência natural do solo, não é raro ocorrerem lesões nas raízes de beterraba, áreas escurecidas na superfície e manchas escuras no interior, sintomas típicos da deficiência deste micronutriente. Cabe salientar que as plantas que apresentam maior exigência em B são aquelas que contêm maior quantidade de B complexado na parede celular. Além disso, em plantas deficientes em B,

acumulam-se compostos fenólicos, que leva a produção dos radicais livres, que causam peroxidação de lipídeos afetando a integridade das membranas.

A tolerância das plantas ao excesso de boro difere amplamente entre espécies e, até certo ponto, entre cultivares dentro de uma mesma espécie (MARSCHNER, 1995). GUPTA (1979) relata que as plantas requerem um suprimento de boro contínuo para um bom crescimento. Em geral, todas as dicotiledôneas requerem altas quantidades de boro em relação às monocotiledôneas, e usualmente as concentrações de boro nas plantas está na faixa de 10 até 100 mg kg⁻¹ (DECHEN et al., 1991).

2.3 Aplicação foliar de boro e tempo de absorção

A aplicação foliar consiste no suprimento de nutrientes por pulverização nas partes aéreas das plantas, principalmente nas folhas. Quando o nutriente é depositado na folha pode ocorrer absorção. Tal como a absorção radicular, a foliar também apresenta duas fases bem distintas que é absorção passiva e absorção ativa. Na primeira, o nutriente entra na planta por meio de difusão, não ocorrendo gasto de energia. Na segunda, o nutriente penetra no simplasto e se movimenta com gasto de energia. Este fenômeno ocorre geralmente em horas, enquanto a primeira fase, a passiva, é rápida, podendo ser completada em minutos (MALAVOLTA et al., 1997).

FRANCOIS (1986) estudando o efeito de concentrações de boro na água de irrigação em rabanete, verificou que concentrações superiores a 1 mg L⁻¹ de boro reduziram em 22 e 29% a produção de raízes e da parte aérea, respectivamente. Na beterraba, a maior produtividade e qualidade, segundo GUPTA & CUTCLIFFE (1985), ocorreu com a dose de 2 kg ha⁻¹ de B, aplicado no solo. Estes autores relatam ainda que essa dose promoveu o teor foliar adequado (50-100 mg kg⁻¹) para o desenvolvimento da beterraba. O aumento da concentração de boro cria um gradiente excessivo no teor do micronutriente, que pode promover toxicidade (SHELP et al., 1995).

O efeito da aplicação foliar e no solo com boro no crescimento e na produção e qualidade das plantas de tomate foi estudado por DAVIS et al. (2003). Estes autores

verificaram que a aplicação foliar incrementou a produção de frutos, sugerindo que o boro foi translocado no floema das plantas de tomate e as plantas pelo qual foi fornecida a aplicação foliar apresentaram maior acúmulo de boro em relação aos tratamentos que não receberam, indicando que o boro foi translocado das folhas para os frutos.

SERESINHE & OERTLI (1991) estudando o efeito do boro em plantas de tomate verificaram aumento na matéria seca das plantas até 6 dias de cultivo em cultura de tecidos. Ainda estes autores verificaram que o acúmulo de boro não variou depois de dois dias de cultivo.

De uma maneira geral, a prática da adubação foliar tem-se desenvolvido rapidamente no Brasil nos últimos anos na agricultura e admite-se seja para corrigir deficiências como complementar a adubação de solo, suplementar a adubação de solo durante todo o ciclo da cultura e suplementar a adubação de solo no estágio reprodutivo das plantas (MARSCHNER, 1995).

Além da concentração do boro a ser aplicado via foliar, o tempo de absorção também poderá afetar a eficiência da adubação foliar, pois garante ao produtor o conhecimento da absorção do nutriente em menor espaço de tempo. Isto é importante, pois se ocorrer precipitação pluvial momentos antes a absorção do nutriente compromete a eficiência de adubação foliar (BOARETTO et al., 2003). Em plantas de tomate e beterraba não foram encontrados trabalhos com aplicação foliar e o tempo de absorção foliar do boro.

2.4 Estudo sobre o transporte e a mobilidade do boro nas plantas

O movimento do B nas plantas ocorre pelo xilema. O B é predominantemente, transportado via fluxo de transpiração, que é afetada, principalmente, pela temperatura e intensidade luminosa, pelo conteúdo de água no solo e pela umidade relativa (ASAD et al. 2001).

O transporte do boro no xilema das raízes envolve processos passivos e ativos que regulam o movimento do boro por membranas; enquanto distribuição de boro em

nível celular depende de extensões que permitem a passagem do transporte ativo e passivo e formação de cisdiol.

Em geral o B é considerado imóvel nas plantas, entretanto, estudos realizados, principalmente a partir da década de 80, demonstraram que esta afirmativa não devia ser generalizada, pois se sabe que este micronutriente é móvel em algumas espécies de plantas, tais como: macieira, ameixeira (BROWN & HU, 1994) e brócolis (SHELP, 1988).

Tem-se observado durante anos que o crescimento de plantas com quantidades adequadas de B, diminui a concentração de B das folhas velhas para as folhas jovens. Além disso, sintomas de deficiência de B ocorrem em tecidos meristemáticos, enquanto sintomas de toxicidade do nutriente ocorrem primeiro nas margens das folhas mais velhas (MARSCHNER, 1995; SHELP et al., 1995). Estas observações são a base da classificação histórica de B como um elemento imóvel (ZIMMERMANN, 1960; EPSTEIN, 1973).

Conforme relatado anteriormente o B, como os demais micronutrientes, é indispensável para as plantas, pois têm efeito direto na formação de novos tecidos e na produtividade, sendo importante o conhecimento da redistribuição que ocorre dentro da planta e a variação entre as espécies (van GOOR & van LUNE, 1980). O conhecimento da mobilidade dos nutrientes na planta favorece a escolha do tipo de manejo que será adotado na correção ou prevenção da deficiência. Quando o nutriente é imóvel na planta, torna-se necessário o fornecimento freqüente do nutriente para atender as exigências dos novos órgãos em formação. Deste modo, as aplicações foliares do B deverão promover melhor resultado na produção nas cultivares que tenham maior mobilidade do nutriente. Por outro lado, plantas em que o B é imóvel a aplicação mais viável seria via raiz que iria fornecer o nutriente continuamente por todo o ciclo da planta.

A absorção, o transporte e a redistribuição de nutrientes pelos vegetais são processos distintos. O primeiro, diz respeito à passagem do nutriente do meio externo da planta, para o espaço intercelular ou qualquer outra parte da célula. O transporte é o movimento do nutriente no órgão de absorção ou para outro órgão da planta. A redistribuição refere-se ao movimento do nutriente do local onde foi depositado, pelo movimento da água no xilema (ou onde foi depositado pela adubação foliar), para outros órgãos da planta, processo que se dá pelo floema.

O mecanismo de absorção do boro e os fatores que governam a distribuição do boro nas plantas são pouco conhecidos. Há evidências de que a absorção do boro é passiva (BROWN & HU, 1994; HU & BROWN, 1997). Entretanto, algumas espécies diferem significativamente na absorção do boro quando crescidas sob as mesmas condições ambientais. Por exemplo, BROWN & JONES (1971) estudaram a absorção do boro em duas cultivares de tomate, T3238 que é suscetível à deficiência de B e cv. Rutgers tolerante a deficiência de B. Encontraram que a cv. Rutgers foi 15 vezes mais eficiente na absorção que a cv. T3238. Entretanto, as raízes de T3238 acumularam mais boro comparado a Rutgers. Os autores concluíram que a T3238 apresenta baixo transporte de B das raízes para os brotos novos. Além disso, quando as plantas foram transferidas de adequado para inadequado suprimento de B, alguns sintomas de deficiência foram observado em 48 horas.

A utilização de isótopos tem sido uma técnica muito útil nas pesquisas sobre mobilidade de nutrientes nos vegetais. Grande parte das pesquisas sobre a absorção e mobilidade de micronutrientes tem sido realizada com o auxílio de isótopos radioativos, entretanto, para o B não existe um isótopo radioativo com meia vida suficientemente longa que possibilite estas pesquisas. Para os estudos de mobilidade de nutrientes, é necessário usar uma metodologia que possibilite distinguir se o nutriente presente nas partes novas da planta é oriundo de partes já existentes, ou se ele foi absorvido pelas raízes ou folhas. Com o desenvolvimento do ICP-MS tornou-se possível quantificar os isótopos estáveis de B (^{10}B e ^{11}B), o que possibilitou os estudos de mobilidade de B nos vegetais, utilizando-se compostos enriquecidos em ^{10}B (BOARETTO, 2006).

Enquanto há poucas dúvidas sobre o movimento do B transportado pelos vasos do xilema para os locais de maiores perdas de água, há muitas dúvidas sobre a redistribuição do B, que ocorre pelo floema. As espécies vegetais diferem intensamente quanto à mobilidade de B, podendo classificá-las em espécies em que a redistribuição do micronutriente é restrita e espécies em que o B é altamente móvel (BROWN & SHELPS, 1997).

A redistribuição de B nas plantas de tomate e beterraba foi pouco estudada até o momento. Esta distribuição de nutrientes pode ser explicada em termos de retranslocação, que tem sido associado de várias maneiras: na taxa de concentração em partes jovens

para velhas, frutos e folhas e em exsudado de floema e xilema; aplicação foliar de isótopos (SHELP, 1993). Alguns trabalhos relatam que a retranslocação do boro está relacionado com o decréscimo da concentração do boro em folhas maduras como é o caso em brócolis (SHELP, 1988). BELLALLOUI & BROWN (1998), estudando a distribuição do boro em duas cultivares de tomate, cv. Brittle suscetível a deficiência de B e cv. Rutgers tolerante a deficiência de B, verificaram que a cv. Brittle apresentou maior restrição na translocação do ^{10}B em relação a cv. Rutgers.

A redistribuição de B ocorre nas espécies que produzem polióis, pois formam complexos poliol-B-poliol nos tecidos fotossintéticos e estes são transportados pelo floema até os drenos ativos, como meristemas vegetativos e reprodutivos (BROWN & HU, 1994; HU et al., 1997). Os polióis são açúcares simples, como o sorbitol, manitol e dulcitol, e estão presentes em alguns vegetais, como determinado por ZIMMERMANN & ZIEGLER (1975).

Para atender as exigências das plantas, o boro tem sido suplementado continuamente durante a vida da planta, especialmente através das raízes. Entretanto, ultimamente as aplicações foliares têm sido muito divulgadas. Por esta razão, o conhecimento da fisiologia especialmente referente a absorção e mobilidade deste nutriente é essencial para garantir a máxima eficiência das práticas de adubação.

Tendo em vista o exposto, fica evidente a importância do boro nas hortaliças e a carência de pesquisas sobre o assunto referente a sua mobilidade na planta, podendo-se inferir que o conhecimento da dinâmica do boro, nestas culturas, pode traduzir-se em benefícios para o manejo eficiente da adubação boratada e, conseqüentemente, em maior produção e qualidade dos produtos agrícolas.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA EXPERIMENTAL

Os experimentos foram realizados na Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – UNESP, Jaboticabal, SP, localizada geograficamente a 21° 15' 22" de latitude sul e 48° 18' 58" de longitude Oeste, altitude de 605m, na região norte do Estado de São Paulo, temperatura média anual de 21°C. Foram instalados experimentos, com as culturas do tomate (cv. Raísa N) e da beterraba (cv. Tall Top Early Wonder), cultivado em solução nutritiva e em ambiente protegido.

3.2 Experimentos

3.2.1 Experimento 1 – Omissão de boro em plantas de tomate e beterraba

Neste experimento, avaliaram-se os efeitos da omissão de boro sobre desenvolvimento e nutrição de plantas de tomate e de beterraba cultivadas em solução nutritiva. As sementeiras das hortaliças foram realizadas em 31 de março de 2007 para a beterraba e 02 de julho de 2007 para tomate, em espuma fenólica. Após 10 dias de emergência, as mudas de beterraba (14-04-2007) e tomate (18-07-2007) foram levadas para canais de polipropileno de 5 cm de largura com solução nutritiva de HOAGLAND & ARNON (1950), sem boro, e com 25% da concentração dos nutrientes, em sistema hidropônico do tipo "nutrient film technique" (NFT), com recirculação da solução nutritiva. As plântulas de tomate e beterraba permaneceram nesta condição por treze e sete dias, respectivamente, quando metade das mudas foi transplantada para vasos de plástico com capacidade de 2,5 L para a beterraba e 5,0 L para o tomate (1 planta por vaso), contendo solução nutritiva completa e a outra metade em solução sem B. No momento do transplântio, realizou-se a lavagem do sistema radicular e da espuma fenólica com

água destilada. As plantas foram espaçadas em 0,20 x 0,15 m para beterraba e 1,00 x 0,50 m para o tomate na linha e entrelinha, respectivamente.

Utilizou-se o delineamento de blocos ao acaso, em parcelas subdivididas no tempo, com quatro repetições. Foram avaliadas nas parcelas duas soluções nutritivas de HOAGLAND & ARNON (1950), com 0,5 mg L⁻¹ e sem B e nas subparcelas os estádios de desenvolvimento (épocas de amostragem) quanto ao acúmulo de matéria seca e crescimento. Para tomate: o primeiro estágio (0-33 dias após o transplante DAT), caracterizado por crescimento lento, pequeno acúmulo de matéria seca em relação ao total acumulado no final do ciclo; o segundo estágio (34-72 DAT), caracterizado por rápido incremento de matéria na parte aérea e início do amadurecimento do primeiro fruto do primeiro cacho; e o terceiro estágio (73-101 DAT), caracterizado por início do amadurecimento do primeiro fruto do segundo cacho. Para beterraba: o primeiro estágio (0-25 DAT), caracterizado por crescimento lento (pré-formação da raiz tuberosa), pequeno acúmulo de matéria seca em relação ao total acumulado no final do ciclo; o segundo estágio (26-50 DAT), caracterizado por rápido incremento de matéria seca na parte aérea e acúmulo de reservas no hipocótilo; e o terceiro estágio (51-78 DAT), caracterizado por grande acúmulo de massa no hipocótilo e diminuição no crescimento da parte aérea.

Durante a execução do experimento foi feito o monitoramento do pH e da condutividade elétrica da solução nutritiva e, quando necessário, foi realizado a correção do pH da solução, mantendo-o entre 5,0 e 6,5. Quando condutividade elétrica atingiu aproximadamente 60% do valor inicial, foi feita a reposição de nutrientes à solução, por meio de uma solução estoque, até a condutividade elétrica atingir valor igual ao inicial (1,5 dS m⁻¹). A solução nutritiva foi constantemente aerada com ar comprimido e a cada 15 dias foi renovada.

Em cada estágio do desenvolvimento (épocas de amostragem), as plantas de tomate foram divididas em: caule, folha, fruto e raiz; e para as de beterraba; folha, raiz tuberosa e raiz absorvente. O teor total de B nos diferentes órgãos foi determinado pelo método da azometina-H em extrato obtido por digestão via seca (TEDESCO et al., 1995).

Avaliaram-se: a) para tomate: a altura, número de folhas e diâmetro do caule a cada dez dias do transplântio até a colheita. Na colheita, determinaram-se a matéria seca da folha, caule, frutos e raiz, área foliar, classificação dos frutos, número de frutos, matéria fresca dos frutos, matéria seca planta inteira e índice de colheita; b) para beterraba: a altura e o número de folhas a cada dez dias do transplântio até a colheita. Na colheita, determinaram-se a matéria seca da folha, raiz tuberosa e absorvente, matéria fresca da raiz tuberosa, área foliar, matéria seca planta inteira e índice de colheita. Para obtenção das matérias secas em diferentes partes das plantas, os materiais vegetais obtidos foram submetidos à lavagem (água corrente, solução detergente a 3 mL L⁻¹, água corrente, solução HCl a 0,1 mol L⁻¹ e água destilada, respectivamente), e secos em estufa com circulação forçada de ar, a 65°C. Com os resultados obtidos da matéria seca nos diferentes órgãos da planta e teor de boro calculou-se o acúmulo do micronutriente.

Para a classificação dos frutos de tomate o diâmetro dos frutos foi medido com paquímetro digital. De acordo com o maior diâmetro transversal do fruto, o tomate foi classificado em quatro classes: gigante ($\varnothing > 100$ mm), grande ($90 < \varnothing < 100$ mm), médio ($65 < \varnothing < 90$ mm) e pequeno ($50 < \varnothing < 65$ mm) (CEAGESP, 2004).

Salienta-se, ainda, que realizou-se monitoramento das plantas ao longo do cultivo para caracterização de sintomas visuais de desordem nutricional.

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância (teste F) pelo “software” SAEG (2000). Quando significativo, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey no nível de 5% de probabilidade.

3.2.2 Experimento 2 – Doses de boro via foliar, no desenvolvimento e teor de B de plantas de tomate e beterraba

Neste experimento, avaliaram-se o efeito da aplicação de boro nas folhas sobre desenvolvimento e nutrição de plantas de tomate e de beterraba. As semeaduras das hortaliças foram realizadas em 31 de julho de 2006 para beterraba e 11 de abril de 2007 para o tomate em espuma fenólica. Após 15 e 10 dias de emergência, as mudas de beterraba (15-08-2006) e de tomate (21-04-2007) foram levadas para canais de

polipropileno de 5 cm de largura com solução nutritiva de HOAGLAND & ARNON (1950), sem boro e com 25% da concentração dos nutrientes, em sistema hidropônico do tipo “nutrient film technique” (NFT), com recirculação da solução nutritiva. As plântulas de tomate e de beterraba permaneceram nesta condição por sete e 15 dias, respectivamente, quando foram transplantadas para vasos de plástico com capacidade de 10 e 5 dm³, contendo areia lavada, que apresentava 1% areia muito fina (fração obtida por diferença), 20% de fina (malha de 0,105 mm de abertura), 47% média (malha de 0,250 mm de abertura), 26% grossa (malha de 0,50 mm de abertura) e 6% muito grossa (malha de 1,00 mm de abertura). Para a lavagem da areia adotou-se a seguinte metodologia: a areia foi lavada com água corrente em uma peneira fina em seguida a areia foi colocada em uma caixa com capacidade de 500L contendo solução de HCl 0,5 mol L⁻¹ para eliminar algum resíduo de matéria orgânica e permaneceu na solução por 24 horas; em seguida, foi lavada com três águas para retirar o excesso de HCl. As plantas de tomate foram espaçadas em 1,00 x 0,50 m e as de beterraba em 0,20 x 0,15 m, e foram fertirrigadas diariamente com solução nutritiva de HOAGLAND & ARNON (1950), com omissão de boro. Foram instalados dois gotejadores por vaso para o fornecimento de solução nutritiva.

Utilizou-se o delineamento de blocos ao acaso, com cinco tratamentos e quatro repetições, sendo a unidade experimental constituída por um vaso com uma planta. Os tratamentos consistiram da concentração de B (0; 0,085; 0,170; 0,255 e 0,340 g L⁻¹ de B), via foliar. Como fonte de boro, utilizou-se o ácido bórico, com 17% de B. As aplicações foliares de boro foram realizadas aos 20; 40 e 60 dias após o transplante (DAT) para o tomateiro e aos 20; 35 e 50 DAT para a beterraba, utilizando-se pulverizador manual de um litro de capacidade. A quantidade de solução aplicada foi definida por um teste em branco (solução de água e espalhante adesivo) realizado um dia antes de cada época preestabelecida para as pulverizações de boro. Foram fornecidas 5,7; 7,3 e 9,1 mL por planta para a beterraba e 8,4; 20,3 e 22,1 mL por planta da solução de ácido bórico para o tomate, respectivamente, na primeira, na segunda e na terceira pulverização. Esse procedimento de padronização do volume de solução foi necessário para garantir a quantidade de boro dos tratamentos e proporcionar boas coberturas foliares. Foi utilizado espalhante adesivo Agral®, na dose de 0,3 mL L⁻¹ de água. A parte superior dos vasos foi devidamente protegida, com jornal, para que a solução aplicada via foliar não

contaminasse o substrato e houvesse absorção radicular do nutriente. Além disso, tomou-se o cuidado em proteger as plantas ao lado de outros tratamentos, com lona plástica, para impedir a contaminação das mesmas. Durante a execução do experimento, foram realizadas pulverizações com Decis® (Deltramitrina, na dose de 0,8 mL por 20L), Actara® (Tiametoxan, na dose de 4g por 20L) e Mospilan® (Acetamiprid na dose de 5g por 20L) para o controle de pragas, e Amistar® (Azoxistrobin, na dose de 3g por 20L) e Ridomil® (Metalaxil-M, na dose de 60g por 20L) para o controle de doenças, cercospora e requeima, respectivamente.

