

Boro (^{10}B) em laranja: absorção e mobilidade

RODRIGO MARCELLI BOARETTO

Tese apresentada ao Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, para obtenção do título de Doutor em Ciências, Área de Concentração: Energia Nuclear na Agricultura e no Ambiente.

PIRACICABA
Estado de São Paulo - Brasil
Fevereiro - 2006

Boro (^{10}B) em laranja: absorção e mobilidade

RODRIGO MARCELLI BOARETTO

Engenheiro Agrônomo

Orientador: Prof. Dr. ANTONIO ENEDI BOARETTO

Tese apresentada ao Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, para obtenção do título de Doutor em Ciências, Área de Concentração: Energia Nuclear na Agricultura e no Ambiente.

PIRACICABA

Estado de São Paulo - Brasil

Fevereiro – 2006

AUTORIZO A REPRODUÇÃO E DIVULGAÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

Dados internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Seção Técnica de Biblioteca – CENA/USP

Boaretto, Rodrigo Marcelli

Boro (¹⁰B) em laranja: absorção e mobilidade / Rodrigo Marcelli Boaretto; orientador Antonio Eneidi Boaretto. - - Piracicaba, 2006.
120 p. : fig.

Tese (Doutorado – Programa de Pós-Graduação em Ciências.
Área de Concentração: Energia Nuclear na Agricultura e no Ambiente) –
Centro de Energia Nuclear na Agricultura da Universidade de São Paulo.

Bibliografia.

1. Adubação foliar 2. Citricultura 3. Fertilidade do solo 4. Isótopos estáveis 5. Nutrição vegetal I. Título

CDU 634.31:631.81

Ао

ТАО

ТОДО

DEDICO

*Aos meus pais, Juarez e Vanda,
que com muita dedicação e amor
sempre estiveram ao meu lado*

A Luciana

A Irmã Daniela

A todos os meus familiares...

OFEREÇO

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. Antonio Eneidi Boaretto, pela orientação, ensinamentos, confiança, incentivo, paciência e apoio em todas etapas deste trabalho.

Aos Prof. Dr. Takashi Muraoka e Prof. Dr. Cássio Hamilton Abreu Junior pelo convívio e troca de experiências e informações.

À Profa. Dra. Maria Fernanda Giné Rosias e a Dra. Ana Cláudia Dias Sanches Bellato, pelo auxílio nas análises no ICP-MS.

Prof. Dr. Patrick Brown e ao Dr. Hening Hu, da Universidade da Califórnia, por me receber em seu laboratório e pela atenção dada durante minha permanência nos EUA.

Ao Prof. Dr. Francisco Assis A. Mourão Filho e ao Dr. Antonio José Quaggio pelas sugestões na elaboração dos experimentos.

Ao Dr. Tsuioshi Yamada da Potafos pelo apoio e atenção.

Ao Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, por colocar à disposição pesquisadores, funcionários e infra-estrutura, que possibilitaram a execução do trabalho e pela possibilidade de realização do curso.

A Coordenadoria de Aperfeiçoamento de Pessoal de Ensino Superior (CAPES) e a Fundação de Amparo a Pesquisa no Estado de São Paulo (FAPESP), pelas concessões de bolsas e pelo auxílio financeiro das pesquisas.

Aos funcionários e amigos dos Laboratórios de Nutrição Mineral de Plantas e Fertilidade do Solo, em especial a Henriqueta, que me aturou todos esses anos.

Aos estagiários Carolina, Marcos, Alexandre e Viviane pelo auxílio nas atividades laboratoriais.

Aos amigos da Pós-Graduação, Anderson, Mario, Marquinhos, Raul, Rachel, Denis, Tatiana, Fernanda, Barizon, Adriana, Thiago, Roberto Wagner, Genelício, Jose Lavres, Felipe, Cleusa... pela amizade e companheirismo durante o período de realização do curso.

Aos amigos que nos incentivam e dão força Célio, Décio, Ricardo, o pessoal do futebol e...

Aos amigos de Davis Todd, Romeu, Rose, Marcus, Marília, Erik, Fabiana, Lenn, Fernanda, Richard, Gerardo, Alexandra, Llanos, sem os quais a minha permanência nos EUA não teria sido a mesma.

A Fazenda Santa Lúcia, Grupo Branco Peres, e aos Engenheiros Agrônomos Luciano Momesso e André Leonardo, pela concessão da área experimental e apoio no experimento de campo.

A todas as pessoas que de alguma forma colaboraram com a execução deste trabalho.

“Não se pode resolver um problema usando o mesmo tipo de raciocínio que causou o problema.” (Albert Einstein)

“Nada se pode ensinar a um homem, o que se pode é ajudar a ele aprender as coisas em si mesmo.” (Galileu Galilei)

*“A vida é muito importante para ser levada a sério”
(Oscar Wilde)*

SUMÁRIO

	Página
LISTA DE FIGURAS	ix
LISTA DE TABELAS	xi
RESUMO	xii
SUMMARY	xiv
1 INTRODUÇÃO	1
2 REVISÃO DE LITERATURA	4
2.1 Importância econômica da citricultura	4
2.2 Características gerais das plantas de cítricas	5
2.3 Influência do porta-enxerto na composição mineral da copa	7
2.4 Elemento Boro.....	10
2.5 O Boro como nutriente	11
2.6 Definições utilizadas na tese: Absorção, mobilidade, transporte e redistribuição ou remobilização	15
2.7 Absorção de Boro pelas plantas.....	16
2.8 Mobilidade do Boro nas plantas	20
2.9 Boro em laranjeiras	23
2.10 Comparação entre as adubações no solo e nas folhas.....	25
2.11 Boro estável (¹⁰ B)	30
2.12 Espectrometria de massas com fonte de plasma.....	32
3 MATERIAL E MÉTODOS	34
3.1 Experimentos	34
3.1.1 Experimento 1: Absorção radicular do B em laranjeiras jovens e sua redistribuição nas plantas.....	34
3.1.2 Experimento 2: Absorção foliar de B por laranjeiras jovens e sua redistribuição na planta	39
3.1.3 Experimento 3: Redistribuição do B absorvido pelas raízes e folhas de laranjeiras jovens	41
3.1.4 Experimento 4: Absorção do B pelas raízes e folhas das laranjeiras e sua redistribuição para os frutos	42
3.2 Análises químicas	47
3.2.1 Preparo das amostras	47

3.2.2 Determinação do B total.....	47
3.2.3 Determinação de razões isotópicas ($^{11}\text{B}/^{10}\text{B}$).....	48
3.3 Análise isotópica	49
3.3.1 Equipamento (ICP-MS)	49
3.3.2 Otimização e calibração de massas do ICP-MS	49
3.3.3 Diminuição do efeito de memória	50
3.4 Materiais e Analíticos	51
3.4.1 Materiais de laboratório.....	51
3.4.2 Adubo enriquecido em ^{10}B	51
3.5 Cálculo da % Bppf.....	52
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	53
4.1 Experimento 1: Absorção radicular do B em laranjeiras jovens e sua redistribuição nas plantas.....	53
4.1.1 Variação do pH e da condutividade elétrica na solução nutritiva	53
4.1.2 Acúmulo de biomassa	56
4.1.3 Concentração de B total	58
4.1.4 Partição do B total e do ^{10}B na laranjeira	63
4.1.5 Concentração na laranjeira do B proveniente da solução nutritiva.....	65
4.1.6 Redistribuição do B na laranjeira.....	68
4.2 Experimento 2: Absorção foliar de B por laranjeiras jovens e sua redistribuição na planta	73
4.3 Experimento 3: Redistribuição do B absorvido pelas raízes e folhas de laranjeiras jovens	79
4.4 Experimento 4: Absorção do B pelas raízes e folhas das laranjeiras e sua redistribuição para os frutos	83
4.4.1 Concentração de B total nas folhas, na parte lenhosa dos ramos e nos frutos.....	83
4.4.2 Concentração de B proveniente do fertilizante nas folhas, nas partes lenhosas e nos frutos e mobilidade do nutriente na laranjeira	88
4.4.3 Efeito residual da adubação com B.....	91
4.4.4 Produção e exportação de B.....	96
5 CONCLUSÕES	99
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	101

LISTA DE FIGURAS

	Página
Figura 3.1. A – Vista geral do início do experimento; B – Sistema radicular da laranjeira recém transplantada em solução nutritiva	36
Figura 3.2. Aplicação de ¹⁰ B no solo, simulando o sistema de gotejo	44
Figura 3.3. Valores de temperatura e precipitação pluviométrica registrada pela fazenda durante o período do experimento. Épocas de aplicação de ¹⁰ B: 1 ^a Adubação (29/09/2003); 2 ^a Adubação (19/01/2004)	46
Figura 3.4. Diagrama do sistema de injeção em fluxo. L representa a alça de amostragem (50 cm), C a solução transportadora (H ₂ O) e W o lixo. As setas pequenas indicam a ação da bomba peristáltica e a maior o movimento da seção central do injetor	50
Figura 4.1. Variação do pH das soluções nutritivas dos diferentes tratamentos, em função dos dias após o início do tratamento com ¹⁰ B.....	55
Figura 4.2. Variação da condutividade elétrica da solução nutritiva dos diferentes tratamentos, em função dos dias após o início do tratamento com ¹⁰ B	56
Figura 4.3. Concentração de B nas partes lenhosas da laranjeira	61
Figura 4.4. Concentração de B total na laranjeira	62
Figura 4.5. Partição do B nas partes da laranjeira.....	64
Figura 4.6. Partição do B nos órgãos da laranjeira.....	65
Figura 4.7. Concentração de B proveniente do fertilizante na matéria seca das folhas das laranjeiras.....	66
Figura 4.8. Concentração de B proveniente do fertilizante por kg de matéria seca nos tecidos lenhosos da laranjeira.....	67
Figura 4.9. Concentração de B proveniente da solução nutritiva na matéria seca das flores e frutos da laranjeira.....	68
Figura 4.10. Contribuição das reservas de B da planta para as folhas novas.....	69
Figura 4.11. Contribuição das reservas de B da planta para os ramos novos.....	70