As plantas de tomate foram conduzidas com duas hastes e tutoradas com o uso de fitilho e arame. O substrato foi mantido com o teor de umidade sempre próximo da capacidade máxima de retenção. A fertirrigação foi suspensa no início da drenagem da solução nutritiva nos vasos, a fim de reduzir as perdas de nutrientes.

A última colheita de tomate e a colheita da beterraba foram realizadas aos 154 e 58 DAT, respectivamente. As características avaliadas por planta foram: a) para tomate: altura, número de folhas, diâmetro do caule, número de frutos, classificação dos frutos, área foliar, matéria fresca dos frutos, matéria seca da folha, caule, frutos, raiz e planta inteira; b) para beterraba: altura, número de folhas, área foliar, matéria fresca da raiz tuberosa, matéria seca da folha, raiz tuberosa, raiz absorvente e planta inteira. Determinou-se o teor de boro, pelo método da azometina-H em extrato obtido por digestão via seca (TEDESCO et al., 1995).

Para a classificação dos frutos de tomate o diâmetro dos frutos foi medido com paquímetro digital. De acordo com o maior diâmetro transversal do fruto, o tomate foi classificado em quatro classes: gigante ($\varnothing > 100$ mm), grande ($90 < \varnothing < 100$ mm), médio ($65 < \varnothing < 90$ mm) e pequeno ($50 < \varnothing < 65$ mm) (CEAGESP, 2004).

Os materiais vegetais foram submetidos à lavagem e secos conforme procedimentos descritos no item 3.2.1.

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância (teste F) pelo “software” SAEG (2000). Quando significativo, os dados foram submetidos à análise de regressão sendo os modelos das equações escolhidos com base na significância dos coeficientes de regressão, nos coeficientes de determinação e no fenômeno biológico que apresente explicação coerente.

3.2.3 Experimento 3 – Tempo de absorção de boro, aplicada via foliar, em plantas tomate e beterraba

Neste experimento, avaliaram-se o efeito do tempo de absorção do boro aplicado via foliar sobre desenvolvimento e nutrição de plantas de tomate e de beterraba. As sementeiras das hortaliças foram realizadas em 03 de julho de 2007 para a beterraba e 04 de março de 2008 para o tomate em espuma fenólica.

Após 15 e 16 dias de emergência, as mudas de beterraba (18-07-2007) e de tomate (20-03-2008) foram levadas para canais de polipropileno de 5 cm de largura com solução nutritiva de HOAGLAND & ARNON (1950), sem boro, com 25% da concentração de nutrientes, em sistema hidropônico do tipo “nutrient film technique” (NFT), com recirculação da solução nutritiva. As plântulas de tomate e de beterraba permaneceram nesta condição por oito e 13 dias, respectivamente, quando foram transplantadas para vasos plásticos com capacidade de 10 dm³, contendo areia lavada, que apresentava 1% de areia muito fina (fração obtida por diferença), 20% de fina (malha de 0,105 mm de abertura), 47% média (malha de 0,250 mm de abertura), 26% grossa (malha de 0,50 mm de abertura) e 6% muito grossa (malha de 1,00 mm de abertura). Para a lavagem da areia adotou-se a seguinte metodologia: a areia foi lavada com água corrente em uma peneira fina em seguida a areia foi colocada em uma caixa contendo solução de HCl 0,5 mol L⁻¹ para eliminar algum resíduo de matéria orgânica e permaneceu na solução por 24 horas, em seguida foi lavada em três águas para retirar o excesso de HCl. As plantas foram espaçadas em 1,00 x 0,50 m no tomate e 0,20 x 0,15 m na beterraba e fertirrigadas diariamente com solução nutritiva de Hoagland & Arnon (1950), com omissão de boro. Foram instalados dois gotejadores por vaso para o fornecimento de solução nutritiva.

Utilizou-se o delineamento de blocos ao acaso. Os tratamentos foram distribuídos em parcelas subdivididas no tempo, com 14 tratamentos e dez repetições. Nas parcelas foram avaliados duas doses de B 0 e 0,340 g para o tomate e 0 e 0,100 g para beterraba. Como fonte de boro, utilizou-se o ácido bórico, com 17% de B. Nas subparcelas sete épocas de amostragem da planta (3, 6 e 12 h; 1, 5, 15 e 30 dias). A aplicação foliar de boro foi realizada aos 20 para o tomateiro e 30 dias após o transplante (DAT) para a

beterraba, utilizando-se pulverizador manual de um litro de capacidade. A quantidade de solução aplicada foi definida por um teste em branco (solução de água e espalhante adesivo) realizado um dia antes de cada época preestabelecida para as pulverizações de boro. Foram fornecidas por planta 9,5 mL para o tomate e 6,3 mL de solução de ácido bórico para a beterraba. Esse procedimento de padronização do volume de solução foi necessário para garantir a quantidade de boro dos tratamentos e proporcionar boas coberturas foliares. Foi utilizado espalhante adesivo Agral, na dose de 0,3 mL L⁻¹ de água. A parte superior dos vasos foi devidamente protegida, com jornal, para que a solução aplicada via foliar não contaminasse o substrato e houvesse absorção radicular do nutriente. Além disso, tomou-se o cuidado em proteger as plantas ao lado de outros tratamentos, com lona plástica, para impedir a contaminação das mesmas. Durante a execução dos experimentos, foram realizadas pulverizações com Decis® (Deltramitrina, na dose de 0,8 mL por 20L), Actara® (Tiametoxan, na dose de 4g por 20L) e Mospilan® (Acetamiprid na dose de 5g por 20L) para o controle de pragas, e Amistar® (Azoxistrobin, na dose de 3g por 20L) e Ridomil® (Metalaxil-M, na dose de 60g por 20L) para o controle de doenças, cercospora e requeima, respectivamente.

Foi realizada uma amostragem de plantas antes da pulverização, que correspondeu à época zero hora (condição pré-aplicação).

A variação do teor de B foi avaliada pela amostragem das folhas nas épocas de (3, 6 e 12 h; 1, 5, 15 e 30 dias). As plantas da época zero hora foram utilizadas para comparação da variação do teor de B (3, 6 e 12 h e 1 dia) e foram mantidas duas plantas sem aplicação de B nos tempos de 5, 15 e 30 dias, para comparação da variação do teor de B nestas épocas descritas anteriormente, uma vez que o teor de B varia com o decorrer do tempo.

As plantas de tomate foram conduzidas com duas hastes e tutoradas com o uso de fitilho e arame. O substrato foi mantido com o teor de umidade sempre próximo da capacidade máxima de retenção. A fertirrigação foi suspensa no início da drenagem da solução nutritiva nos vasos, a fim de reduzir as perdas de nutrientes.

As características avaliadas por planta foram: a) para tomate: altura, número de folhas, diâmetro do caule, área foliar, matéria seca da folha, caule, frutos, raiz e planta inteira; b) para beterraba: altura, número de folhas, área foliar, diâmetro da raiz tuberosa,

matéria fresca da raiz tuberosa, matéria seca da folha, raiz tuberosa, raiz absorvente e planta inteira; Determinou-se o teor de boro, pelo método da azometina-H em extrato obtido por digestão via seca (TEDESCO et al., 1995).

Os materiais vegetais foram submetidos à lavagem e secos conforme procedimentos descritos no item 3.2.1.

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância (teste F) pelo “software” SAEG (2000) conforme procedimentos descritos no item 3.2.2.

3.2.4 Experimento 4 - Absorção foliar e radicular de B

Neste experimento, avaliaram-se a translocação e a redistribuição do boro nas plantas de tomate e beterraba. A semeadura das hortaliças foi realizada em 04 de março de 2008, em espuma fenólica, para as culturas de tomate cv. Raísa N e de beterraba cv. Tall Top Early Wonder. Após 7 e 8 dias de emergência, as mudas de tomate (10-03-2008) e de beterraba (11-03-2008) foram levadas para canais de polipropileno de 5 cm de largura com solução nutritiva de HOAGLAND & ARNON (1950), sem boro, com 25% da concentração dos nutrientes, em sistema hidropônico do tipo “nutrient film technique” (NFT), com recirculação da solução nutritiva. As plântulas de tomate e de beterraba permaneceram nesta condição por 28 e 30 dias, respectivamente, quando foram transplantadas para vasos de 10 dm³, substratos à base de fibra de coco. Nesta mesma época, as plantas foram submetidas aos tratamentos, conforme Tabela 1, disposto em delineamento inteiramente casualizado em cinco repetições.

Tabela 1. Descrição dos tratamentos no experimento.

Tratamentos	Substrato	Parte Aérea
1.	Adubação com solução nutritiva completa sem B	Sem adubação foliar
2.	Adubação com solução nutritiva completa sem B	Adubação foliar (¹⁰ B) ¹
3.	Adubação com solução nutritiva completa com B ²	Adubação foliar (¹⁰ B)
4.	Adubação com solução nutritiva completa com ¹⁰ B	Sem adubação foliar

¹ Ácido bórico enriquecido em ¹⁰B; ² Ácido bórico normal.

As plantas foram pulverizadas com solução contendo ^{10}B na concentração de B de $0,340 \text{ g L}^{-1}$. A dose de boro utilizada foi obtida em um experimento preliminar no qual avaliaram-se diferentes concentrações de B aplicado nas folhas de tomate e beterraba, então se optou por concentração de B ($0,340 \text{ g L}^{-1}$ de B) maior do que a recomendada por TRANI et al. (1997) ($0,170 \text{ g L}^{-1}$ de B). Isto porque, caso a quantidade de ^{10}B mobilizada para os órgãos das plantas que não receberam adubação fosse menor que o limite de detecção do equipamento, não seria possível determinar variações na abundância isotópica dessas partes das plantas. Então, quanto maior fosse a quantidade de B aplicada nas folhas das plantas de tomate e beterraba, maior seria a quantidade de B nas partes das plantas que não receberam solução marcada, sem provocar riscos de toxicidade nas plantas.

Nos tratamentos 2 e 3, a adubação foliar foi realizada no final da tarde aos 20 dias após o transplante (DAT), por meio de pulverizador manual de um litro de capacidade. A quantidade de solução aplicada foi definida por um teste em branco (solução de água e espalhante adesivo) realizado um dia antes de cada época preestabelecida para as pulverizações de boro. Foram fornecidas por planta 10 mL para o tomate e 7 mL para a beterraba de solução contendo a concentração de $0,340 \text{ g L}^{-1}$ de B. Por meio de pesagens dos vasos, com uma planta, antes e após a adubação foliar, foi obtida a quantidade de solução efetivamente depositada na planta inteira. Em cada planta, aplicou-se em média 2,0 e 1,5 gramas de solução contendo ^{10}B , respectivamente, para tomate e beterraba.

Nos tratamentos 3 e 4, a solução nutritiva completa, com B na concentração de $0,5 \text{ mg L}^{-1}$, foi aplicada no substrato comercial parcelada em três vezes (10, 15 e 20 DAT). Para os demais nutrientes, a solução nutritiva foi utilizada conforme indicação de HOANGLAD & ARNON (1950).

Foi utilizado espalhante adesivo Agral®, na dose de $0,3 \text{ mL L}^{-1}$ de água. A parte superior dos vasos foi devidamente protegida, para que a solução aplicada via foliar não contaminasse o substrato e houvesse absorção radicular do nutriente. Além disso, tomou-se o cuidado em proteger as plantas ao lado, com lona plástica, para impedir a contaminação das mesmas. Durante a condução dos experimentos, foram realizadas pulverizações com Decis® (Deltramitrina, na dose de 0,8 mL por 20L), Actara®

(Tiametoxan, na dose de 4g por 20L) e Mospilan® (Acetamiprid na dose de 5g por 20L) para o controle de pragas, e Amistar® (Azoxistrobin, na dose de 3g por 20L) e Ridomil® (Metalaxil-M, na dose de 60g por 20L) para o controle de doenças, cercospora e requeima, respectivamente.

Após 40 dias da adubação foliar, quando as plantas emitiram novas folhas, foram feitas as coletas das plantas, separando-se em: parte velha (caule e/ou folha da planta existente no momento da adubação foliar que receberam ^{10}B); parte nova (caule e/ou folha desenvolvidas após a aplicação de ^{10}B). Cada uma das partes foi separada em haste/caule e folhas e submetida à lavagem com água destilada. As que receberam a solução marcada foram lavadas, conforme indicação de BOARETTO et al. (2004), sendo seqüencialmente, com chumaços de algodão embebidos em solução detergente a 1 mL L^{-1} , água destilada, solução de HCl $0,3\text{ mol L}^{-1}$ e, novamente, com água destilada, para retirar todo o micronutriente que não foi absorvido e que ficou na superfície do tecido vegetal.

Nos experimentos, o teor total de B nas diferentes partes da planta foi determinado, obtendo-se o extrato por via seca, fazendo-se a quantificação pelo método da azometina-H (TEDESCO et al., 1995). As amostras (folhas) com os tratamentos com ^{10}B , foram analisadas no Laboratório de Nutrição Mineral de Plantas do CENA/USP, em Piracicaba-SP. Para a determinação da razão isotópica ($^{11}\text{B}/^{10}\text{B}$) do material vegetal amostrado, os extratos ácidos obtidos na quantificação do B total, quando necessário, foram diluídos em água purificada ($18,2\text{ M}\Omega\text{cm}$ em sistema milli-Q) para aproximadamente $0,3\text{ mg kg}^{-1}$ de B, e levados para o ICP-MS. Onde foram determinadas as razões isotópicas, conforme metodologia descrita por BELLATO (1999).

Na quantificação da razão isotópica de B foram realizadas, nas amostras, leituras nos sinais de razões massa/carga (m/z) 10 e 11, e a integração da área do pico de cada sinal, representam o número de contagem na razão m/z . Devido às discriminações de massas que podem ocorrer no equipamento durante as análises. Os valores obtidos nas leituras de amostras de plantas que foram tratadas com o composto enriquecido em ^{10}B (99%) foram corrigidos pelos valores de leituras obtidas no mesmo tecido, de plantas que não receberam o composto marcado. Pelo número de contagens obtidas nos picos e com as correções dos valores com as amostras das plantas do controle é possível determinar a

razão entre os isótopos ^{11}B e ^{10}B e quantificar a porcentagem de B na planta proveniente da solução aplicada nas folhas ou no substrato (%Bppf).

Para os cálculos da %Bppf (Porcentagem de boro na planta proveniente ou derivado do fertilizante), usou-se da equação I (TRIVELIN, 2000), utilizada em estudos com nitrogênio marcado ^{15}N . Sendo % Bppf igual à quantidade de átomos (at.) ^{10}B na amostra (analisada no ICP-MS), menos a quantidade de átomos ^{10}B natural; dividida pela quantidade de átomos ^{10}B do fertilizante (99,00%) menos a quantidade de átomos ^{10}B natural, em porcentagem.

$$\% \text{ B}_{\text{ppf}} = [(\text{at. } \%^{10}\text{B}_{\text{amostra}} - \text{at. } \%^{10}\text{B}_{\text{natural}}) / (\text{at. } \%^{10}\text{B}_{\text{adubo}} - \text{at. } \%^{10}\text{B}_{\text{natural}})] * 100 \quad (\text{Equação I})$$

Para o cálculo da concentração do B na planta proveniente do fertilizante utilizou-se da Equação II. Sendo que a concentração do Bppf é a %Bppf multiplicado pela concentração do nutriente na amostra e dividido por 100.

$$\text{mg kg}^{-1} \text{ Bppf} = (\% \text{ Bppf} * \text{mg kg}^{-1} \text{ de B}) / 100 \quad (\text{Equação II})$$

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Experimento 1 - Omissão de boro em plantas de tomate e beterraba

4.1.1 Tomate

a) Efeito dos tratamentos na altura das plantas, no diâmetro do caule e no número de folhas

Na análise de variância observou-se interação para todas as características avaliadas com exceção da altura, diâmetro do caule e número de folhas, mostrando que estas características se comportaram independentemente (Tabela 2).

Tabela 2. Resumo da análise de variância (valores de F e CV) para as variáveis: Área foliar (AF), altura das plantas, (ALT), diâmetro do caule (DC), número de folhas (NF), matéria seca da folha (MSF), caule (MSC) e raiz (MSR), número de frutos (NFR), classificação dos frutos (CLAS), matéria fresca (MFFR) e seca (MSFR) do fruto, matéria seca da planta inteira (MSP) e índice de colheita (IC), nos tratamentos com e sem boro na solução nutritiva e em diferentes estádios de desenvolvimento em plantas de tomate. Jaboticabal – SP, 2007

Fontes de variação	AF	ALT	DC	NF	MSF	MSC	MSR	NFR	CLAS	MFFR	MSFR	MSP	IC
Com e Sem B (B)	197,85**	115,17**	219,81**	317,39**	34,81**	32,15**	73,99**	34,30**	61,93**	30,12**	68,27**	64,32**	46,68**
Estádio (E)	3354,08**	0,06 ^{ns}	3,71 ^{ns}	3,42 ^{ns}	857,17**	589,01**	561,77**	30,90**	3493,18**	103,68**	132,97**	764,43**	165,52**
B x E	55,37**	0,04 ^{ns}	1,97 ^{ns}	2,43 ^{ns}	10,02**	6,93**	17,05**	11,83**	17,25**	8,09**	22,50**	22,70**	12,21**
CV (%)	3,9	16,0	5,9	7,4	6,7	8,6	10,0	47,4	4,1	25,3	21,4	7,7	19,1

*, ** e ns: respectivamente significativo e não-significativo a 5 e 1% de probabilidade, pelo teste 'F'.

Verificou-se para altura das plantas, diâmetro do caule e número de folhas que o efeito dos tratamentos com e sem boro foram semelhantes durante os estádios de desenvolvimento. A omissão de boro na solução nutritiva apresentou menor altura (4%), diâmetro do caule (11%) e número de folhas (13%) em relação ao tratamento com boro (Tabela 3), entretanto, não se observou sintomas visuais de deficiência nas plantas. A ausência dos sintomas de deficiência de boro pode ser explicada pela capacidade da água em fornecer quantidades suficientes de boro durante o crescimento da planta e o baixo requerimento da cultura (SHORROCKS, 1997).

Tabela 3. Altura (ALT), diâmetro do caule (DC) e número de folhas (NF) de tomate em cultivos com e sem boro na solução nutritiva (médias de três estádios de desenvolvimento).