Figura 4.12. Contribuição das reservas de B da planta para as flores e frutos da laranjeira no 3º período (abr/02 a jun/02)	71
Figura 4.13. Contribuição da reserva de B para o desenvolvimento das partes novas das laranjeiras (Folha Nova + Ramo Novo + Flor + Fruto)	72
Figura 4.14. Eficiência da absorção de B (quantidade absorvida em relação à quantidade depositada na superfície da folha) pelas laranjeiras	75
Figura 4.15. Concentração de B nos tecidos lenhosos nos diferentes períodos de amostragem	76
Figura 4.16. Concentração de B das folhas que receberam a pulverização foliar nos diferentes tratamentos	79
Figura 4.17. Localização do B absorvido pelas laranjeiras.....	80
Figura 4.18. Concentração de B total nas folhas do mesmo fluxo de crescimento colhidas em janeiro e agosto de 2004.....	84
Figura 4.19. Concentração de B total na parte lenhosa dos ramos dos fluxos de crescimento da laranjeira, colhidos em agosto de 2004 (A) e do 1º Fluxo de crescimento, amostrados em janeiro e agosto de 2004 (B)	85
Figura 4.20. Concentrações de B total e Bppf (proveniente do fertilizante) na semente, polpa e casca dos frutos das laranjeiras, colhidos em setembro de 2004	86
Figura 4.21. Concentração de ¹⁰ B, nas folhas do 1º e 2º Fluxo de crescimento da laranjeira, colhidas em janeiro de 2004 e agosto de 2004	89
Figura 4.22. Concentração de B total nas folhas, ramos (parte lenhosa) e raízes das laranjeiras amostradas no momento da colheita dos frutos, outubro de 2005	91
Figura 4.23. Teores de B total nas folhas de diagnóstico nutricional, amostradas em março de 2004 e 2005.....	92
Figura 4.24. Teores de B total e B proveniente do fertilizante nas flores e nos frutos desenvolvidos no ano seguinte da adubação boratada.....	93
Figura 4.25. Comparação entre a contribuição do B proveniente do fertilizante nas folhas recomendadas para diagnose nutricional, amostradas nos anos de 2004 e 2005	94

LISTA DE TABELAS

	Página
Tabela 3.1. Época da aplicação de ^{10}B na solução nutritiva e coleta das plantas.....	35
Tabela 3.2. Concentração dos nutrientes nas soluções nutritivas utilizadas	36
Tabela 3.3. Dias após o início dos tratamentos com ^{10}B , em que foi feita a reposição dos nutrientes e correção do pH da solução nutritiva	37
Tabela 3.4. Valores médios mensais da temperatura e umidade relativa no interior da casa-de-vegetação, durante a condução do Experimento 1	38
Tabela 3.5. Aplicação de ^{10}B no substrato ou na parte aérea das laranjeiras.....	41
Tabela 3.6. Épocas de aplicação de ^{10}B e amostragens das plantas	43
Tabela 3.7. Condições operacionais do ICP-MS	50
Tabela 4.1. Massa de matéria seca das laranjeiras.....	57
Tabela 4.2. Massa de matéria seca no final dos diferentes períodos	58
Tabela 4.3. Concentração de B das plantas nos diferentes períodos.....	59
Tabela 4.4. Concentração de B nas folhas das laranjeiras.....	60
Tabela 4.5. Teores médios de B nas folhas das laranjeiras e porcentagem de B na planta proveniente do fertilizante	74
Tabela 4.6. Localização na planta do B absorvido pelas folhas	77
Tabela 4.7. Eficiência de absorção do B (quantidade de B absorvido dividido pela quantidade de B aplicada, vezes 100) pelas folhas e pelas raízes	81
Tabela 4.8. Concentração de B nas folhas dos diferentes fluxos de crescimento e nos frutos colhidos em agosto de 2004.....	83
Tabela 4.9. Concentração de B total e quantidade do B proveniente do fertilizante na casca dos frutos (epicarpo + mesocarpo) da laranjeira.....	87
Tabela 4.10. Concentração de B proveniente do fertilizante, em mg kg^{-1} , nas folhas e frutos das laranjeiras colhidos em agosto de 2004	88

Boro (^{10}B) em laranjeira: absorção e mobilidade

Autor: RODRIGO MARCELLI BOARETTO

Orientador: Prof. Dr. ANTONIO ENEDI BOARETTO

RESUMO

A deficiência de boro (B) é comum nos pomares citrícolas paulistas. A maioria das pesquisas sobre mobilidade (transporte e redistribuição) de micronutrientes têm sido realizadas com o auxílio de isótopos radioativos, entretanto, para o B não existe um isótopo radioativo com meia vida suficientemente longa para tais estudos. Os isótopos estáveis de B (^{10}B e ^{11}B) foram pouco utilizados como traçador em estudos com vegetais, devido à dificuldade de detecção, entretanto, com o advento do ICP-MS (inductively coupled plasma mass spectrometry – espectrômetro de massas acoplado a uma fonte de plasma), tornou-se possível quantificar os átomos de ^{10}B e ^{11}B . Desta forma, utilizando-se de compostos enriquecidos em ^{10}B , tornaram-se viáveis os estudos de absorção, transporte e redistribuição do B nas plantas. O objetivo do presente trabalho foi estudar, com o auxílio da técnica isotópica, a absorção de B pelas raízes e folhas da laranjeira, verificar a mobilidade do elemento na planta e quantificar a contribuição da adubação com B para os frutos da laranjeira. No estudo foram realizados 4 experimentos, sendo 3 experimentos realizados em casa de vegetação e 1 experimento realizado em pomar de laranjeira em produção. Dos experimentos realizados em casa de vegetação, O primeiro estudou a absorção de B pelas raízes

de laranjeiras em sistema hidropônico e a mobilidade do nutriente na planta. Laranjeiras de copa 'Valencia' em dois porta-enxertos (limoeiro 'Cravo' e citrumelo 'Swingle') foram conduzidas em soluções nutritivas com concentrações de B adequadas ou deficientes, e o início dos tratamentos com ^{10}B ocorreram em épocas distintas, com plantas em diferentes condições nutricionais de B. O segundo experimento estudou a eficiência da absorção foliar de B pelas laranjeiras ao longo do tempo e a mobilidade do nutriente na planta. O terceiro experimento comparou a mobilidade do B, absorvido pelas raízes e pelas folhas, para os novos fluxos de crescimento. O quarto experimento, realizado no campo, comparou as adubações com B no solo, via fertirrigação, e nas folhas das laranjeiras. Avaliou a contribuição destas adubações para os frutos das laranjeiras e verificou o efeito residual da adubação realizada no ano anterior na nutrição da planta no ano seguinte. Pelos resultados obtidos nos experimentos foi possível verificar que cerca de 20% a 40% do B presente nas partes novas da laranjeira foi proveniente de reservas das laranjeiras, ou seja, foi redistribuído na planta, e o menor valor foi obtido quando as laranjeiras estavam deficientes em B. A absorção de B pelas folhas da laranjeira foi inferior a 9% total de B depositado nas folhas, e o nutriente permaneceu principalmente nos órgãos onde foi aplicado (97%). A adubação com B no solo foi, cerca de 3 a 4 vezes, mais eficiente em fornecer o nutriente para a laranjeira, do que a aplicação do nutriente na folha.

Boron (^{10}B) in orange plant: absorption and mobility

Author: RODRIGO MARCELLI BOARETTO

Adviser: Prof. Dr. ANTONIO ENEDI BOARETTO

SUMMARY

Boron deficiency is widespread in São Paulo citrus orchards. Most of researches on micronutrients mobility (transport and redistribution) have been carried out using radioactive isotopes, however, for the B there is not any radioactive isotope with half-life enough for such studies. The B stable isotopes (^{10}B and ^{11}B) had little been used as tracer in plant studies due to the difficult detection, but with the development of the ICP-MS (inductively coupled plasma mass spectrometry), it is possible to quantify the atoms of ^{10}B and ^{11}B . This way, using enriched compound with ^{10}B , the absorption, transport and redistribution studies have become possible. The present work aimed to study, with aid of isotopic methodology, the B absorption through the roots and leaf of orange plant, to verify the B mobility in the plant and to quantify the B fertilization contribution to the fruit. In the study 4 experiments were carried out, 3 experiments in greenhouse and 1 experiment in a productive orange orchard. From the experiment carried out in greenhouse, in the first one the B absorption through the roots in nutrient solution system and the nutrient mobility in the plant were studied. 'Valencia' sweet orange trees budded on Rangpur lime or Swingle citrumelo were grown in nutrient solution with suitable or deficient B supply, and the treatments with ^{10}B were initiated in different periods with plants in different nutritional condition of B. The second experiment studied the efficiency of B uptake

by the orange leaves, which were harvested in different periods after ^{10}B spraying, and the nutrient mobility in the plant. The third experiment compared the B mobility absorbed through roots and leaves, and driven to the new shoots. The fourth experiment, performed in orange orchard, compared the B applied in the soil by fertigation and in the leaves. The contribution of B from fertilizer to the fruits was evaluated and verified the residual effect of fertilizer applied in the year before on the plant nourishing in the next year. By the results from the experiments it was possible to verify that approximately 20% to 40% of B contained in the new parts of orange plant was derivated from old parts, in other words, the B was redistributed in the plant, and the lower value was obtained when the plants grew in nutrient solution with deficient B supply. The B absorption by the leaves was less than 9% of total B deposited on the foliar lamina, and remained mainly in the sites where it was applied (97%). The B fertilization in the soil was, approximately 3 to 4 times more efficient in providing B to the orange plant than the B sprayed on the leaves.

1 INTRODUÇÃO

A citricultura desempenha papel fundamental na agroindústria brasileira. Para que as plantas cítricas alcancem maiores patamares de produtividade é necessário que estas tenham uma nutrição adequada. Entre as deficiências dos micronutrientes, a de boro (B) é a que aparece com maior freqüência (BLEVINS; LUKASZEWSKI, 1998), principalmente nas culturas cultivadas em solos de textura arenosa, onde o B, na forma de ácido bórico, que está solúvel na solução do solo pode ser lixiviado no perfil. Na citricultura brasileira, as deficiências de B, Zn e Mn são as mais freqüentes (MATTOS JUNIOR et al., 2005). Por esta razão é realizada rotineiramente pulverização foliar com soluções contendo estes nutrientes (BOARETTO et al., 1997).

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 e se refere a produtos assimilados. A revisão de Brown e Shelp (1997) é bastante esclarecedora sobre os processos que tratam da absorção e mobilidade de B nas plantas.