Boro na solução nutritiva	ALT (cm)	DC (mm)	NF
Com Boro	110,88a	8,72a	21,69a
Sem Boro	106,65b	7,85b	19,21b

Médias com letras diferentes na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

b) Efeito dos tratamentos na área foliar, no índice de colheita, na classe e no número de frutos e na produção de matéria seca

Observou-se que ocorreu acúmulo de matéria seca durante todos os períodos, porém estes acúmulos foram maiores no segundo e terceiro estádios. Observa-se ainda que o maior acúmulo de matéria seca durante o terceiro estágio ocorreu nas partes reprodutivas das plantas (frutos). A omissão de boro na solução nutritiva apresentou menor área foliar e menor produção de matéria seca em relação ao tratamento com boro (Tabela 4). Além de essas características terem sido afetadas pela omissão do elemento, observou-se sintomas visuais de deficiência durante a fase reprodutiva, principalmente a partir do segundo estágio de desenvolvimento (34-72 DAT).

No primeiro estágio de desenvolvimento (0-33 DAT), observou-se que não houve diferença significativa nas variáveis de crescimento vegetativo, como área foliar (AF), matéria seca da folha (MSF), caule (MSC), raiz (MSR) e planta inteira (MSP) quando se omitiu o boro na solução nutritiva. No segundo (34-72 DAT) e terceiro (73-101 DAT) estágio de desenvolvimento verificou-se que todas as características avaliadas apresentaram diferença significativa quando o boro foi omitido na solução nutritiva (Tabela 4). A omissão

do B provocou menor crescimento, pois o micronutriente tem função importante no metabolismo, uma vez que MELO & LEMOS (1991) relataram que a deficiência de boro prejudica o transporte e a ação dos reguladores de crescimento, além de provocar distúrbios no desenvolvimento da planta.

Observou-se que a matéria seca das raízes das plantas de tomateiro cultivadas em solução nutritiva com omissão de B, apresentou diferença significativa no desenvolvimento do sistema radicular a partir do 2º estágio de desenvolvimento. O fato de a deficiência de boro não externar no primeiro estágio de desenvolvimento está relacionado às suas funções de modo que o boro participa mais ativamente na fase reprodutiva (MARSCHNER, 1995) e também a pequena demanda nesta fase do desenvolvimento. A restrição no crescimento do sistema radicular é um dos sintomas mais evidentes da deficiência de B, pois LUKASZEWSKI & BLEVINS (1996) verificaram o menor suprimento de boro para as plantas resultou na diminuição do comprimento das raízes.

A matéria fresca (MFFR) e seca (MSFR) dos frutos apresentou incremento de 44 e 31% do segundo para o terceiro estágio, diferindo estatisticamente no tratamento com boro. Quando o boro foi omitido, o incremento foi de 49 e 17% do segundo para o terceiro estágio nas MFFR e MSFR, respectivamente. A omissão do B apresentou menor produção de matéria seca, pois o micronutriente tem função importante na fase de produção dos frutos, o qual foi observado por UDDIN et al. (2003), trabalhando com pimenta em diferentes doses boro (0; 1,5 e 2,5 kg ha⁻¹) no solo, verificaram maior produção dos frutos em relação à omissão do nutriente.

Verificou-se diferença significativa entre os tratamentos com e sem boro, com incrementos de 83 e 100% para o segundo estágio de desenvolvimento e 76 e 124%, para o terceiro estágio de desenvolvimento, mediante o cultivo em solução com B (Tabela 4). A omissão do B apresentou menor produção dos frutos, pois o micronutriente participa mais ativamente na fase reprodutiva, o qual foi observado por GUPTA & MUNRO (1969) utilizando a concentração de 2 mg L⁻¹ de B verificaram maior produção em relação à omissão do nutriente.

Tabela 4. Área foliar (AF), matéria seca da folha (MSF), caule (MSC), raiz (MSR), número de frutos (NFR), classificação dos frutos (CLAS), matéria fresca (MFFR) e seca do fruto (MSFR), matéria seca planta inteira (MSP) e índice de colheita (IC), nos tratamentos com e sem boro na solução nutritiva e em diferentes estádios de desenvolvimento em plantas de tomate.

Tratamentos	Estádio 1 ⁽¹⁾	Estádio 2	Estádio 3
		AF (cm ²)	
Com Boro	555,69Ac	2849,75Ab	5337,02Aa
Sem Boro	536,03Ac	2188,44Ba	4233,24Ba
		MSF (g por planta)	
Com Boro	6,82Ac	36,34Ab	47,13Aa
Sem Boro	6,60Ac	27,74Bb	42,42Ba
		MSC (g por planta)	
Com Boro	4,69Ac	37,37Ab	45,27Aa
Sem Boro	4,26Ac	29,02Bb	38,24Ba
		MSR (g por planta)	
Com Boro	1,19Ac	3,61Ab	8,37Aa
Sem Boro	1,02Ac	2,18Bb	6,03Ba
		NFR (por planta)	
Com Boro	-(³)	14,75Ab	26,00Aa
Sem Boro	-	5,25Ba	6,00Ba
		CLAS (mm)	
Com Boro	-	63,53Aa	63,78Aa
Sem Boro	-	54,03Bb	57,38Ba
		MFFR (g por planta)	
Com Boro	-	823,31Ab	1184,58Aa
Sem Boro	-	449,67Ba	671,95Ba
		MSFR (g por planta)	
Com Boro	-	41,51Ab	54,48Aa
Sem Boro	-	20,75Ba	24,36Ba
		MSP (g por planta)	
Com Boro	12,63Ac	106,66Ab	149,97Aa
Sem Boro	12,02Ac	88,66Bb	107,93Ba
		IC ⁽²⁾	
Com Boro	-	0,39Aa	0,36Aa
Sem Boro	-	0,23Ba	0,22Ba

Média com mesma letra maiúscula na coluna e minúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. ⁽¹⁾Estádio 1: 0-33; Estádio 2: 34-72 e Estádio 3: 73-101 dias após transplantio das plantas para solução nutritiva, ⁽²⁾IC = matéria seca raiz/matéria seca planta, ⁽³⁾Variável não avaliada devido ausência do órgão na planta.

O número de frutos (NFR) apresentou incremento no tratamento com boro de 76% do segundo para o terceiro estágio de desenvolvimento. Verificou-se diferença significativa entre os tratamentos com e sem boro, com incrementos de 181 e 333% no segundo e terceiro estágio de desenvolvimento. Nota-se que o maior prejuízo da omissão do boro ocorreu para o número de frutos, daí o nutriente seria mais importante na fase reprodutiva, possivelmente, na fecundação das flores o qual foi observado por UDDIN et al. (2003), trabalhando com pimenta em diferentes doses boro (0; 1,5 e 2,5 kg ha⁻¹) no solo, verificaram maior número de frutos em relação à omissão do nutriente.

A classificação dos frutos (CLAS) apresentou incremento de 0,4% do segundo para o terceiro estágio, não diferindo estatisticamente no tratamento com boro. Quando o boro foi omitido, houve diferença significativa com incremento de 6,2% do segundo para o terceiro estágio de desenvolvimento. Nos tratamentos com e sem boro verificou-se diferença significativa e incremento de 18 e 11% no segundo e no terceiro estágio de desenvolvimento (Tabela 4).

As matérias secas das folhas (MSF) e caule (MSC) apresentaram incremento de 591 e 865% do primeiro para o terceiro estágio de desenvolvimento, respectivamente, no tratamento com boro. Quando o boro foi omitido, houve diferença significativa com incremento de 543 e 798%, respectivamente. Nos tratamentos com e sem boro verificou-se diferença significativa de 31; 29 e 11; 18%, respectivamente, no segundo e terceiro estágio de desenvolvimento.

A matéria seca da planta inteira (MSP) incrementou com adição de boro na solução nutritiva em 5, 20 e 39%, respectivamente no primeiro (0-33 DAT), segundo (34-72 DAT) e terceiro estágio (73-101 DAT) em relação à omissão de boro na solução. Houve aumento significativo MSP entre os estádios de desenvolvimento nos tratamentos com B de 1.087% e sem B de 798% dos 33 aos 101 DAT (Tabela 4).

c) Efeito dos tratamentos na concentração e no acúmulo de boro

A concentração de B nas folhas foi maior que a concentração do elemento em outras partes da planta. Observou-se que o teor de B nas folhas foi de 92, 188 e 186 mg kg⁻¹, respectivamente, para primeiro, segundo e terceiro estágio de desenvolvimento, no tratamento com boro. Também se pode verificar que no mesmo tratamento, ocorreram diferenças significativas no teor de boro das plantas de tomateiro nos diferentes períodos (Tabela 5). Observou-se que durante todo o ciclo da planta, o teor de boro no tratamento com boro diferiu significativamente do tratamento sem boro, apresentando valores acima da faixa de 30 a 100 mg kg⁻¹, considerada ideal para o desenvolvimento do tomateiro, segundo TRANI & RAIJ (1997). Esta diferença pode ser explicada pelo fato que neste trabalho o teor de boro foi determinado nas folhas da planta inteira ao contrário de TRANI & RAIJ (1997) que foi na folha diagnose.

Tabela 5. Teor (TBF) e acúmulo de boro nas folhas (ACUBF), teor (TBC) e acúmulo no caule (ACUBC), teor (TBR) e acúmulo nas raízes (ACUBR) e teor (TBFR), acúmulo nos frutos (ACUBFR) e acúmulo na planta inteira (ACUMBT), nos tratamentos com e sem boro na solução nutritiva e em diferentes estádios de desenvolvimento em plantas de tomate.

Tratamentos	Estádio 1 ⁽¹⁾	Estádio 2	Estádio 3
		TBF (mg kg ⁻¹)	
Com Boro	92Ab	188Aa	186Aa
Sem Boro	48Ba	28Bb	27Bb
		ACUBF (mg)	
Com Boro	0,62Ac	5,19Ab	8,75Aa
Sem Boro	0,32Ab	1,02Ba	1,15Ba
		TBC (mg kg ⁻¹)	
Com Boro	57Aa	25Ab	27Ab
Sem Boro	47Ba	18Bb	17Bb
		ACUBC (mg)	
Com Boro	0,27Ac	0,73Ab	1,24Aa
Sem Boro	0,20Ab	0,70Aa	0,66Ba
		TBR (mg kg ⁻¹)	
Com Boro	66Aa	37Ab	47Aab
Sem Boro	43Ba	18Bb	15Bb
		ACUBR (mg)	
Com Boro	0,08Ab	0,08Ab	0,40Aa
Sem Boro	0,04Aa	0,07Aa	0,10Ba
		TBFR (mg kg ⁻¹)	
Com Boro	-(²)	28Aa	23Aa
Sem Boro	-	13Ba	11Ba
		ACUBFR (mg)	
Com Boro	-	0,66Ab	1,23Aa
Sem Boro	-	0,55Aa	0,23Bb
		ACUMBT (mg)	
Com Boro	0,9707Ac	6,6535Ab	11,6065Aa
Sem Boro	0,5596Ab	2,3250Ba	2,1240Ba

Média com mesma letra maiúscula na coluna e minúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. ⁽¹⁾Estádio 1: 0-33; Estádio 2: 34-72 e Estádio 3: 73-101 dias após transplantio das plantas para solução nutritiva, ⁽²⁾IVariável não avaliada devido ausência do órgão na planta.

Pelos resultados obtidos no experimento, foi possível calcular que o tomateiro absorveu aproximadamente 0,56 e 0,20 mg de B por kg de matéria seca da raiz, respectivamente, no tratamento com boro e sem boro, quando considerado todo o ciclo

(101 dias) (Tabela 5). O B absorvido teve partição diferentemente na planta: 64, 78 e 75%; 57, 44 e 54% nas folhas; 27, 11 e 11%; 36, 30 e 31% no caule; 8, 1 e 3%; 8, 3 e 4% nas raízes e 0, 10 e 11%; 0, 23 e 11% nos frutos, respectivamente, para os tratamentos com e sem B no primeiro, segundo e terceiro estágio de desenvolvimento (Figura 1). Pode-se observar que houve diferença na contribuição das folhas comparada aos outros órgãos, demonstrando que as folhas formam o principal órgão de acúmulo e armazenamento de B mesmo no período de frutificação quando os frutos são os drenos mais importantes.

O B absorvido da solução nutritiva foi transportado principalmente para as partes da planta de maior transpiração onde se encontrou de 97 a 96% do B absorvido no período, respectivamente, nos tratamentos com e sem B (Figura 2). Isto ocorreu porque o B absorvido pelas raízes foi transportado para a parte aérea da planta pelo fluxo transpiratório (xilema), e o nutriente se dirigiu principalmente para as partes da planta que estavam em maior atividade.

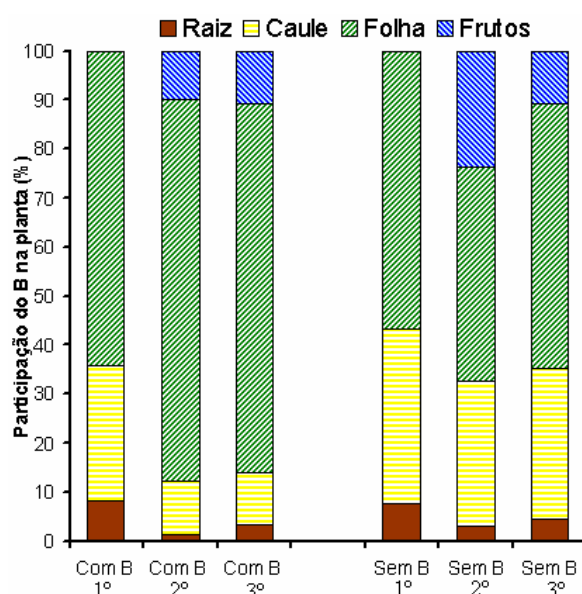


Figura 1. Participação do B nos órgãos do tomateiro (média dos tratamentos) no primeiro estágio (0-33), no segundo (34-72) e no terceiro estágio de desenvolvimento (73-101 dias após transplantio).

Ainda pela Figura 2, verificou-se que a participação do B no tomateiro variou de acordo com o estado nutricional das plantas, sendo maior nas plantas que foram conduzidas em solução com concentração adequada de B, do que nas plantas conduzidas em solução deficiente em B. Observa-se também que quanto maior foi o período de desenvolvimento das plantas em solução deficiente em B, menor foi a contribuição de B para as folhas, cerca

de 21% para o 1º estágio e de 8% para o 3º estágio de desenvolvimento. O tratamento com solução deficiente apresentou menor participação do boro nas folhas, provavelmente, em razão do nutriente ser fortemente dependente da disponibilidade do B celular, uma vez que HU & BROWN (1994) verificaram que o B está, principalmente, localizado na parede celular e a partição do nutriente é fortemente dependente da disponibilidade do B celular. Em condições limitantes de B, a quantidade do nutriente presente na parede celular representa no mínimo 95% a 96% do total B presente na célula.

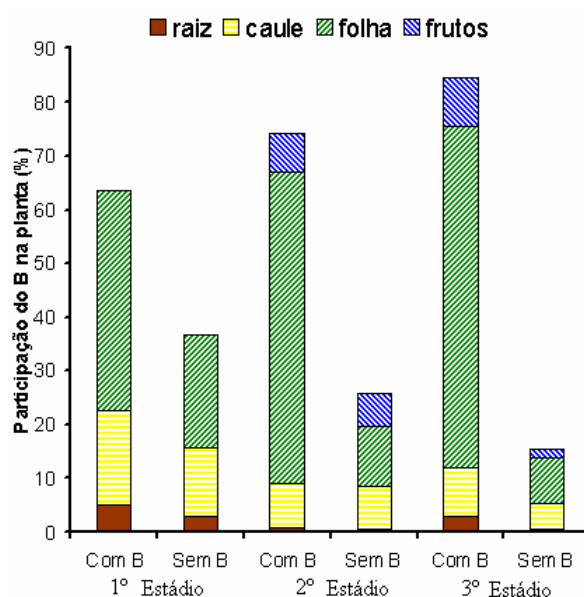


Figura 2. Participação do B nos órgãos do tomateiro (média dos tratamentos) no primeiro estágio (0-33), no segundo (34-72) e no terceiro estágio de desenvolvimento (73-101 dias após transplantio).

Nas plantas que se desenvolveram sem boro, o micronutriente presente na planta deve estar, principalmente, em formas insolúveis, como constituinte da parede celular. Enquanto nas plantas que se desenvolveram com boro, maior deve ser a quantidade do nutriente em formas solúveis em água localizado na região apoplástica na forma de ácido bórico (BOARETTO, 2006). Por isso, que no tratamento sem B, nas plantas tomate, observou-se menor partição de B.

4.1.2 Beterraba

a) Efeito dos tratamentos na altura das plantas e no número de folhas.

Na análise de variância observou-se interação para todas as características avaliadas com exceção da área foliar, altura, diâmetro da raiz tuberosa e número de folhas, mostrando que estas características se comportaram independentemente (Tabela 6).

Tabela 6. Resumo da análise de variância (valores de F e CV) para as variáveis: Área foliar (AF), altura das plantas (ALT), diâmetro da raiz tuberosa (DR), número de folhas (NF), matéria seca da folha (MSF), raiz (MSR), matéria fresca (MFRT) e seca (MSRT) da raiz tuberosa, matéria seca da planta inteira (MSP) e índice de colheita (IC), nos tratamentos com e sem boro na solução nutritiva e em diferentes estádios de desenvolvimento em plantas de beterraba. Jaboticabal – SP, 2007

Fontes de variação	AF	ALT	DR	NF	MSF	MSR	MFRT	MSRT	MSP	IC
Com e Sem B (B)	8,76*	6,59**	13,95**	4,29*	24,83**	26,76**	21,73**	20,74**	96,17**	12,79**
Estádio (E)	29,10**	58,07**	266,54**	122,96**	212,55**	59,82**	445,18**	157,89**	548,52**	256,99**
B x E	0,32 ^{ns}	0,82 ^{ns}	0,66 ^{ns}	0,51 ^{ns}	4,32**	6,52*	3,65*	13,90**	25,31**	13,12**
CV (%)	19,5	9,6	9,4	8,9	11,8	25,1	12,62	21,1	9,4	8,5

*, ** e ns: respectivamente significativo e não-significativo a 5 e 1% de probabilidade, pelo teste 'F'.

Houve crescimento inicial rápido no primeiro estágio tanto para a altura quanto para o número de folhas. No entanto, observou-se que no terceiro estágio (51-78 DAT), o tratamento com boro apresentou diferença significativa em relação à omissão, com valores de altura de 39,7 cm (com B) e 35,0 cm (sem B), aos 60 DAT, respectivamente (Figura 3a). O número de folhas não apresentou diferença significativa, entre os tratamentos avaliados (Figura 3b).

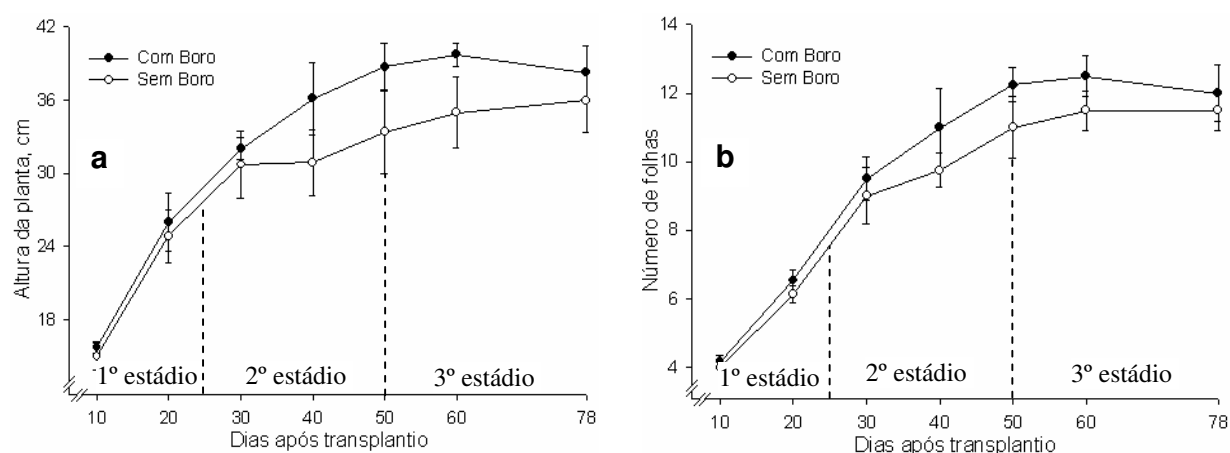


Figura 3. Altura (a) e número de folhas por planta de beterraba (b) nos tratamentos com e sem boro em função dos dias após transplantio.

A omissão de boro na solução nutritiva causou redução significativa de 9% na altura (Tabela 7), que diminuiu significativamente em relação ao tratamento com boro. Quanto ao número de folhas não observou diferença significativa.

Tabela 7. Altura (ALT) e número de folhas (NF) nos tratamentos com e sem boro na solução nutritiva na em plantas de beterraba.

Boro na solução nutritiva	ALT (cm por planta)	NF (por planta)
Com Boro	32,37a	9,71a
Sem Boro	29,40b	8,98a
CV (%)	5,9	6,6

Médias com letras diferentes na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

b) Efeito dos tratamentos na área foliar, no diâmetro da raiz tuberosa, na produção da matéria fresca e seca em beterraba.

Apesar das plantas de beterraba não apresentarem diferença significativa em área foliar com o fornecimento ou não de B, os tratamentos refletiram na matéria seca acumulada. A presença de boro na solução nutritiva aumentou a matéria fresca (MFRT) e seca da raiz tuberosa (MSRT), matéria seca da folha (MSF), da raiz absorvente (MSR), da planta inteira (MSP) da beterraba, comparando com a ausência do micronutriente, no segundo e terceiro estágio de desenvolvimento (Tabela 8). Sintomas visuais de deficiência no tratamento com omissão de B não foram observados.

Houve aumento significativo no diâmetro da raiz tuberosa (DR) entre os estádios de desenvolvimento, tanto nos tratamentos com B: 1,68 cm aos 0-25 DAT e 5,62 cm aos 51-78 DAT, quanto nos tratamentos sem B: 1,26 cm aos 0-25 DAT e 5,18 cm aos 51-78 DAT (Tabela 8). Quanto aos tratamentos com e sem B não foi observado diferença significativa. Quando o boro está em deficiência normalmente ocorre menor diâmetro da raiz tuberosa o qual foi verificado por GUPTA & MUNRO (1969) em três épocas com a concentração de boro (2 mg L^{-1}). O fato de não ter ocorrido diferença pode estar relacionado ao acúmulo de boro na raiz tuberosa de 0,31 mg por planta no tratamento sem boro que pode ter vindo da água utilizada e dos fertilizantes (Tabela 8).

A MFRT apresentou incremento com adição de boro em 21 e 20%, respectivamente no segundo (26-50 DAT) e terceiro estágio (51-78 DAT) em relação à omissão de boro na solução. A MSRT aumentou quando o boro estava presente na solução nutritiva em 12 e 72%, respectivamente no segundo (26-50 DAT) e terceiro estágio (51-70 DAT) em relação à omissão de boro na solução. A omissão do B apresentou menor produção de matéria seca da raiz tuberosa, pois o micronutriente tem função importante na fase de produção, fato também observado por GUPTA & MUNRO (1969), trabalhando com rutabaga (*Brassica napobrassica*, Mill. var. York) na concentração de boro de 2 mg L^{-1} proporcionou maior produção em relação à omissão do nutriente.

Tabela 8. Área foliar (AF), diâmetro da raiz tuberosa (DR), matéria seca da folha (MSF), da raiz (MSR), matéria fresca (MFRT), e seca da raiz tuberosa (MSRT), matéria seca planta inteira (MSP) e índice de colheita (IC), nos tratamentos com e sem boro na solução nutritiva e em diferentes estádios de desenvolvimento em plantas de beterraba.

Tratamentos	Estádio 1 ⁽¹⁾	Estádio 2	Estádio 3
		AF (cm ²)	
Com Boro	418,28Aa	871,59Aa	888,69Aa
Sem Boro	323,08Aa	693,08Aa	702,98Aa
		MSF(g por planta)	
Com Boro	1,91Ab	6,17Aa	7,99Aa
Sem Boro	1,63Ac	4,27Bb	7,34Aa
		MSR (g por planta)	
Com Boro	0,11Ab	0,65Aa	0,86Aa
Sem Boro	0,09Aa	0,39Aa	0,46Ba
		DR (mm)	
Com Boro	1,68Ab	4,80Aa	5,62Aa
Sem Boro	1,26Ab	4,03Aa	5,18Aa
		MFRT (g por planta)	
Com Boro	-(³)	49,32Ab	105,33Aa
Sem Boro	-	40,69Bb	87,89Ba
		MSRT (g por planta)	
Com Boro	-	5,59Ab	13,44Aa
Sem Boro	-	4,98Ba	7,81Ba
		MSP (g por planta)	
Com Boro	2,02Ac	12,41Ab	22,73Aa
Sem Boro	1,72Ac	8,92Bb	14,94Ba
		IC ⁽²⁾	
Com Boro	0,22Ac	0,47Ab	0,61Aa
Sem Boro	0,15Ab	0,52Aa	0,48Ba

Média com mesma letra maiúscula na coluna e minúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. ⁽¹⁾Estádio 1: 0-25; Estádio 2: 26-50 e Estádio 3: 51-78 dias após transplantio das plantas para solução nutritiva, ⁽²⁾IC = matéria seca raiz/matéria seca planta, ⁽³⁾Variável não avaliada devido ausência do órgão na planta.

A MSF apresentou incremento de 318% do primeiro para o terceiro estágio, no tratamento com B. Quando o boro foi omitido, houve diferença significativa com incremento de 350%. Nos tratamentos com e sem boro verificou-se diferença significativa apenas no segundo estágio de desenvolvimento com redução na matéria seca da folha de 31% quando o B foi omitido. A MSR apresentou incremento de 682% do primeiro para o terceiro

estádio, no tratamento com B. Quando o boro foi omitido, não houve diferença significativa. Nos tratamentos com e sem boro verificou-se diferença significativa apenas no terceiro estágio de desenvolvimento com redução na matéria seca da raiz de 45% quando o B foi omitido. Entretanto, a partir do segundo estágio de desenvolvimento as plantas apresentaram visível limitação no desenvolvimento do sistema radicular. A deficiência de boro não ficou evidente no primeiro e no segundo estádios de desenvolvimento, possivelmente pela pequena demanda pelo nutriente nesta fase do desenvolvimento.

A menor produção de matéria seca das raízes é um dos sintomas mais evidentes da deficiência de B, pois LUKASZEWSKI & BLEVINS (1996) verificaram o menor suprimento de boro para as plantas resultou na diminuição do comprimento das raízes.

A MSP incrementou com adição de boro em 38, 39 e 52%, respectivamente no primeiro (0-25 DAT), segundo (26-50 DAT) e terceiro estágio (51-70 DAT) em relação à omissão de boro na solução. Houve aumento significativo MSP entre os estádios de desenvolvimento nos tratamentos com B de 764% e sem B de 686% dos 25 aos 78 DAT, respectivamente (Tabela 8).

c) Efeito dos tratamentos na concentração e no acúmulo de boro

Observou-se no tratamento com boro que o teor nas folhas foi de 61, 43 e 29 mg kg⁻¹, respectivamente, para o primeiro, segundo e terceiro estágio de desenvolvimento. Também se pôde verificar que no mesmo tratamento, houve diferença significativa no teor de boro das plantas de beterraba nos diferentes períodos (Tabela 9). Observou-se que durante todo o ciclo da planta, o teor de boro no tratamento com boro diferiu significativamente do tratamento sem boro. Isto significa que no tratamento com boro as plantas apresentaram teor adequado para o desenvolvimento das plantas uma vez que TRANI & RAIJ (1997) relataram que o teor entre 40 a 80 mg kg⁻¹ é considerado ideal para as plantas de beterraba.

Pelos resultados obtidos no experimento, foi possível calcular que a beterraba absorveu, em média, de 0,041 e 0,012 mg de B por kg de matéria seca da raiz, respectivamente no tratamento com boro e sem boro, quando considerado todo o ciclo (78 dias) (Tabela 9). O B absorvido pelas raízes teve partição diferentemente na planta: 95, 49

e 41%; 96, 49 e 40% nas folhas; 5, 4 e 3%; 4, 5 e 4% nas raízes e 0, 47 e 56%; 0, 46 e 56% na raiz tuberosa, respectivamente, para os tratamentos com e sem B no primeiro, segundo e terceiro estágio de desenvolvimento (Figura 4).

Tabela 9. Teor (TBF) e acúmulo (ACUBF) de boro nas folhas, teor (TBR) e acúmulo (ACUBR) nas raízes e teor (TBRT) e acúmulo (ACUBRT) na raiz tuberosa e acúmulo na planta inteira (ACUBT), nos tratamentos com e sem boro na solução nutritiva e em diferentes épocas de amostragens em plantas de beterraba.

Tratamentos	Estádio 1 ⁽¹⁾	Estádio 2	Estádio 3
TBF (mg kg ⁻¹)			
Com Boro	61Aa	43Ab	29Ac
Sem Boro	49Ba	33Bb	17Bc
ACUBF (mg)			
Com Boro	0,10Ab	0,23Aa	0,21Aa
Sem Boro	0,08Aa	0,16Ba	0,12Ba
TBR (mg kg ⁻¹)			
Com Boro	64Aa	41Ab	23Ac
Sem Boro	28Bb	37Aa	20Ab
ACUBR(mg)			
Com Boro	0,01Ab	0,02Aa	0,01Aab
Sem Boro	0,00Ab	0,02Aa	0,01Aab
TBRT (mg kg ⁻¹)			
Com Boro	— ⁽³⁾	43Ab	24Ac
Sem Boro	—	36Ab	19Ac
ACUBRT (mg)			
Com Boro	—	0,22Aa	0,29Aa
Sem Boro	—	0,15Aa	0,16Ba
ACUBT (mg)			
Com Boro	0,1088Ac	0,4794Aa	0,5210Aa
Sem Boro	0,0823Ab	0,3285Ba	0,2893Ba

Média com mesma letra maiúscula na coluna e minúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. ⁽¹⁾Estádio 1: 0-33; Estádio 2: 34-72 e Estádio 3: 73-101 dias após transplantio das plantas para solução nutritiva. , ⁽³⁾ variável não avaliada devido ausência do órgão na planta.

Comparando o teor de boro nas folhas (49; 33 e 17 mg kg⁻¹) em relação à de raiz tuberosa (0; 36 e 19 mg kg⁻¹), respectivamente nos três estádios de desenvolvimento, no tratamento sem B, observou-se que provavelmente o teor de boro na raiz tuberosa foi proveniente do floema (Tabela 9). Isto indica uma aparente mobilidade de B no floema das

plantas de beterraba, uma vez que o tratamento sem boro apresentou um acúmulo de boro de 0,15 e 0,16 mg na raiz tuberosa não diferindo do tratamento com boro (Tabela 9). A ocorrência de uma relativa mobilidade foi verificada também por SHELPS et al. (1987) trabalhando com plantas de rabanete no qual observaram diferença no acúmulo de boro nas folhas quando o elemento foi omitido na solução nutritiva.

Pode-se observar na Figura 4 que não houve diferença na contribuição das folhas comparada à raiz tuberosa, em relação aos tratamentos com e sem B nos diferentes estádios de desenvolvimento, demonstrando que tanto as folhas como a raiz tuberosa são os principais órgãos de acúmulo e armazenamento de B.

O B foi transportado, principalmente, para as partes da planta de maior atividade metabólica onde se encontrou de 95 a 96% do B absorvido no período, respectivamente, nos tratamentos com e sem B (Figura 5). Ainda pode-se observar que houve maior partição do B na raiz tuberosa nos estádios de desenvolvimento em 28 e 36% com B e 19 e 20% sem B. Isto ocorreu porque o B absorvido pelas raízes foi transportado principalmente para as partes da planta que estavam em maior atividade.

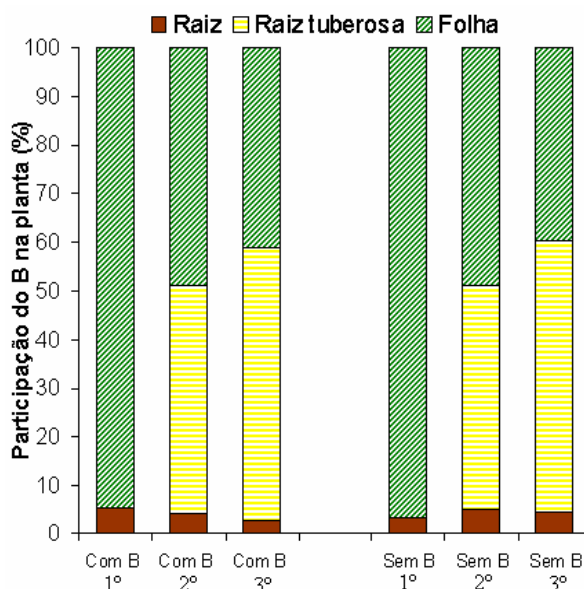


Figura 4. Participação do B nos órgãos das plantas de beterraba (média dos tratamentos) no primeiro estágio (0-25), no segundo (26-50) e no terceiro estágio de desenvolvimento (51-78 dias após transplantio).

O B nas plantas de beterraba variou de acordo com o estado nutricional, sendo maior nas plantas que foram cultivadas em solução com concentração adequada de B, do que nas plantas cultivadas em solução deficiente em B. Observou-se também que quanto maior foi o período de desenvolvimento das plantas em solução deficiente em B, menor foi a contribuição de B da planta para o desenvolvimento das folhas, cerca de 33% para o 1º período e de 14% para o 3º período (Figura 5). O tratamento sem boro apresentou menor participação nas folhas, provavelmente, em razão do nutriente ser fortemente dependente da disponibilidade do B celular, pois HU & BROWN (1994) verificaram que o B está principalmente localizado na parede celular e a partição do nutriente é fortemente dependente da disponibilidade do B celular.

Nas plantas que se desenvolveram sem boro, o micronutriente presente na planta deve estar, principalmente, em formas insolúveis, como constituinte da parede celular. Enquanto nas plantas que se desenvolveram com boro, maior deve ser a quantidade do nutriente em formas solúveis em água localizado na região apoplástica na forma de ácido bórico (BOARETTO, 2006). Por isso, que no tratamento sem B nas plantas de beterraba observou-se menor partição de B.

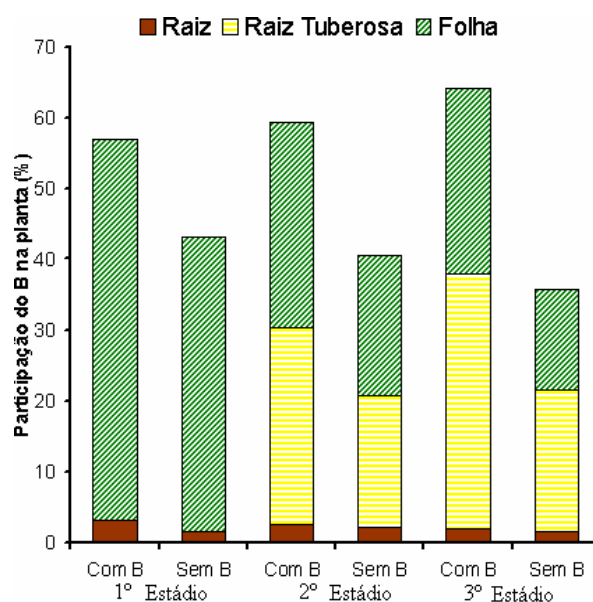


Figura 5. Participação do B nos órgãos das plantas de beterraba (média dos tratamentos) no primeiro estágio (0-25), no segundo (26-50) e no terceiro estágio de desenvolvimento (51-78 dias após transplante).

4.2 Experimento 2 - Dose de boro via foliar, no desenvolvimento e no teor de B em plantas de tomate e de beterraba.

4.2.1 Tomate

a) Efeito dos tratamentos na área foliar, na altura, no diâmetro do caule e no número de folhas

Verificaram-se efeitos significativos de boro em todas as características avaliadas, com exceção do número de frutos (Tabela 10).

Tabela 10. Resumo da análise de variância (valores de F e CV) para as variáveis: Área foliar (AF), altura das plantas, (ALT), diâmetro do caule (DC), número de folhas (NF), matéria seca da folha (MSF), caule (MSC) e raiz (MSR), número de frutos (NFR), classificação dos frutos (CLAS), matéria fresca (MFFR) e seca (MSFR) do fruto, matéria seca da planta inteira (MSP), de tomate em doses de boro via foliar. Jaboticabal – SP, 2007

Fontes de variação	AF	ALT	DC	NF	MSF	MSC	MSR	NFR	CLAS	MFFR	MSFR	MSP
Tratamento	7,33**	17,52**	14,11**	8,47**	3,77*	2,47*	10,71**	2,16 ^{ns}	16,53**	4,45*	4,86*	7,23**
CV (%)	11,5	1,9	4,6	7,1	13,4	12,7	14,3	13,5	3,0	9,7	12,1	9,2

*, ** e ns: respectivamente significativo e não-significativo a 5 e 1% de probabilidade, pelo teste 'F'.

A aplicação de B via foliar no tomateiro promoveu incremento com ajuste linear na área foliar, atingindo 4.765,8 cm² por planta, na concentração de 0,340 g L⁻¹ de B. Essa concentração proporcionou aumento na área foliar de 43% em relação à testemunha (Figura 6a). A aplicação de B via foliar no tomate promoveu incremento com ajuste significativo na altura, diâmetro do caule e no número de folhas, com máximo de 114,8 cm; 10,6 mm e 25,8 nas concentrações de B igual a 0,165, 0,200 e 0,190 g L⁻¹, respectivamente. Estas concentrações proporcionaram incremento da altura, do diâmetro do caule e do número de folhas de 8, 12 e 11%, respectivamente em relação à testemunha. A partir dessa concentração, houve redução atingindo 104,3 cm; 10,1 mm; 24,1 na maior concentração avaliada (0,340 g L⁻¹), respectivamente (Figuras 6b, c e d). O aumento das doses de boro apresentou maior crescimento das plantas, o qual foi observado por UDDIN et al. (2003), trabalhando com pimenta em diferentes doses boro (0; 1,5 e 2,5 kg ha⁻¹) no solo, verificaram maior altura das plantas em relação à omissão do nutriente.