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 .

Enquanto há poucas dúvidas sobre o B que é transportado através do xilema para os locais de maiores perdas de água, há muitas dúvidas sobre a redistribuição do B, que ocorre pelo floema. Os resultados de pesquisas mostram claramente que 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 ocorre nas espécies que produzem polióis, pois formam complexos poliál-B-poliál nos tecidos fotossintéticos e estes são transportados pelo floema até os drenos ativos, como meristemas vegetativos e reprodutivos (BROWN; HU, 1996; HU et al., 1997). Os polióis são açúcares simples, como o sorbitol, manitol e dulcitol, e estão presentes em muitos vegetais, como determinados por Zimmermann e Ziegler (1975), mas não estão presentes em várias espécies do gênero dos *Citrus*. Nestas, foi encontrado no floema a sacarose que, segundo Marschner (1997), não forma complexo com o B.

A redistribuição de B nas plantas cítricas foi pouco estudada até o momento. Cerda et al. (1982), empregando um método indireto, classificaram o B como um elemento de redistribuição restrita em limoeiro. Os sintomas visuais da deficiência de B em citros são caracterizados pelo desenvolvimento anormal dos pontos de crescimento e morte de gemas apicais (RIVERO, 1964), indícios de que o B é pouco redistribuído na planta.

A falta de resultados mais conclusivos e a ausência de pesquisas, com compostos enriquecidos em ^{10}B , para avaliar a absorção e a mobilidade do B em laranjeiras, motivaram o presente estudo. Os objetivos do trabalho foram verificar a absorção do B pelas raízes e folhas da laranjeira; determinar a quantidade de B redistribuída na planta e quantificar a contribuição da adubação com B para os frutos da laranjeira.

As hipóteses da pesquisa a serem comprovadas são:

- 1 – A absorção do B aplicado nas folhas demanda menos tempo para aumentar a concentração do nutriente nas folhas que receberam a pulverização, do que o B aplicado no solo.
- 2 – As laranjeiras apresentam baixa eficiência de absorção de B pelas folhas, ou seja, uma pequena fração do B depositado nas folhas é absorvido pela planta.
- 3 – A contribuição para os novos fluxos de crescimento do B oriundo da adubação no solo é maior do que o B proveniente da adubação nas folhas.
- 4 – O B é pouco redistribuído nas laranjeiras e o estado nutricional das plantas cítricas interfere na quantidade do micronutriente redistribuído na planta.
- 5 – A adubação foliar com B não altera a concentração do nutriente nas folhas dos fluxos desenvolvidos após a pulverização.
- 6 – A magnitude do efeito residual da adubação com B é influenciada pelo método de aplicação do nutriente.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Importância econômica da citricultura

Entre quase uma centena de frutas, os frutos cítricos representam 21% do total das frutas produzidas no mundo. Dos 109 milhões de toneladas métricas (Tm) produzidas pelas plantas cítricas no mundo, a produção de laranja corresponde a 58% do total. O Brasil é o maior produtor mundial de laranja, com um volume superior a 18 milhões de Tm, representando cerca de 30% da produção mundial. Seguido pelos Estados Unidos, que produzem aproximadamente 19% da produção mundial de laranja (FAO, 2005).

Do destino final das laranjas produzidas no Brasil, apenas 1% é exportado como fruto *in natura* (ocupando apenas a 13ª posição mundial na exportação do fruto *in natura*), 28% é consumido no mercado interno e os 71% restantes vão para a indústria, que exporta 98% do suco produzido. Apesar da imensa área agrícola que o Brasil possui, 80% da produção de laranja está concentrada no estado de São Paulo. O cinturão citrícola paulista é composto por mais de 200 milhões de pés de laranja plantados em 628 mil hectares e processa 53% do suco concentrado produzido no mundo, sendo responsável por 80% do comércio internacional desse produto (ABECITRUS, 2005).

Apesar de o suco ser o principal produto da laranja, existem outros subprodutos com valor comercial que são obtidos durante o processo de produção

do suco. Entre esses subprodutos estão óleos essenciais, terpenos, líquidos aromáticos e farelo de polpa cítrica.

No ano de 2004, no Brasil, foram colhidos frutos de 820.000 hectares de pomares de laranjeiras, área superior a toda região citrícola do mediterrâneo. O rendimento médio dos pomares de laranjeiras no Brasil é de 540 caixas por hectare, número superior ao rendimento médio mundial que é de 428 caixas por hectare. O Brasil, assim como os Estados Unidos, tem a sua produção de laranja voltada para a indústria, e a produtividade média dos pomares americanos, de 871 caixas por hectare, é superior aos pomares brasileiros. Apesar de os Estados Unidos apresentarem um maior rendimento por área, o custo de produção dos pomares brasileiros é inferior ao custo dos pomares americanos (FAO, 2005).

2.2 Características gerais das plantas de cítricas

Por definição, o uso da palavra citros refere-se às plantas do gênero *Citrus* e dos gêneros correlatos *Poncirus*, *Fortunella* e mais outros três gêneros sem importância comercial (*Clymenia*, *Eremocitrus* e *Microcitrus*). Por diversas razões é extremamente difícil definir o centro de origem das espécies comerciais de citros. (CHAPOT, 1975).