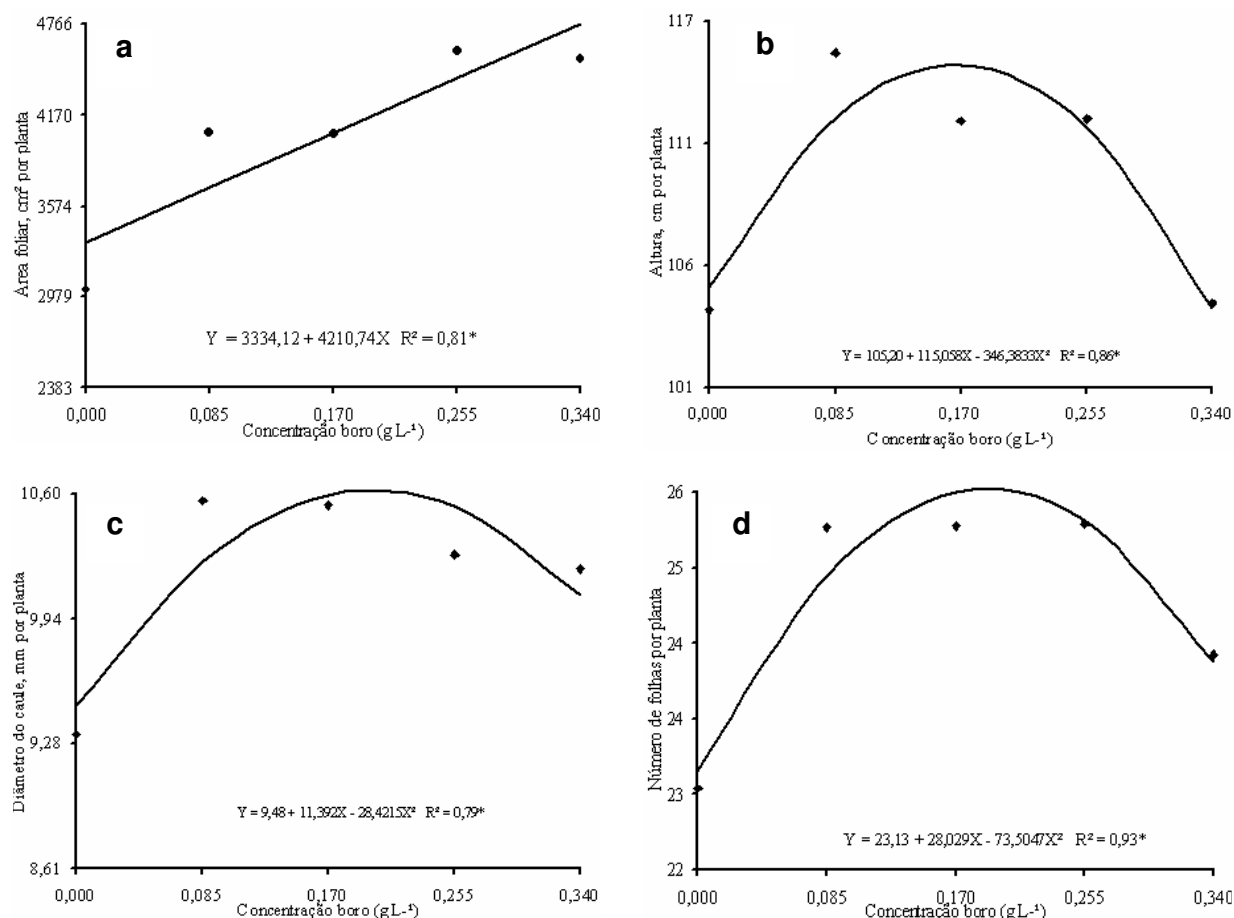


Figura 6. Área foliar (a), altura das plantas (b), diâmetro do caule (c) e número de folhas (d), em função da concentração de boro, na solução aplicada via foliar, em tomateiro.

b) Efeito dos tratamentos na classe e no número de frutos, na produção de matéria fresca do fruto, na matéria seca dos frutos, nas folhas, no caule, e na raiz.

A aplicação de B via foliar no tomateiro promoveu incremento com ajuste linear para classe de frutos e número de frutos, atingindo 65,8 mm e 62, na concentração de 0,340 g L⁻¹ de B. Essa concentração proporcionou aumento na classe de frutos e número de frutos de 15 e 29%, respectivamente, em relação à testemunha (Figuras 7a; b). As doses de boro influenciaram no aumento do número de frutos, corroborando com os resultados obtidos por UDDIN et al. (2003), trabalhando com pimenta em diferentes doses boro (0; 1,5 e 2,5 kg ha⁻¹) no solo, verificaram efeito significativo no número de fruto por planta de 42, 44 e 46 frutos com as doses de 0; 1,5 e 2,5 kg ha⁻¹, respectivamente.

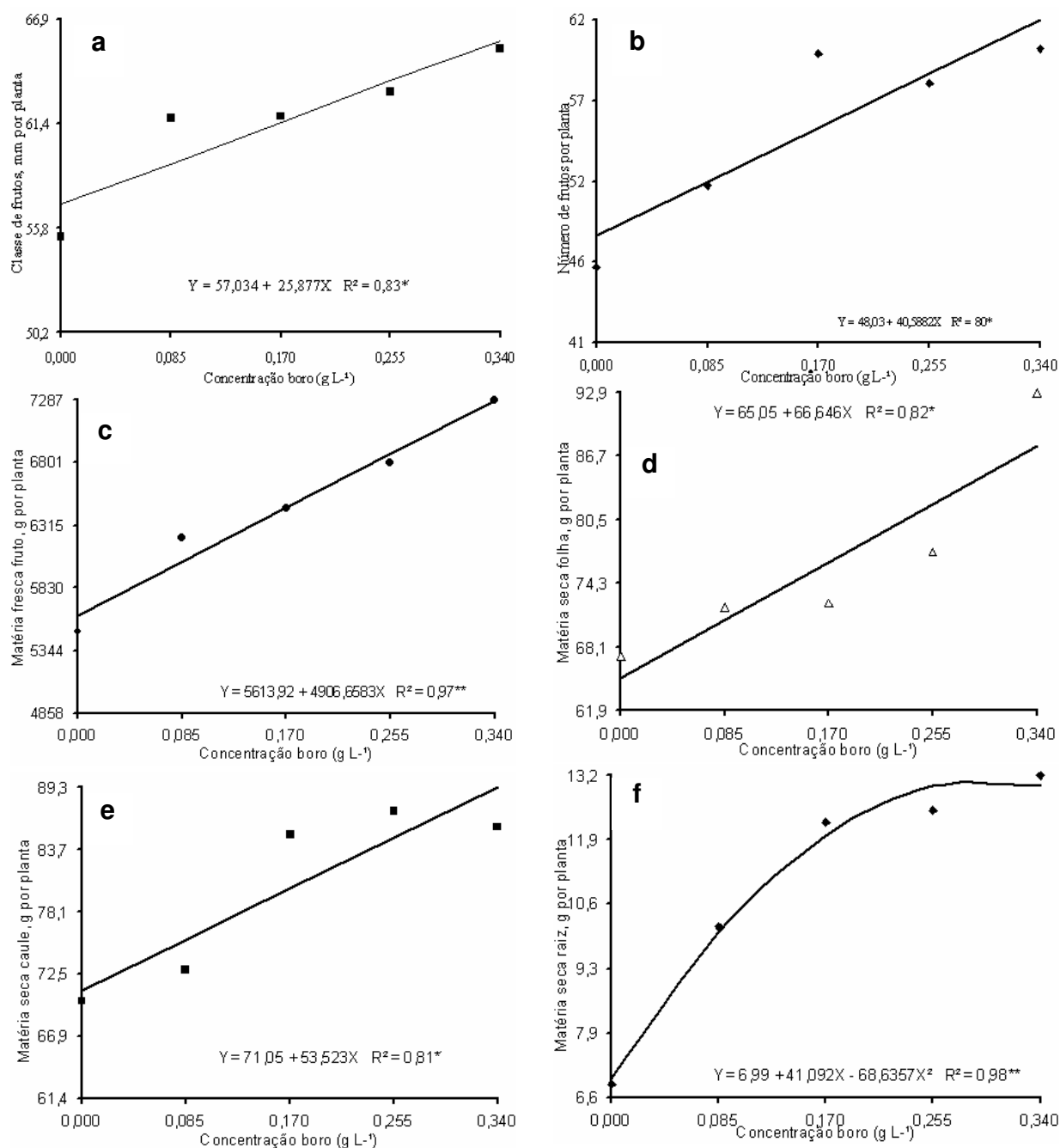


Figura 7. Classe de frutos (a), número de frutos (b), matéria fresca do fruto (c), matéria seca da folha (d), caule (e) e raiz (f), em função da concentração de boro, na solução aplicada via foliar, em tomateiro.

Esse efeito do B no crescimento do tomateiro refletiu positivamente na produção de matéria fresca do fruto. A máxima produção dos frutos foi de 7.282,2 g por planta, atingida com a concentração de 0,340 g L⁻¹ de B via foliar, ou seja, o B promoveu incremento de 30% em relação à testemunha (Figura 7c).

As matérias secas da folha (MSF), caule (MSC), frutos (MSFR), raiz (MSR) e da planta inteira (MSP) do tomateiro foram influenciadas pelas concentrações de boro. As quantidades máximas de MSF e MSC foram de 87,7 e 89,3 g por planta, obtidas com a máxima concentração de B ($0,340 \text{ g L}^{-1}$). Observou-se, neste experimento, que o tomateiro atingiu o máximo de matéria seca acima da concentração recomendada por TRANI & RAIJ (1997), que é de $0,170 \text{ g L}^{-1}$ de B, visto que essa recomendação é para hortaliças do grupo das brássicas, considerado exigente no nutriente (Figura 7d; e).

A MSR apresentou comportamento quadrático, atingindo o máximo de 13,1 g por planta, na concentração de $0,300 \text{ g de B L}^{-1}$ via foliar, ou seja, o B promoveu incremento de 88% em relação à testemunha (7,0 g por planta). A partir dessa concentração, a produção diminuiu até atingir 13,0 g por planta na maior concentração avaliada ($0,340 \text{ g L}^{-1}$) (Figura 7f).

Observou-se incremento linear do teor foliar de boro em resposta ao aumento da concentração do nutriente aplicado de 72 mg kg^{-1} . Notou-se que o teor foliar de boro associado com 100% da produção da matéria seca dos frutos foi de 72 mg kg^{-1} (Figura 8). Isto significa que a folha diagnose apresentou teor adequado para o desenvolvimento das plantas uma vez que TRANI & RAIJ (1997) relataram que o teor entre 30 a 100 mg kg^{-1} é considerado ideal para as plantas de tomate.

O acúmulo de matéria seca na MSFR e MSP, quando comparado com o teor foliar, apresentou comportamento semelhante, ou seja, com aumento da concentração de boro via foliar, houve acúmulo de MSFR e MSP de 385,86 e 557,53 g por planta, respectivamente, na concentração de $0,340 \text{ g L}^{-1}$ de B via foliar, e esteve associado com o teor foliar de boro de 72 mg kg^{-1} (Figura 8).

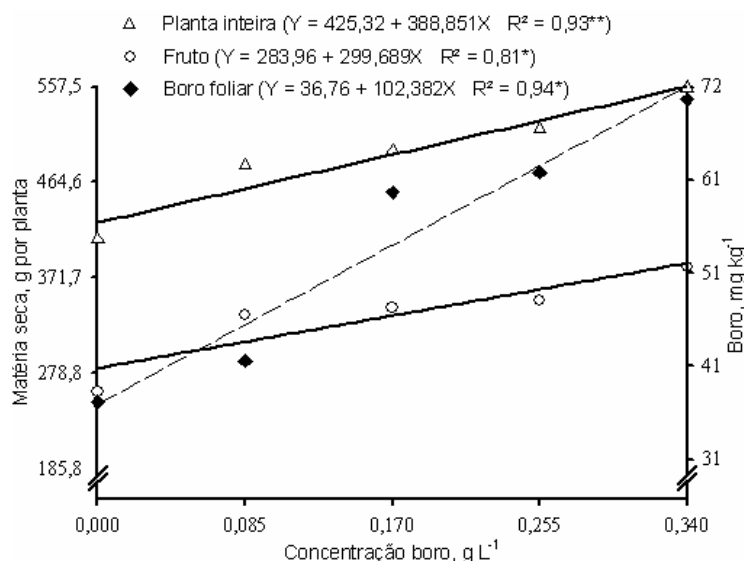


Figura 8. Matéria seca da planta inteira, dos frutos e teor foliar de boro em função da concentração de boro, na solução aplicada via foliar, em tomateiro.

4.2.2 Beterraba

a) Efeito dos tratamentos na área foliar, na altura das plantas, no diâmetro da raiz tuberosa e no número de folhas.

Verificaram-se efeitos significativos de boro em todas as características biológicas avaliadas (Tabela 11).

Tabela 11. Resumo da análise de variância (valores de F e CV) para as variáveis: Área foliar (AF), altura das plantas (ALT), diâmetro da raiz tuberosa (DR), número de folhas (NF), matéria seca da folha (MSF), e raiz (MSR), matéria fresca (MFRT) e seca (MSRT) da raiz tuberosa, matéria seca da planta inteira (MSP), de beterraba em doses de boro via foliar.

Fontes de variação	AF	ALT	DR	NF	MSF	MSR	MFRT	MSRT	MSP
Tratamento	4,50*	12,36**	5,58**	28,69**	13,81**	8,96**	15,36**	14,04**	16,99**
CV (%)	19,9	10,6	12,6	4,3	11,1	17,5	17,9	16,5	13,2

* e **: respectivamente significativo a 5 e 1% de probabilidade, pelo teste 'F'.

A aplicação de B via foliar na beterraba promoveu incremento com ajuste de raiz quadrada na área foliar, altura, diâmetro da raiz tuberosa e número de folhas, com máximo de 1.874,0 cm²; 23,8 cm; 38,7 e 14,5 por planta nas concentrações de 0,085; 0,040; 0,055 e 0,115 g L⁻¹ de B, respectivamente. Essas concentrações proporcionaram

aumento da área foliar, altura, diâmetro da raiz tuberosa e número de folhas de 55; 5; 19 e 35%, respectivamente, em relação à testemunha. A partir dessas concentrações, houve redução até atingir 1.163,4 cm²; 19,7; 25,7 e 12,5 na maior concentração avaliada (0,340 g L⁻¹ de B) (Figura 9).

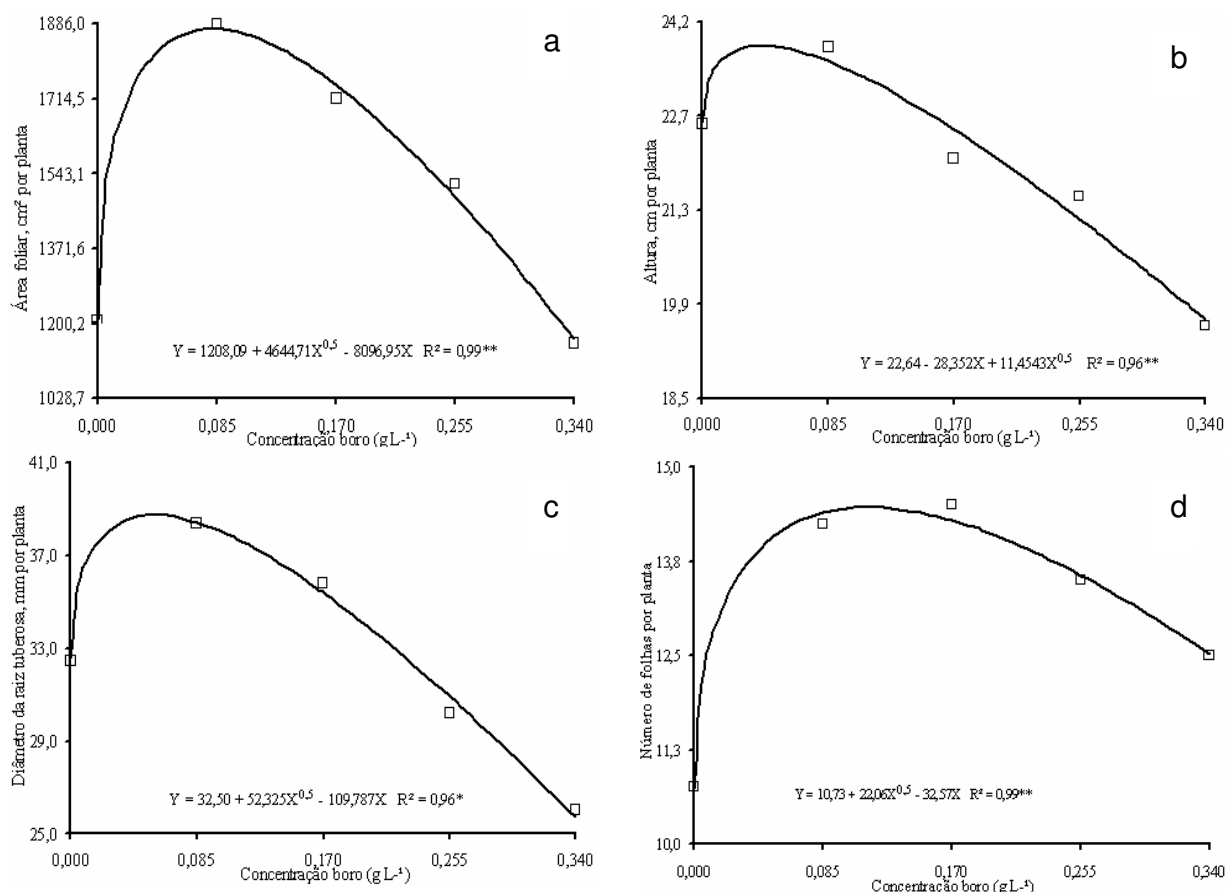


Figura 9. Área foliar (a), altura das plantas (b), diâmetro da raiz tuberosa (c) e número de folhas (d), em função da concentração de boro, na solução aplicada via foliar, em beterraba.

b) Efeito dos tratamentos na produção de matéria fresca e seca e teor foliar de boro.

Esse efeito do B no crescimento da beterraba refletiu na produção de matéria fresca da raiz tuberosa. A máxima produção da raiz tuberosa foi de 590,3 g por planta, atingida com a concentração de 0,065 g L⁻¹ de B via foliar, ou seja, o B promoveu

incremento de 65% em relação à testemunha (Figura 10a). A partir desta concentração, a produção diminuiu até atingir 219,8 g por planta na maior concentração avaliada ($0,340 \text{ g L}^{-1}$ de B).

As matérias secas da folha (MSF), raiz absorvente (MSR), raiz tuberosa (MSRT) e da planta inteira (MSP) de beterraba foram influenciadas significativamente pelas concentrações de boro. A máxima produção da MSF e na MSR foi de 15,41 e 1,36 g por planta, obtida com $0,150$ e $0,060 \text{ g L}^{-1}$ de B, respectivamente (Figura 10b e c). A partir dessa concentração, a produção de MSF e MSR diminuiu até atingir 9,11 e 0,65 g por planta na maior concentração avaliada ($0,340 \text{ g L}^{-1}$ de B).

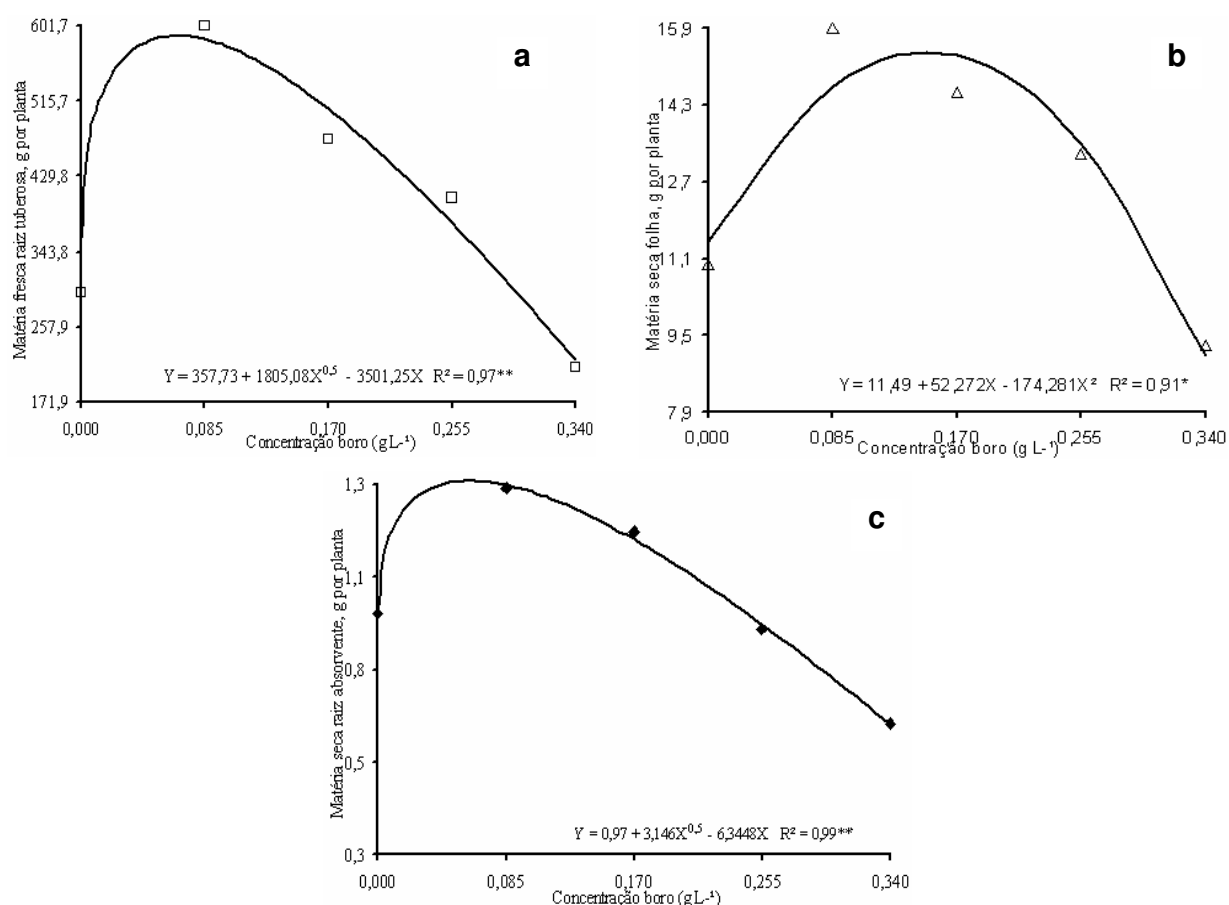


Figura 10. Matéria fresca da raiz tuberosa (a), matéria seca da folha (b) e da raiz absorvente (c), em função da concentração de boro, na solução aplicada via foliar, em beterraba.

A MSRT e MSP aumentaram com o aumento da concentração de boro, atingindo o máximo de 37,03 e 54,39 g por planta, na concentração de $0,065 \text{ g L}^{-1}$ de B via foliar, ou

seja, o B promoveu incremento de 46% em relação à testemunha. A partir dessa concentração, a produção diminuiu até atingir 15,05 e 25,44 g por planta, respectivamente, na maior concentração avaliada ($0,340 \text{ g L}^{-1}$) (Figura 11). Observou-se, neste experimento, que a beterraba atingiu o máximo de matéria seca na raiz tuberosa e planta inteira abaixo da concentração recomendada por TRANI & RAIJ (1997), que é de $0,170 \text{ g L}^{-1}$ de B, visto que esta recomendação é para hortaliças do grupo das brássicas, considerado exigente no nutriente.

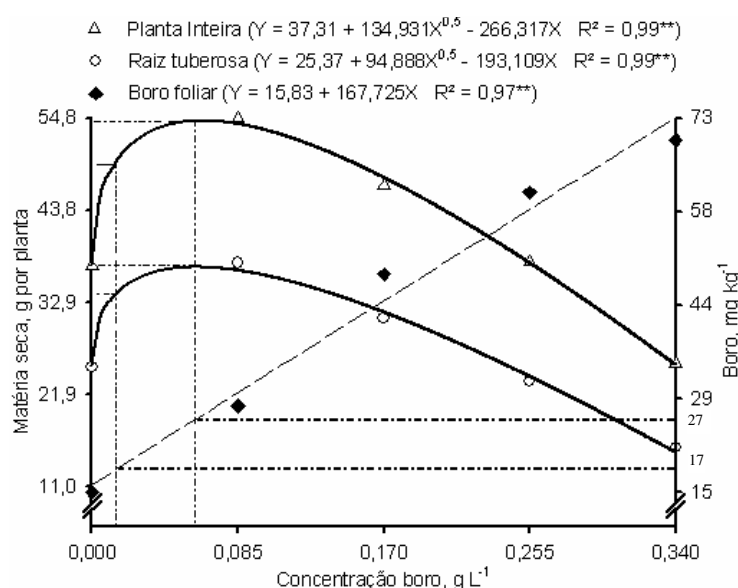


Figura 11. Matéria seca da planta inteira, raiz tuberosa e teor foliar de boro em função da concentração de boro, na solução aplicada via foliar, em beterraba.

Observou-se incremento linear no teor foliar de boro em resposta ao aumento da concentração do nutriente, atingindo o máximo de 73 mg kg^{-1} . Notou-se que o teor foliar de boro associado com 90% e 100% da produção máxima da raiz tuberosa foi de 17 e 27 mg kg^{-1} (Figura 11). TRANI & RAIJ (1997) e GUPTA & CUTCLIFFE (1985) relataram que o teor foliar adequado para o desenvolvimento da beterraba é de 40-80 e 50-100 mg kg^{-1} , respectivamente. Observou-se que o teor adequado de B para beterraba esteve abaixo do relatado na literatura, possivelmente, porque esses teores foram obtidos para condições de campo e do presente trabalho foi em ambiente protegido cultivado em solução nutritiva. O aumento da concentração de boro cria um gradiente excessivo no teor do micronutriente, que pode promover toxicidade (SHELP et al.,

1995). Neste trabalho, observou-se que a diminuição de 50% na produção da raiz tuberosa esteve associada com o teor foliar de boro igual a 70 mg kg^{-1} . Enquanto, GUPTA & CUTCLIFFE (1985) observaram em beterraba cultivada em solo, que o teor foliar de boro que provocou fitotoxicidade foi de 121 mg kg^{-1} . Esta diferença possivelmente está associada ao manejo das plantas, pois no trabalho de GUPTA & CUTCLIFFE (1985) as plantas foram cultivadas em solo.

Este efeito de toxicidade pelo B é devido às alterações da membrana celular, como foi relatado por SERESINHE & OERTLI (1991) na redução da atividade da redutase do nitrato e uma conseqüente deficiência de N, pois o boro tem ação específica na cadeia metabólica de N (BONILLA et al., 1980).

4.3 Experimento 3 - Tempo de absorção de boro via foliar em plantas de tomate e beterraba.

4.3.1 Tomate

a) Crescimento e produção de matéria seca ao longo do período experimental

Conforme era previsto, houve incremento da área foliar [$Y (\text{com B}) = 420,78 + 137,162X \quad R^2 = 0,99^{**}$; $Y (\text{Sem B}) = 241,91 + 124,346X \quad R^2 = 0,99^{**}$], altura das plantas [$Y (\text{Com B}) = 38,18 + 3,07825X \quad R^2 = 0,99^{**}$; $Y (\text{Sem B}) = 36,25 + 2,7279X \quad R^2 = 0,99^{**}$], número de folhas [$Y (\text{Com B}) = \text{EXP}(1,89 + 0,25604X^{0,5}) \quad R^2 = 0,99^{**}$; $Y (\text{Sem B}) = 6,43 + 0,5985X \quad R^2 = 0,99^{**}$] e diâmetro do caule [$Y (\text{Com B}) = 5,64 + 0,88494X^{0,5} \quad R^2 = 0,98^{**}$; $Y (\text{Sem B}) = 5,53 + 0,12801X \quad R^2 = 0,96^{**}$] ao longo dos 30 dias após aplicação foliar do micronutriente.

Conforme visto anteriormente as características de crescimento ao longo dos 30 dias após aplicação foliar do micronutriente, refletiu também na produção de matéria seca dos diferentes órgãos (folha, caule e raiz) e conseqüentemente na matéria seca da planta inteira (Figura 12).

Observou-se que a matéria seca da raiz, no tratamento sem B, apresentou diferença significativa a partir do 15 dias após aplicação do boro (Figura 12). Esta redução refletiu no acúmulo do micronutriente das folhas (Figura 13b). A redução no

crescimento das raízes também foi observada por DUGGER (1983), estudando a cultura do tomateiro. Este autor observou após 3 horas das plantas de tomate em omissão do boro redução da matéria seca das raízes. KOUCHI & KUMAZAWA (1975) estudando o efeito da deficiência do boro no crescimento e no desenvolvimento das raízes de tomate em solução nutritiva, verificaram no período de três a seis dias que a parede celular das raízes apresentou espessas, baixo alongamento e divisão celular. As células do córtex apresentaram anomalias depois de três dias sem B.

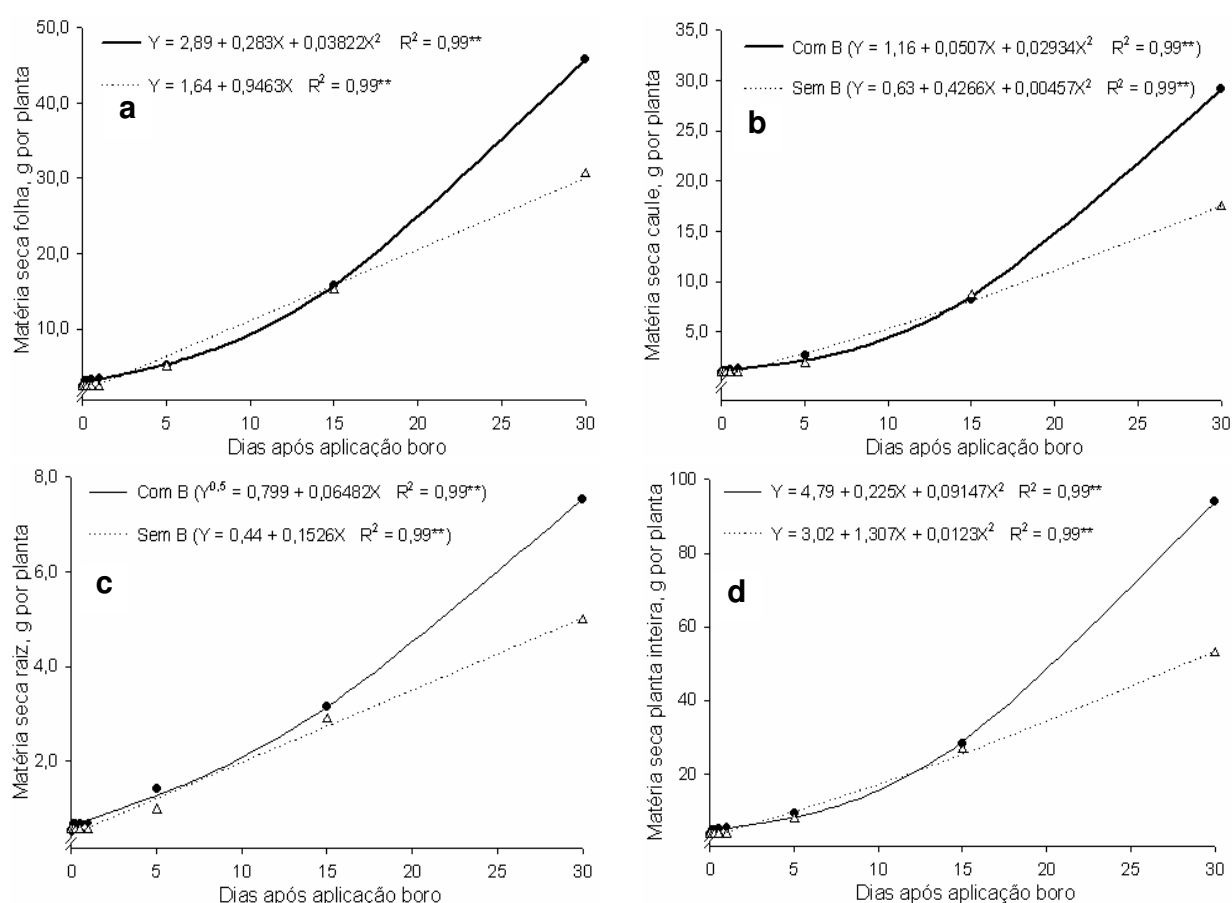


Figura 12. Matéria seca das folhas (a), caule (b), raiz (c) e planta inteira (d), em função do número de dias após aplicação de boro via foliar em plantas de tomate.

Verificou-se que houve aumento do teor foliar de B nas folhas no tratamento que recebeu a adubação foliar, quando comparadas às folhas do tratamento controle (Figura 13a), conforme era esperado. O teor de B nas folhas atingiu ponto de máximo de 139 mg kg^{-1} aos 1,42 dias após aplicação. A testemunha apresentou mesmo

comportamento nas folhas atingindo ponto máximo de 75 mg kg^{-1} aos 4,77 dias após aplicação.

O B é rapidamente absorvido pelas folhas, chegando a atingir 50% do B absorvido no período de 0-0,4 dias, que corresponde a aproximadamente 10 horas após aplicação (Figura 13b). Assim pode-se inferir que se ocorrer chuvas depois de 10 horas após a aplicação de boro, não comprometeria a eficiência de adubação foliar, pois já ocorreu metade da absorção do nutriente pela planta. A planta atingiu máxima absorção de B (0,76 mg) aos 30 dias após aplicação do nutriente. Resultados obtidos por STASS et al. (2007) em feijão, verificaram absorção máxima no tratamento com B de 0,23 mg no período de 10 horas e no tratamento de sem B houve redução do acúmulo de 0,07 mg em 4 horas. Resultados encontrados por BOARETTO et al. (2003) em citrus, verificaram absorção máxima do B pelas folhas de 9% no período de 30 dias. Seresinhe & Oertli (1991) estudando o efeito do boro em plantas de tomate em cultura de tecidos, verificaram que o acúmulo de boro não variou depois de dois dias de cultivo.

Para que o B seja absorvido pelas folhas do tomateiro, e passe do meio externo da planta para o espaço intercelular ou qualquer outra parte da célula, é necessário que o nutriente atravesse a cutícula foliar e o plasmalema. A cutícula é composta por cutina, polímeros de carboidratos (pectinas e celulose) e especialmente ceras. Uma cutícula mais espessa é a proteção maior da planta contra pragas e perda excessiva de água, entretanto, isto não restringiu a absorção do micronutriente pelas folhas de tomateiro.

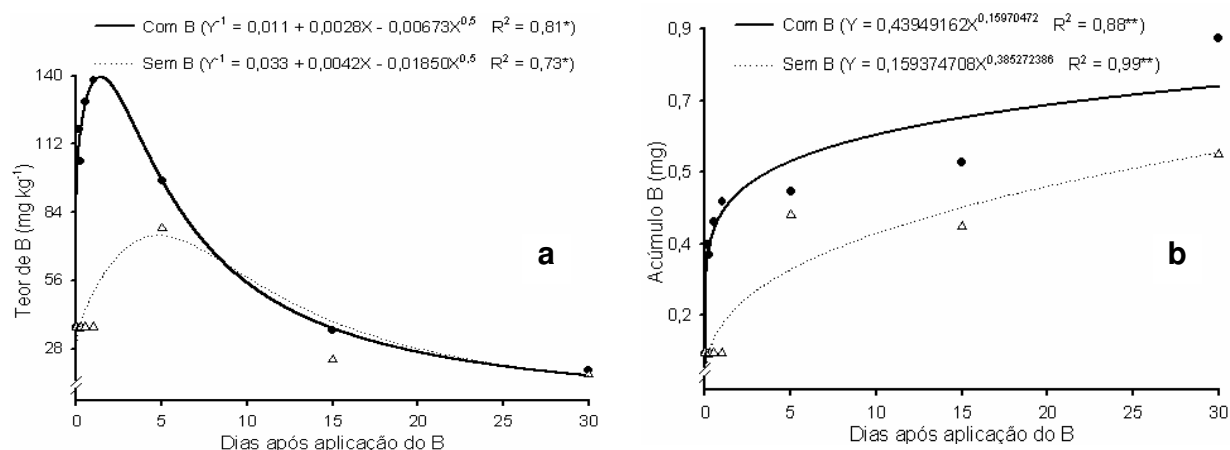


Figura 13. Teor e acúmulo de boro nas folhas de tomate em função dos dias após aplicação de boro via foliar.

4.3.2 Beterraba

a) Crescimento e produção de matéria seca ao longo do período experimental.

Conforme era previsto, houve incremento da área foliar [Y (Com B) = $506,94 - 15,125X + 178,2849X^{0,5}$ $R^2 = 0,91^*$; Y (Sem B) = $571,96 - 33,89X + 0,5578X^2$ $R^2 = 0,92^*$], altura das plantas [Y (Com B) = $30,29 + 0,0547X - 2,351484e^{(x)}$ $R^2 = 0,99^*$; Y (Sem B) = $29,07 - 1,186X + 0,012X^2$ $R^2 = 0,97^{**}$], número de folhas [Y^{-1} (Com B) = $0,12 - 0,00079X + 0,003383/X$ $R^2 = 0,97^*$; Y (Sem B) = $7,36 - 0,080X - 0,0022X^2$ $R^2 = 0,99^{**}$] e diâmetro da raiz tuberosa [Y (Com B) = $27,34 + 7,322X^{0,5}$ $R^2 = 0,98^*$; Y (Sem B) = $26,49 - 0,0078X - 0,0067X^2$ $R^2 = 0,99^{**}$] ao longo dos 30 dias após aplicação foliar do micronutriente.

Conforme visto anteriormente as características de crescimento ao longo dos 30 dias após aplicação foliar do micronutriente, refletiu também produção de matéria seca dos diferentes órgãos (folha, raiz tuberosa e raiz absorvente) e consequentemente na matéria seca da planta inteira (Figura 14).

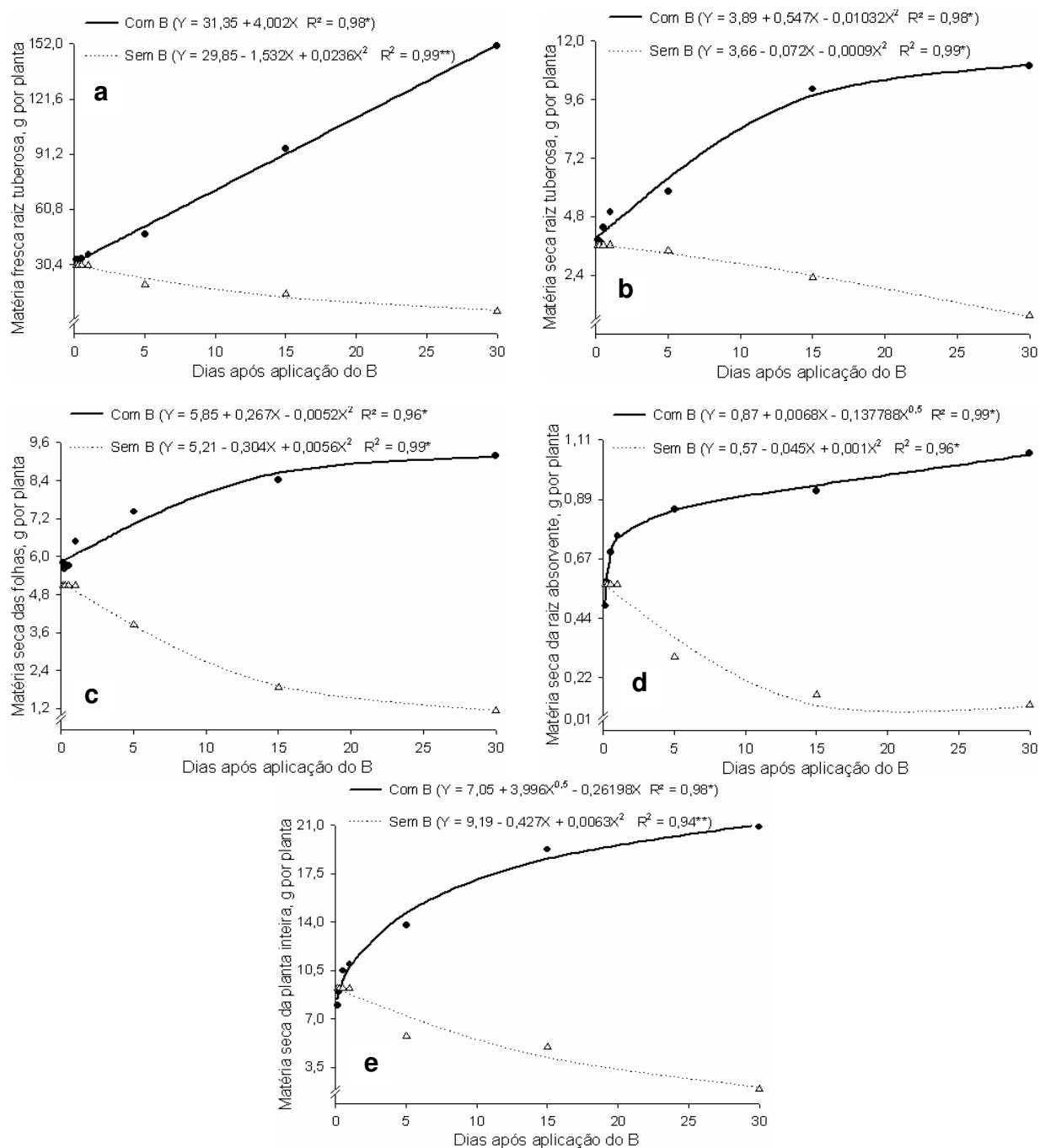


Figura 14. Matéria fresca e seca da raiz tuberosa (a e b), matéria seca das folhas (c), raiz absorvente (d) e planta inteira (e), em função dos dias após aplicação de boro via foliar nas plantas de beterraba.