Acredita-se que as plantas do gênero *Citrus* (laranjas, tangerinas, limões, limas e outras) tenham a sua origem em áreas tropicais e semitropicais no sudeste da Ásia. Os gêneros da laranja 'Trifoliata' (*Poncirus trifoliata*), usados principalmente como porta-enxerto, e do 'Kumquat' (*Fortunella*), são mais resistentes ao frio que as espécies do gênero *Citrus*. Acredita-se que esses gêneros são originários das regiões mais frias da China continental. Devido às restrições na polinização e fertilização entre as diferentes espécies do gênero *Citrus*, é aceita a hipótese de que

todos os cultivares atuais são originados de três espécies ancestrais – ‘Cidra’ (*C. medica*), ‘Pomelo’ (*C. grandis*) e ‘Tangerinas’ (*C. reticulata*) (GOLDSCHMIDT; KOCH, 1996).

As plantas cítricas são arbustos ou árvores, de portes médios, que atingem em média quatro metros de altura. As plantas permanecem verdes durante o ano todo, não apresentando período de repouso e podem viver vários séculos, entretanto, a vida produtiva das plantas varia aproximadamente de 20 a 30 anos (MALAVOLTA; VIOLANTE NETTO, 1989).

Em regiões de clima subtropical ocorre, anualmente, de dois a cinco distintos fluxos de crescimento nas plantas cítricas. O tamanho e a distribuição do fluxo de crescimento é influenciado pela temperatura e disponibilidade de água. No hemisfério sul, o fluxo de crescimento da primavera ocorre geralmente em setembro e outubro (crescimento vegetativo e floral) e o fluxo de crescimento de verão ocorre em janeiro e fevereiro (crescimento principalmente vegetativo). As folhas dos citros estão em contínua reposição, podendo permanecer na planta de 1 a 3 anos. O número de folhas de uma laranjeira de 3 anos é de 16 mil aumentando para 173 mil folhas em uma planta adulta com 9 anos de idade (DAVIES; ALBRIGO, 1994).

A copa das plantas cítricas é densa, de formato normalmente arredondado, e o sistema radicular é relativamente superficial. Entretanto, as folhas maduras apresentam uma cutícula espessa e incrustada de ceras, apresentando adaptações de plantas xeromórficas, apesar das plantas cítricas serem consideradas plantas mesofíticas. Além disso, a taxa de transpiração das plantas cítricas é consideravelmente baixa, e as árvores conseguem sobreviver por longos períodos de seca (GOLDSCHMIDT; KOCH, 1996).

O fruto típico dos citros é o hesperidium, com casca rica em óleos essenciais. A casca é formada pelo flavedo (mesocarpo), que é a parte mais externa colorida, e pelo albedo (mesocarpo), que é a parte mais interna de coloração branca. A parte comestível do fruto (endocarpo), que é a porção interior, é dividida em diversos segmentos por finas paredes membranosas (gomos), que são cheios de vesículas de suco e sementes (DAVIES; ALBRIGO, 1994).

O crescimento dos frutos cítricos é do tipo sigmoidal simples, crescendo todas as partes do fruto até a maturação. O desenvolvimento dos frutos pode ser dividido em três fases, embora, não seja possível diferenciar o término de uma fase e o início da subsequente. Na fase I, o aumento do tamanho dos frutos é pequeno, restrito praticamente à casca, mas a atividade metabólica é intensa, especialmente a divisão celular (fase que determinará o tamanho final dos frutos). Na fase II, a espessura da casca diminui e o albedo se torna mais fino, graças ao aumento do volume do endocarpo, cujo crescimento comprime a casca, estendendo-a e há rápido aumento do teor de sólidos solúveis totais (SST). Na Fase III ocorre a maturação dos frutos (coloração, redução da acidez e aumento no teor de SST), na qual praticamente não há crescimento do endocarpo (MEDINA et al., 2005).

2.3 Influência do porta-enxerto na composição mineral da copa

Na citricultura é usual a utilização de porta-enxertos, pois estes conferem às plantas importantes caracteres agrônômicos, permitindo que as plantas superem fatores abióticos e bióticos, além do ganho de produtividade e uniformidade das plantas. O porta-enxerto induz à copa alterações no crescimento, tamanho, precocidade de produção, produção, maturação e peso dos frutos, coloração da casca e do suco, teor de açúcares, de ácidos e outros componentes do suco,

permanência dos frutos na planta e sua conservação após a colheita, fertilidade do pólen, absorção, síntese e utilização de nutrientes, transpiração e composição química das folhas, resposta a produtos de abscisão dos frutos e folhas, tolerância à salinidade, à seca, ao frio, à doenças e pragas (POMPEU JUNIOR, 2005).

Existem inúmeros trabalhos na literatura demonstrando a influência do porta-enxerto na concentração de B nas folhas das plantas cítricas (PAPADAKIS, et al. 2004; TAYLOR; DIMSEY, 1993; MOURÃO FILHO, 1989; WUTSCHER, 1989; LIMA et al. 1980; COOPER et al. 1952; EATON; BLAIR, 1935;).

Papadakis, et al. (2004) encontraram maiores teores de B nas folhas de laranjeira 'Navelina', quando enxertada em laranjeira 'Azeda', do que em citrumeleiro 'Swingle', entretanto, essa diferença só foi verificada quando as plantas foram cultivadas em soluções nutritivas com altas concentrações de B.

Taylor e Dimsey (1993) encontraram maiores teores de B em copa de laranjeira 'Baía' quando enxertadas em tangerinas (Batanges, Emperor e Cleopatra) e limoeiro 'Cravo' do que em laranjeira doce, tangerina 'King' e *C. taiwanica*. Mourão Filho (1989) verificou maiores concentrações de B nas folhas de laranjeira 'Perâ', quando enxertada em limoeiro 'Rugoso da Flórida' e em poncirus 'Trifoliata', do que quando enxertadas em limoeiro 'Cravo', em tangerina 'Sunki' e em laranjeira 'Caipira'.

Wutscher (1989) classificou a tangerina 'Cleopatra', a lima da 'Pérsia', o 'Trifoliata' e o pomelo como sendo porta-enxertos que induzem a altas concentrações de B nas folhas; e a *Severinia buxifolia*, o 'Alemow', a laranja 'Azeda' e o citrange 'Carrizo' como porta-enxertos que induzem a baixos teores de B no tecido foliar das variedades copas. Cooper et al. (1952) observaram que as copas de

laranjeira 'Valência' e pomeleiro 'Shary Red' apresentaram maiores teores de B, quando enxertada em 'Cleopatra', do que quando enxertadas em laranjeira 'Azeda'.

Wojckic et al. (2003) também encontraram influência do porta-enxerto no teor de B em folhas de macieira. Wutscher (1989) cita outros trabalhos em que foi verificado a influência do porta-enxerto no acúmulo de B na copa de macieira, pereira, pessegueiro, ameixeira e amendoeira.

Dos diversos experimentos já realizados, sobre a influência da variedade do porta-enxerto na composição mineral das folhas da variedade copa nos citros, surgiram várias teorias para explicar o fenômeno, que vão desde a distribuição do sistema radicular até a seletividade e capacidade de troca de cátions das raízes, influenciando na maior ou menor absorção de nutrientes (MOURÃO FILHO, 1989).

Diferenças na taxa de transpiração podem evidenciar variações na absorção de B pelas plantas. Quando a disponibilidade de água no sistema radicular está adequada, ocorre uma transpiração potencial pelas plantas, os nutrientes são arrastados por fluxo de massa à superfície radicular e, em muitos casos, arrastados para dentro da raiz até a parte aérea (REICHARDT; TIMM, 2004).

As diferentes combinações de porta-enxerto e copa apresentam comportamentos diferenciados nas trocas gasosas e relações hídricas. São inúmeros os fatores que interferem na absorção de água pela planta, tais como: referente à planta – extensão e profundidade do sistema radicular, superfície e permeabilidade radicular, idade das raízes e atividade metabólica das plantas; referente à atmosfera – umidade relativa do ar, disponibilidade de radiação solar, vento e temperatura do ar; referente ao solo – umidade, capacidade de água disponível, condutividade hidráulica, temperatura, aeração e salinidade da solução do solo (MACHADO, 2004).

2.4 Elemento Boro

O elemento Boro é representado pelo símbolo B, possui número atômico 5 e massa atômica de 10,811 u.m.a. Possui dois isótopos estáveis de massas 10 e 11, com abundância natural média de $^{10}\text{B} = 80,1\%$ e $^{11}\text{B} = 19,9\%$ (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.

Apesar de ser baixa a abundância na crosta terrestre, o B não ocorre de forma uniforme e está amplamente distribuído tanto na litosfera quanto na hidrosfera. 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, o ácido bórico (H_3BO_3), 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 bórax ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$) e a boracita ($\text{Mg}_3\text{B}_7\text{O}_{13}\text{Cl}$).

O uso de compostos de B, conhecidos como bórax (tetra borato de sódio), vem desde a época dos antigos egípcios, que usavam estes compostos na fusão de metais, na medicina e nos processos de mumificação. Durante o século 13, Marco Polo introduziu o bórax na Europa, mas somente no século 19, quando foi descoberto um grande depósito de boratos no deserto de Mojave na Califórnia, o uso do bórax se tornou relativamente comum (BENTON, 1974a).

O B foi isolado pela primeira vez em 1808 por Humphry Davy (Inglaterra), Gay-Lussac e Louis-Jacques Thénard (França) pelo aquecimento de óxido de boro

(B₂O₃) com um metal de potássio. O pó preto acastanhado impuro e amorfo, foi à única forma de boro conhecida por mais de um século (BENTON, 1974b).

O B tem uma vasta aplicação industrial e também é um elemento essencial para o desenvolvimento de plantas vascularizadas (monocotiledôneas, dicotiledôneas e coníferas), diatomáceas, algumas espécies de alga verde e na fixação de nitrogênio por algumas espécies de cianobactérias (MARSCHNER, 1997). Nielsen (2002) demonstrou existir evidências de que o B é um elemento essencial para o desenvolvimento dos homens e animais, podendo afetar muitos sistemas do corpo humano, incluindo cérebro, esqueleto e sistema imunológico.