Verificou-se que houve aumento do teor foliar de B nas folhas no tratamento que recebeu a adubação foliar, quando comparadas às folhas do tratamento controle (Figura 15a), conforme era esperado. O teor de B nas folhas atingiu ponto de máximo de 45 mg kg^{-1} aos 0,5 dias após aplicação. A testemunha apresentou comportamento diferente nas folhas atingindo o máximo de 38 mg kg^{-1} aos 30 dias após aplicação.

O B é rapidamente absorvido pelas folhas, chegando a atingir 50% do B absorvido no período de 0-0,1 dias, que corresponde a aproximadamente 2 horas e 30 minutos (Figura 15b). Assim pode-se inferir que se ocorrer chuvas depois de 3 horas da aplicação, não comprometerá a eficiência de adubação foliar, pois já ocorreu 50% da absorção do nutriente pela planta. A planta atingiu máxima absorção de B (0,27 mg) aos 5 dias após aplicação do nutriente. Ainda não há resultados sobre a translocação do B absorvido pelas folhas. Resultados encontrados por BOARETTO et al. (2003) em citrus, verificaram uma rápida absorção do B pelas folhas com máximo de 9% no período de 30 dias.

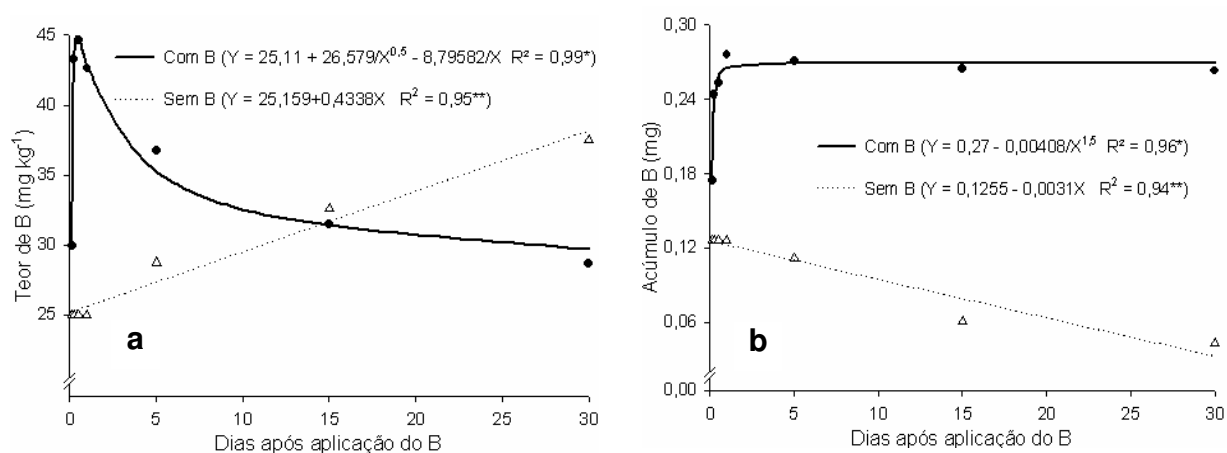


Figura 15. Teor e acúmulo de boro nas folhas de beterraba em função dos dias após aplicação de boro via foliar nas plantas de beterraba.

4.4 Experimento 4 - Absorção foliar e radicular de B

4.4.1 Tomate

a) Efeito dos tratamentos no crescimento e na produção de matéria seca

Houve diferença significativa nas características avaliadas com exceção do número de folhas e diâmetro do caule em função dos tratamentos. O tratamento T2 apresentou maior acúmulo de matéria seca diferindo dos tratamentos T1, T3 e T4 (Tabela 12). O tratamento foliar foi melhor que o radicular, para as características de matéria seca, possivelmente, devido ao curto período de desenvolvimento das plantas (40 dias).

Tabela 12. Matéria seca do tomateiro (g) e altura (ALT), número de folhas (NF), diâmetro do caule (DC), área foliar (AF) e massa seca planta inteira (MST) em função da aplicação de boro em plantas de tomate.

	Folha velha	Folha nova	Caule velho	Caule novo	Fruto velho	Fruto novo	Raiz	ALT	NF	DC	AF	MST
	-----g-----							cm		mm	cm ²	g
T1 ⁽¹⁾	4,97ab	2,70a	6,49a	1,26ab	11,92b	2,80b	1,56a	115,67a	20a	6,93a	1221,423a	31,70b
T2	5,19a	2,37ab	5,75ab	1,36a	13,79a	3,74a	1,53a	114,17a	19a	6,83a	1234,191a	33,74a
T3	4,03c	1,89c	4,71c	0,83c	11,76b	1,39c	1,45a	107,17b	19a	6,65a	925,638c	26,05c
T4	4,48bc	2,04bc	5,24bc	1,07b	11,36b	2,35b	1,21b	116,50a	17a	6,41a	1020,873b	27,75c
CV	9,1	11,7	9,9	12,2	6,2	19,4	8,3	3,1	7,8	4,9	5,2	3,9

Média com mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. ⁽¹⁾T1 = sem B no substrato, sem adubação foliar; T2 = sem B no substrato, com adubação foliar ¹⁰B; T3 = com B no substrato, com adubação foliar ¹⁰B; T4 = com ¹⁰B no substrato, sem adubação foliar.

O teor de boro das folhas nos tratamentos que foram aplicados esse micronutriente, não diferiram entre si e apresentaram teor adequado para o desenvolvimento das plantas uma vez que TRANI & RAIJ (1997) relataram que o teor entre 30 a 100 mg kg⁻¹ é considerado ideal para as plantas de tomate (Tabela 13). O tratamento T2 apesar de não ter apresentado diferença significativa da testemunha (T1), apresentou aumento no teor, provavelmente este boro foi proveniente da adubação foliar ¹⁰B. O tratamento T3 diferiu significativamente da testemunha (T1). Nos tratamentos T2 e T3, onde foi aplicada a adubação foliar, verificou-se resultados semelhantes não diferindo

estatisticamente. Já no tratamento T4 verificou-se maior porcentagem de ^{10}B nas folhas de 40,4%, ou seja, a maior parte do nutriente na folha nova provém de sua aplicação no substrato.

Os valores da %Bppf foram maiores no tratamento T4 (com ^{10}B no substrato, sem adubação foliar) comparado aos tratamentos T2 e T3 (Tabela 13). Do boro absorvido pelas folhas que receberam a pulverização, pequena parcela de 0,86% no tratamento T2, foi translocado para as folhas novas. No tratamento T3 que recebeu boro normal no substrato e ^{10}B foliar, observou-se que não houve redistribuição do B para as folhas novas. Isto ocorreu em razão da exigência nutricional desse órgão ter sua exigência atendida com teor de das folhas novas de 120 mg kg^{-1} . No tratamento T4 observou-se que ^{10}B aplicado no substrato foi absorvido pelas raízes e transportado para os órgãos em crescimento apresentado valores nas folhas de 25,96%. Diferentemente observou-se no tratamento T2 que a adubação foliar com ^{10}B apresentou valores nas folhas novas de 0,86% indicando que o tomateiro apresenta baixa mobilidade de B. Diferenças na absorção do boro foram observadas por BROWN & JONES (1971) verificaram entre duas cultivares de tomate, T3238 e Rutgers. Eles encontraram que a cv. T3238 tinha mais dificuldades em transportar o boro das raízes para as partes mais novas comparado com a cv. Rutgers. No presente trabalho foi utilizado o método do uso de isótopos, diferentemente do trabalho de BROWN & JONES (1971) que utilizaram o método indireto através da variação do teor de nutrientes nas folhas velhas e novas.

Observou-se que a concentração do B proveniente da solução nutritiva foi de 0,97; 0,00 e $27,06 \text{ mg kg}^{-1}$ respectivamente, para T2; T3 e T4. Esta concentração de boro nos tratamentos T2 e T3 nas folhas não foi suficiente para atender a exigência nutricional de B no tecido novo, sendo necessárias novas aplicações de B, principalmente, quando as plantas estiverem emitindo novas folhas. Além disso, deve-se tomar cuidado, pois a absorção de B é limitada porque a área foliar das folhas novas é restrita e a quantidade do nutriente depositada é pequena no momento da pulverização, portanto é importante aumentar a frequência das aplicações.

Observou-se uma mobilidade restrita do boro nas plantas de tomate, pois segundo HU & BROWN (1997) a mobilidade do boro é mais freqüente nas plantas que apresentam o boro complexado a carboidratos como sorbitol, manitol e ducitol.

Entretanto, DARVILL et al. (1978) e YAMAUCHI et al. (1986) conseguiram encontrar em plantas de tomate, polissacarídeo raminogalacturonano II que pode se complexar com o boro tornando possivelmente móvel na planta. Portanto, como no presente trabalho não foi verificado a mobilidade do boro, o que indica que a presença desses grupos de compostos orgânicos não foram importante para propiciar a sua mobilidade na planta.

A maior concentração de B no tratamento T4 pode ser explicada porque o B ao ser absorvido pelas raízes é transportado para a parte aérea da planta pelo fluxo transpiratório, o nutriente se dirigiu para as partes da planta que estão em atividade. Segundo HU & BROWN (1997), nas espécies em que o B tem redistribuição restrita, o nutriente absorvido pelas raízes é transportado para a parte aérea pela corrente transpiratória (xilema) e se acumula nos pontos de crescimento (folhas e galhos). Demonstra-se assim, que a aplicação do B no substrato é mais eficiente em atender a exigência nutricional das partes jovens da planta do que sua aplicação nas folhas. Isso porque o B é móvel no xilema, que é a principal forma de transporte deste das raízes para a parte aérea, mas é pouco móvel no floema, por onde deveria ser transportado das folhas que recebem a adubação foliar para as partes jovens da planta, que são os principais drenos.

Tabela 13. Teores médios de B nas folhas novas de tomateiro e porcentagem de ^{10}B na planta proveniente do fertilizante.

Tratamentos	mg kg^{-1}	% ^{10}B	%Bppf	mg kg^{-1} Bppf
T1 ⁽¹⁾	59b	19,9b	0,00	0,00
T2	112ab	20,5b	0,86	0,97
T3	120a	19,8b	0,00	0,00
T4	104ab	40,3a	25,96	27,06
CV	14,5	7,3		

Média com mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. ⁽¹⁾T1 = sem B no substrato, sem adubação foliar; T2 = sem B no substrato, com adubação foliar ^{10}B ; T3 = com B no substrato, com adubação foliar ^{10}B ; T4 = com ^{10}B no substrato, sem adubação foliar.

4.4.2 Beterraba

a) Efeito dos tratamentos no crescimento e na produção de matéria seca.

Houve diferença significativa nas características avaliadas com exceção da altura, número de folhas, diâmetro da raiz tuberosa e área foliar em função dos

tratamentos. O tratamento T2 apresentou maior acúmulo de matéria seca diferindo dos tratamentos T1, T3 e T4 (Tabela 14). O tratamento foliar foi melhor que o radicular possivelmente devido ao curto período de desenvolvimento das plantas (40 dias).

Tabela 14. Matéria fresca (MFRT) e seca da raiz tuberosa (MSRT), matéria seca das folhas, altura (ALT), número de folhas (NF), diâmetro da raiz tuberosa (DR), área foliar (AF) e matéria seca planta inteira (MST) em função da aplicação de boro em plantas de beterraba.

	MFRT	MSRT	Folha velha	Folha nova	ALT	NF	DR	AF	MST
	g		g		cm		mm	cm ²	g
T1 ⁽¹⁾	62,77b	6,89a	3,74ab	0,76b	26,79a	10a	49,88a	459,163a	11,39ab
T2	78,43a	7,24a	3,98a	1,24a	27,67a	12a	54,47a	798,528a	12,47a
T3	67,66b	6,89a	3,92a	0,96ab	26,50a	11a	50,92a	551,188a	11,77a
T4	62,26b	5,71b	3,36b	0,99ab	25,00a	10a	50,89a	551,177a	10,06b
CV	6,8	9,5	8,7	23,7	12,4	16,0	10,0	55,9	7,3

Média com mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. ⁽¹⁾T1 = sem B no substrato, sem adubação foliar; T2 = sem B no substrato, com adubação foliar ¹⁰B; T3 = com B no substrato, com adubação foliar ¹⁰B; T4 = com ¹⁰B no substrato, sem adubação foliar.

O teor de boro das folhas dos tratamentos T3 e T4 apresentaram teor de boro acima do considerado adequado para as plantas de beterraba uma vez que TRANI & RAIJ (1997) verificaram valores de 40-80 mg kg⁻¹ considerado ideal para o desenvolvimento das plantas de beterraba (Tabela 14). O tratamento T2 (sem B no substrato, com adubação foliar ¹⁰B) apesar de não ter apresentado diferença significativa da testemunha (T1), apresentou aumento no teor, provavelmente este boro foi proveniente da adubação foliar ¹⁰B. O tratamento T3 (com B no substrato, com adubação foliar ¹⁰B) e T4 (com ¹⁰B no substrato, sem adubação foliar) diferiram significativamente da testemunha (T1) e T2. Já no tratamento T4 verificou-se maior porcentagem de ¹⁰B nas folhas de 39,1% ou seja, a maior parte do micronutriente na folha nova provém de sua aplicação no substrato.

Os valores da %Bppf foram maiores no tratamento T4 (com ¹⁰B no substrato, sem adubação foliar) comparado aos tratamentos T2 e T3 (Tabela 14). Do boro absorvido pelas folhas que receberam a pulverização, pequena parcela de 1,71 e 0,16%, respectivamente para T2 e T3, foi translocado para as folhas novas. No tratamento T4 observou-se que o ¹⁰B aplicado no substrato foi absorvido pelas raízes e transportado para os órgãos em crescimento apresentado valores nas folhas de 24,35%, diferentemente observou-se no tratamento T2 que a adubação foliar com ¹⁰B apresentou valores nas folhas novas de

1,71% indicando que as plantas de beterraba apresentam baixa mobilidade de B. Diferenças na absorção do boro foram verificadas por SHELPS et al. (1987) verificaram diferença na absorção do boro em rabanete. Eles encontraram que o nutriente foi distribuído no floema das raízes para as partes mais jovens da planta quando o boro apresentava concentrações adequadas na solução. No presente trabalho foi utilizado o método do uso de isótopos, diferentemente do trabalho de SHELPS et al. (1987) que utilizaram o método indireto através da variação do teor de nutrientes.

Observou-se que a concentração do B proveniente da solução nutritiva foi de 1,13; 0,20 e 42,46 mg kg⁻¹ respectivamente, para T2; T3 e T4. Esta concentração de boro nos tratamentos T2 e T3 nas folhas não foi suficiente para atender a exigência nutricional de B no tecido novo, sendo necessárias novas aplicações de B, principalmente, quando as plantas estiverem emitindo novas folhas. Além disso, deve-se tomar cuidado, pois a absorção de B é limitada porque a área foliar das folhas novas é restrita e a quantidade do nutriente depositada é pequena no momento da pulverização, portanto é importante aumentar a frequência das aplicações.

A maior concentração de B no tratamento T4 pode ser explicada porque o B ao ser absorvido pelas raízes é transportado para a parte aérea da planta pelo fluxo transpiratório, o nutriente se dirigiu para as partes da planta que estão em atividade. Segundo HU & BROWN (1997), nas espécies em que o B tem redistribuição restrita, o nutriente absorvido pelas raízes é transportado para a parte aérea pela corrente transpiratória (xilema) e se acumula nos pontos de crescimento (folhas e galhos). Demonstra-se assim, que a aplicação do B no substrato é mais eficiente em nutrir as partes jovens da planta do que sua aplicação nas folhas. Isso porque o B é móvel no xilema, que é a principal forma de transporte deste das raízes para a parte aérea, mas é pouco móvel no floema, por onde deveria ser transportado das folhas que recebem a adubação foliar para as partes jovens da planta, que são os principais drenos.

Observou-se uma mobilidade restrita do boro nas plantas de beterraba, pois a mobilidade do boro é mais freqüente nas plantas que apresentam o boro complexado a carboidratos como sorbitol, manitol e ducitol. Em trabalho realizado por ISHII & MATSUNAGA (1996) em beterraba, identificaram que o boro forma complexo com raminogalacturonano II que pode se complexar com o boro tornando possivelmente

móvel na planta. Portanto, como no presente trabalho não foi verificado a mobilidade do boro, o que indica que a presença desses grupos de compostos orgânicos não foram importantes para propiciar a sua mobilidade na planta.

Tabela 14. Teores médios de B nas folhas novas de beterraba e porcentagem de ^{10}B na planta proveniente do fertilizante.

Tratamentos	mg kg^{-1}	% ^{10}B	%Bppf	mg kg^{-1} Bppf
T1 ⁽¹⁾	42,5b	19,9b	0,00	0,00
T2	66,1b	21,2b	1,71	1,13
T3	123,6a	20,0b	0,16	0,20
T4	174,3a	39,1a	24,35	42,46
CV	31,2	8,7		

Média com mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. ⁽¹⁾T1 = sem B no substrato, sem adubação foliar; T2 = sem B no substrato, com adubação foliar ^{10}B ; T3 = com B no substrato, com adubação foliar ^{10}B ; T4 = com ^{10}B no substrato, sem adubação foliar.

5 CONCLUSÕES

O prejuízo da deficiência de boro ficou evidente no final do ciclo das hortaliças (terceiro estágio de desenvolvimento), causando maior diminuição nos órgãos reprodutivos do tomate (frutos) e da beterraba (raiz tuberosa).

A adubação foliar com o micronutriente promoveu a maior produção de matérias secas do fruto e da planta inteira do tomateiro, com pulverizações foliares de B na concentração de $0,340 \text{ g L}^{-1}$ e esteve associada com o teor foliar de B de 72 mg kg^{-1} . Para a produção de matérias secas da raiz tuberosa e da planta inteira de beterraba ocorreu com $0,065 \text{ g L}^{-1}$ e associou-se com o teor de B de 27 mg kg^{-1} .

O B é rapidamente absorvido pelas folhas, chegando a atingir 50% do B absorvido, próximo de dez horas após aplicação para o tomate e duas horas e meia após a aplicação para a beterraba.

Observou-se que a aplicação do boro via foliar não foi eficiente para aumentar o teor do micronutriente no tecido novo das hortaliças emitido após a aplicação, comparado a aplicação do nutriente via raiz, inferindo não haver mobilidade do boro nas culturas do tomate e da beterraba.

6 REFERÊNCIAS

- ALVARENGA, M.A.R. **Tomate: Produção em campo, em casa de vegetação e em hidroponia**. Lavras: UFLA, 2004. 400p.
- AMBERGER, A. **Pflanzenernährung**: Ökologische und phisiologische Grundlagen Dynamik und Stoffwechsel der Nährelemente. Stuttgart: Eugen Ulmer, 3.ed. 264p.,1988.
- ANUÁRIO DA AGRICULTURA BRASILEIRA - AGRIANUAL, 2009. Campo Grande: FNP Consultoria e Comércio, 2009. 512p.
- ASAD, A.; BLAMEY, F.P.C.; EDWARDS, D.G. Boron nutrition of sunflower crops. In: REUNIÃO NACIONAL DE PESQUISA DE GIRASSOL, 14., SIMPÓSIO NACIONAL SOBRE A CULTURA DO GIRASSOL, 2., 2001, Rio Verde. **Resumos...** Rio Verde: FESURV/IAM, p.14-19, 2001.
- BELLALOUI, N.; BROWN, P.H. Cultivar differences in boron uptake and distribution in celery (*Apium graveolins*), tomato (*Lycopersicon esculentum*) and wheat (*Triticum aestivum*). **Plant and Soil**, Netherlands, v.198, p.153-158, 1998.
- BELLATO, A.C.D.S. **Determinação isotópica e elementar de boro em amostras vegetais por espectrometria de massas com fonte de plasma (ICP-MS)**. 1999. 71p. Dissertação (Mestrado em Ciências, Área de Concentração em Energia Nuclear na Agricultura) - Centro de Energia Nuclear na Agricultura/USP, Piracicaba.
- BERGMANN, W. The significance of the micronutrient boron in agriculture. In: **Symposium held by the borax group in the international trade centre of the g.d.r.**; 1984, Berlin. Berlin: Borax Holdings, 1984, p. 1-26.
- BIÈVRE, P.D.; BARNES, I.L. Table of the isotopic composition of the elements as determined by mass spectrometry. **International Journal of Mass Spectrometry and Ion Processes**, Amsterdam, v.65, p.211-230, 1985.
- BLEVINS, D.G.; LUKASZEWSKI, K.M. Boron plant structure and function. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, Palo Alto, v.49, p.481-500, 1998.

- BOARETTO, A.E.; BOARETTO, R.M.; CONTIN, T.L.M.; MURAOKA, T. É móvel ou imóvel o Boro em Laranja? **Laranja**, Cordeirópolis, v. 25, n. 1, p. 195-208, 2004.
- BOARETTO, A.E.; MURAOKA, T.; BOARETTO, R.M. Absorção e translocação de micronutrientes (^{65}Zn , ^{54}Mn , ^{10}B), aplicados via foliar, pelos citros. **Laranja**, Cordeirópolis, v. 24, n. 1, p. 177-198, 2003.
- BOARETTO, R.M. **Boro (^{10}B) em Laranja: absorção e mobilidade**. (Tese de doutorado), ESALQ, Piracicaba, 120p., 2006.
- BROWN J.C., JONES W.E. Differential transport of boron in Tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.). **Plant Physiology**, Rockville, v.25, p.279–282, 1971.
- BROWN, P.H.; HU, H. Boron uptake by sunflower, squash, and cultured tobacco cells. **Physiologia Plantarum**, Copenhagen, v.91, p.435-441, 1994.
- BROWN, P.H.; SHELPS, B.J. Boron mobility in plants. **Plant and Soil**, Dordrecht, v.193, p.85-101, 1997.
- BONILLA, I.; CADAHÍA, C.; CARPENA, O. Effects of boron on nitrogen metabolism and sugar levels of sugar beet. **Plant and Soil**, Dordrecht, v.57, p.3-9, 1980.
- CAKMAK, I.; RÖMHELD, V. Boron deficiency-induced impairments of cellular functions in plants. **Plant and Soil**, Dordrecht, v.193, n.1-2, p.71-83, jun. 1997.
- CAKMAK, I.; KURZ, H.; MARSCHNER, H. Short-term effects of boron, germanium and high light intensity on membrane permeability in boron deficient leaves of sunflower. **Physiology Plantarum**, Copenhagen, v.95, n.1, p.11-18, sept. 1995.
- CAMARGO FILHO, W.P.; MAZZEI, A.R. Mercado de beterraba em São Paulo. **Informações Econômicas**, São Paulo, v.32, n.4, p.54-56, 2002.
- CERVILLA LM; BLASCO B; RÍOS JJ; ROMERO L; RUIZ JM. Oxidative stress and antioxidants in tomato (*Solanum lycopersicum*) plants subjected to boron toxicity. **Annals of Botany**, v.100, p.747–756. 2007.
- CEAGESP. **Tomate - Classificação do tomate**. Disponível em: <<http://www.ceagesp.gov.br/produtor/tecnicas/classific/>> Acesso em: 25 jul. 2009.

- COHEN, M.S.; LEPPER, R. Effects of boron on cell elongation and division in squash roots. **Plant Physiology**, v.59, p.884-887, 1977.
- COUTINHO, E.L.M.; NATALE, W.; SOUZA, E.C.A. Adubos e corretivos: Aspectos particulares na olericultura. p.85-140, 1993. In: FERREIRA, M.E.; CASTELLANE, P.D.; CRUZ, M.C.P. **Nutrição e adubação de hortaliças**. Piracicaba: POTAFOS, 1993.
- DARVILL, A.G.; MCNEIL, M.; ALBERSHEIM, P. Structure of plant cell walls. **Plant Physiology**, v.62, p.418-422, 1978.
- DAVIS, J.M.; SANDERS, D.C.; NELSON, P.V.; LENGNICK, L.; SPERRY, W.J. Boron Improves Growth, Yield, Quality, and Nutrient Content of Tomato. **American Society for Horticultural Science**, v.128, p.441-446, 2003.
- DECHEN, A.R.; HAAG, H.P.; CARMELLO, Q.A.C. Funções dos micronutrientes nas plantas. In: FERREIRA, M.E.; CRUZ, M.C.P. (Ed.) **Micronutrientes na agricultura**. Piracicaba: POTAFOS, p.65-78. 1991.
- DELL, B.; HUANG, L.B. Physiological response of plants to low boron. **Plant and Soil**, v.193, p.103-120, 1997.
- DEMBITSKY, V.M.; SMOUM, R.; AL-QUNTAR, A.A.; ALI, H.A.; PERGMAMENT, I.; SREBNIK, M. Natural occurrence of boron-containing compounds in plants, algae and microorganisms. **Plant Science**, Amsterdam, v.163, p.931-942, 2002.
- DUGGER, W. M. **Boron in plant metabolism**. In Encyclopedia of Plant Physiology, New Series, vol. 15B. Eds. A Lauchli and R L Bieleski, p.626-650. Springer-Verlag, Berlin. 1983.
- EPSTEIN E. Flow in the phloem and the immobility of calcium and boron: a new concept in support of an old one. **Cellular and Molecular Life Sciences**, v.29, n.1, p.133-134, 1973.
- FERREIRA, M.D.; TIVELLI, S.W. **Cultura da beterraba**: condições gerais. 3. ed. Guaxupé: Indústrias Gráficas Pirassununga Ltda., p.14, 1990.

- FILGUEIRA, F.A.R. **Novo manual de olericultura: agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças**. Viçosa: 3ed. Ed. UFV, 421p., 2007.
- FRANCOIS, L.E. Effect of excess boron on broccoli, cauliflower, and radish. **Journal American Society Horticultural Science**, v.111, n.4, p.494-498, 1986.
- GENÚNCIO, G.C.; MAJEROWICZ, N.; ZONTA, D.; SANTOS, A.M.; GRACIA, D.; AHMED, C.R.M.; SILVA, M.G. Crescimento e produtividade do tomateiro em cultivo hidropônico NFT em função da concentração iônica da solução nutritiva. **Horticultura Brasileira**, v.24, p. 175-179. 2006.
- GOLDBERG, S. Reactions of boron with soils. In: DELL, B.; BROWN, P.H.; BELL, R.W. **Boron in soils and plants: Reviews**. Dordrecht: Kluwer Academic, p.35-48, 1997.
- GUPTA, U.C. Boron nutrition of crops. **Advances in Agronomy**, San Diego, v.31, p.273-307, 1979.
- GUPTA, U.C.; CUTCLIFFE, J.A. Boron nutrition of carrots and table beets grown in a boron deficient soil. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v.16, p.509-516, 1985.
- GUPTA, U.C.; JAMES, Y.W.; CAMPBELL, C.A.; LEYSHON, A.J.; NICHOLAICHUK, W. Boron toxicity and deficiency: A review. **Canadian Journal Soil Science**. Ottawa, v.65, p.381-409, 1985.
- GUPTA, U.C.; MUNRO, D.C. The boron content of tissues and roots of rutabagas and of soil as associated with brown-heart condition. **Soil Science Society American proceedings**, v.33, p.424-426, 1969.
- GUNES A; ALPASLAN M; CIKILI Y; OZCAN H. Effect of zinc on the alleviation of boron toxicity in tomato. **Journal of Plant Nutrition**, v.22, p.1061-1068. 1999.
- HAAG, H.P.; OLIVEIRA, G.D.; BARBOSA, V.; SILVA, J.M. Nutrição mineral de hortaliças. Marcha de absorção de nutrientes pelo tomateiro destinado ao processamento industrial. **Anais da ESALQ**, Piracicaba, v.35, p. 243-270, 1978.

- HEMPHILL, Jr., D.D.; WEBER, M.S.; JACKSON, T.L. Table beet yield and boron deficiency as influenced by lime, nitrogen and boron. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.46, p.1190-1192, 1982.
- HOAGLAND, D.R.; ARNON, D. I. The water culture method for growing plants without soils. Berkeley: **California Agricultural Experimental Station**, 347p., 1950.
- HU H.; BROWN P.H. Localization of boron in cell walls of squash and tobacco and its association with pectin. **Plant Physiology**, Rockville, v.105, p.681-689, 1994.
- HU H.; BROWN P.H. Absorption of boron by plant roots. **Plant and Soil**, Hague, Chapter 4, v.193, p.49-58, 1997.
- HU, H.; PENN, S. G.; LEBRILLA, C. B.; BROWN, P. H. Isolation and characterization of soluble boron complexes in higher plants: the mechanism of phloem mobility of boron. **Plant Physiology**, Rockville, v.113, n.2, p.649-655, feb. 1997.
- ISHII, T.; MATSUNAGA, T. Isolation and characterisation of a boron-rhamnogalacturonan-II complex from cell walls of sugar beet pulp. **Carbohydrate Research**, 284, 1–9. 1996.
- KABATA-PENDIAS, A.; PENDIAS, H. Elemento f group III. In: _____ **Trace elements in soil and plants**. 1. ed. Boca Raton: CRC Press, p.127-134, 1984.
- KOUCHI, H.; KUMAZAWA, K. Anatomical responses of root tips to boron deficiency II. Effect of boron deficiency on the cellular growth and development in root tips. **Soil Science Plant Nutrition**, 21, 137–150. 1975.
- KOBAYASHI, M.; OHNO, K. and MATOH, T. Boron nutrition of cultured tobacco BY-2 cells. II. Characterization of the boron-polysaccharide complex. **Plant Cell Physiology**, v.38, p.676-683. 1997.
- LENOBLE, M.E.; BLEVINS, D.G.; MILES, R.J. Boro extra mantém crescimento radicular sob condições de alumínio tóxicos. **Informações Agronômicas**, n.92, p.3-4, 2000.
- LOOMIS, W.D.; DURST, R.W. Chemistry and biology of boron. **BioFactors**, Oxford, v.3, n.4, p.229-239, 1992.

- LUKASZEWSKI, K.M.; BLEVINS, D.G. Root growth inhibition in boron deficient or aluminum-stressed squash may be a result of impaired ascorbate metabolism. **Plant Physiology**, Rockville, v.112, p.1135-1140, 1996.
- MACK, H.J. Effects of row spacing, fertilizers and harvest dates on table beets. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Alexandria, v.104, p.717-720, 1989.
- MAGALHÃES, J.R. **Diagnose de desordens nutricionais em hortaliças**. Brasília: EMBRAPA/ CNPH, 1988. 64 p. (EMBRAPA/CNPH - Documentos, 1)
- MALAVOLTA, E. **Elementos de nutrição de plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 251p., 1980.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, C.G.; OLIVEIRA, S.A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1997, 319p.
- MARSCHNER H. **Mineral nutrition of higher plants**. 2nd ed. New York: Academic Press, p.379-396, 1995.
- MATOH, T. Boron in plant cell walls. **Plant and Soil**, Dordrecht, v.193, n.1/2, p.59-70, jun. 1997.
- MAZÉ, P. Determination des elements minéraux rares nécessaires au développement du maïs. **Comptes Rendus de l' Academie de Sciences**, Paris, v.160, p. 211-214, 1915.
- MAZÉ, P. Recherche d'une solution purement minerale capable du maïs cultivé à l'abri des microbes. **Annales de l' Institute Pasteur**, Paris, v.33, p.139-173, 1919.
- MELO, J.W.; LEMOS, E.G.M. Análise bioquímica de plantas. p. 310-331. In **Simpósio sobre Micronutrientes na Agricultura**, 1. Potafos/CNPq. Piracicaba, São Paulo. 734 p. 1991.
- MENGEL, K.; KIRKBY, E. A. Boron. In: MENGEL, K.; KIRKBY, E. A. **Principles of Plant Nutrition**. 5 ed. Dordrecht: Kluwer Academic, 2001. p.621-638.

- OYEWOLE, O.I.; ADUAYI, E.A. Evaluation of the growth and quality of the "Ife plum" tomato as affected by boron and calcium fertilization. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v.15, p.199-209, 1992.
- PLESE, L.P.M., TIRITAN, C.S., YASSUDA, E.I.; PROCHNOW, L.I.; CORRENTE, J.E.; MELLO, S.C. Efeitos das aplicações de cálcio e de boro na ocorrência de podridão apical e produção de tomate em estufa. **Scientia agrícola**, Piracicaba, v.55, n.1, p.144-148, 1998.
- POWER, P.P.; WOODS, W.G. The chemistry of boron and its speciation in plants. **Plant and Soil**, Dordrecht, v.193, n.1/2, p.1-14, jun. 1997.
- RAIJ, B. **Fertilidade do solo e adubação**. São Paulo: Ceres/Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 343p. 1991.
- RUIZ, J.M.; RIVERO, R.M.; ROMERO, L. Boron increases synthesis of glutathione in sunflower plants subjected to aluminum stress. **Plant and Soil**, v. 279, n.2, p. 25-30, 2006.
- SAEG - **Sistema de análises estatísticas e genéticas**. UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA - UFV. Versão 8.0. Viçosa, MG, 2000. 142p.
- SANTOS, I.S.; BARBEADO, C.J.; PIPITAI, R.; FERREIRA, S.M.; NAKAGAWA, J. Estudo da relação Ca x B na cultura do pimentão. **Horticultura Brasileira**. Brasília, v.8, p.19-23, 1990.
- SERESINHE, P.S.J.W.; OERTLI, J.J. Effects of boron on growth of tomato cell suspensions. **Physiologia Plantarum**, Copenhagen, v. 81, p.31-36, 1991.
- SHELP, B. J. Physiology and biochemistry of boron in plants. In: **Boron and its role in crop production**. Ed. U.C. Gupta. p. 53-85, CRC Press, Boca Raton, FL, USA. 1993.
- SHELP, B. J.; MARENTES, E.; KITHEKA, A. M.; VIVEKANANDAN, P. Boron mobility in plants. **Physiologia Plantarum**, Copenhagen, v.94, p.356 -361, 1995.
- SHELP, B. J.; SHATTUCK, V. I.; PROCTOR, J. T. A. Boron nutrition and mobility, and its relation to the elemental composition of greenhouse grown root crops. II Radish. **Communication in Soil Science Plant Analytic**, v.18, n. 2, p.203-219, 1987.

- SHELP, B.J. Boron mobility and nutrition in broccoli (*Brassica oleracea* var. Italica). **Annals of Botany**, London, v.61, p.83-91, 1988.
- SHORROCKS, V.M. The occurrence and correction of boron deficiency. **Plant and Soil**, Dordrecht, v.193, n.1/2, p.121-148, 1997.
- SOTIROPOULOS, T.E.; MOLASSIOTIS, A.; ALMALIOTIS, D.; MOUHTARIDOU, G.; DIMASSI, K.; THERIOS, I.; DIAMANTIDIS, G. Growth, nutritional status, chlorophyll content, and antioxidant responses of the apple rootstock mm 111 shoots cultured under high boron concentrations in vitro. **Journal of Plant Nutrition**, v.29, n.3, p.575-583, 2006.
- STASS, A.; KOTUR, Z.; HORST, W.J. Effect of boron on the expression of aluminum toxicity in *Phaseolus vulgaris*. **Physiologia Plantarum** 131: 283–290. 2007.
- TEDESCO, M. J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C.A.; BOHEN, H.; VOLKWEISS, S. **Análise de solo, planta e outros materiais**. Porto Alegre: Departamento de Solo. Faculdade de Agronomia. Universidade do Rio Grande do Sul, 1995. 174p.
- TRANI, P.E. FORNASIER, J. B. LISBÃO, R.S. Nutrição e adubação da beterraba. In: **Nutrição e adubação de hortaliças**. Campinas: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1993. p.429-446.
- TRANI, P.E.; van. RAIJ, B. Hortaliças. In: RAIJ, B.van.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A.M.C. **Recomendações de adubação e calagem para o estado de São Paulo**. 2^a ed. Campinas: Instituto Agrônômico, 1997. p.175. (Boletim técnico, 100).
- TRANI; P.E.; CANTARELLA, H.; TIVELLI, S.W. Efeito de doses de N em cobertura na cultura da beterraba. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v.21, n.2, suplemento, julho, 2003.
- TRIVELIN, P.C.O. **Utilização do nitrogênio pela cana-de-açúcar: Três casos estudados com o uso do traçador ¹⁵N**. 2000. 143f. Livre-docência (Especialidade/Disciplina: Isótopos Estáveis) – Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2000.
- UDDIN, K.Md.; KHALEQUZZAMAN, K.M.; RAHMAN, M.Md; SIDDIQUIE, N.; ALI, O. Md. Yield and yield components of winter Chilli (*Capsicum annum* L.) as affected by different

- levels of nitrogen and boron. **Pakistan Journal of Biological Sciences**, v.6, n.6, p.605-609, 2003.
- Van. GOOR, B.J; van. LUNE, P. Redistribution of potassium, boron, iron, magnesium and calcium in apples trees by an indirect method. **Physiologia Plantarum**, Copenhagen, v.48, p.21-26, 1980.
- WARINGTON, K. The effect of boric acid and borax on the broad bean and certain other plants. **Annals of Botany**, London, v.37, p.629-672, 1923.
- YAMAUCHI, T.; HARA, T.; SONIDA, Y. Distribution of calcium and boron in the pectin fraction of tomato leaf cell wall. **Plant and Cell Physiology**, v.27, p.729-732, 1986.
- ZIMMERMANN M. H. Transport in the phloem. **Annual Review of Plant Physiology**, California, v.11, p.167-190, 1960.
- ZIMMERMANN, M. H.; ZIEGLER, H. List of sugars and sugar alcohols in sieve-tube exudates. In: ZIMMERMANN, M. H.; MILBURN, J.A., eds. **Encyclopedia of plant physiology**. Volume 1. **Transport in plants. I. Phloem transport**. New York: Springer-Verlag, p.480-503, 1975.