2.5 O Boro como nutriente

O B é um dos sete micronutrientes para o desenvolvimento das plantas. Bergman (1984) relatou que os primeiros estudos verificando os efeitos de B nas plantas datam a partir de 1876. Na literatura existem discordâncias quanto o autor que demonstrou a essencialidade do B para o desenvolvimento das plantas.

Em revisão realizada por Loomis e Durst (1992), os autores relataram que “Agulhon¹ em 1910 demonstrou a presença de B em diversas espécies de plantas, entretanto, não demonstrou a essencialidade do elemento para as plantas, e Mazé² em 1915 e 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 essenciais para

¹ AGULHON, H. Présence et utilité du bore chez les végétaux. **Annales de l'Institut Pasteur**, Paris, v. 24, p. 321-329, 1910.

² MAZÉ, P. Détermination des éléments minéraux rares nécessaires au développement du maïs. **Comptes Rendus de l'Académie de Sciences**, Paris, v. 160, p. 211-214, 1915.
MAZÉ, P. Recherche d'une solution purement minérale capable du maïs cultivé à l'abri des microbes. **Annales de l'Institut Pasteur**, Paris, v. 33, p. 139-173, 1919.

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). Shorrocks (1997) relatou a deficiência de B em mais de 132 culturas em 80 países. Os principais fatores que interferem na disponibilidade do B presente no solo para as plantas, segundo Goldberg (1997), estão a seguir. O pH da solução do solo (com o aumento do pH da solução do solo menor é a disponibilidade do B para as plantas). A textura do solo (quanto mais arenoso o solo menor é a disponibilidade do nutriente). A umidade do solo (a disponibilidade de B geralmente diminui com a redução da umidade do solo). 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). A matéria orgânica (quanto maior a quantidade de matéria orgânica, maior é a disponibilidade de B para as plantas). O mineral de origem do solo.

De todos os nutrientes minerais presentes no reino vegetal, o papel do B é o menos entendido, mesmo sendo nas dicotiledôneas o micronutriente que está presente em maior quantidade. O que se conhece sobre a exigência do nutriente vem de estudos sobre o que acontece na planta na ausência de B ou na aplicação do nutriente após condições de deficiência da planta (MARSCHNER, 1997).

O B é o único nutriente que satisfaz apenas o critério indireto de essencialidade. Ainda não foi demonstrada a participação do B na constituição de enzimas e nem como ativador enzimático (MARSCHNER, 1997). Entretanto, no 3º Colóquio Internacional de Boro, realizado na China em setembro de 2005, ocorreu

discussão de que o critério direto de essencialidade já havia sido satisfeito (Informação Pessoal – Takashi Muraoka, 2005), pois, já foi demonstrado que o elemento B é regulador de 26 enzimas, de ácido indolilacético e na via pentose – fosfato, além do B ser constituinte da parede celular.

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 indolilacético; metabolismos de compostos fenólicos; metabolismo de ascorbato; fixação de nitrogênio; e diminuição da toxidez de alumínio (MARSCHNER, 1997; MENGEL; KIRKBY, 2001). 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” (MARSCHNER, 1997).

A determinação das funções do B nas plantas requer considerações sobre as características físicas e químicas do nutriente e o processo que governa a sua absorção. A capacidade que o B tem de atravessar livremente a membrana plasmática resulta em uma larga flutuação na concentração do elemento no citoplasma (BROWN et al., 2002a).

Uma função claramente definida do B nas plantas está ligada com a estabilização da parede celular. Entretanto, existe um crescente aumento nas evidências de que o B exerça papel na manutenção e integridade das membranas, e evidências na homeostase citoplasmática sugerem que o B possa ter funções no citoplasma (GASSERT et al., 2002).

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). Match (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 RG-II.

Kobayashi e Match (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-ester do ácido bórico com grupos de cis-diol de açúcar e fenóis.

Hu e 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 de B presente na célula. Match e Kobayashi (2002) verificaram que não ocorre aumento do B presente na parede celular quando as plantas são cultivadas em condições de alto suprimento do nutriente.

É conhecido que as plantas monocotiledôneas apresentam menor exigência de B e são mais sensíveis à toxidez do micronutriente do que as plantas dicotiledôneas. Esta sensibilidade diferenciada pode ocorrer devido às diferenças na parede celular entre as monocotiledônea e dicotiledôneas (BROWN et al., 1992). Hu et al. (1996), em experimento realizado com catorze diferentes espécies, verificaram que a exigência de B no tecido de cada espécie é determinada pelo nível de pectina na parede celular. As plantas monocotiledôneas contêm menores quantidades de pectinas nas células da parede celular do que as dicotiledôneas.

Brown e Hu (1997) sugeriram que o papel do B na estrutura da parede celular primária pode explicar quase todos os efeitos relatados da deficiência de B. Sugerindo que a primária e talvez única função do B é como componente estrutural da parede celular dos tecidos de crescimento. E todos os outros efeitos metabólicos da deficiência de B ocorram como consequência da inibição do crescimento da planta, ou seja, é causada pelo chamado “efeito cascata”.

2.6 Definições utilizadas na tese: Absorção, mobilidade, transporte e redistribuição ou remobilização.

Absorção, transporte e redistribuição de nutrientes pelos vegetais são processos distintos. Na literatura existem algumas divergências nas definições desses processos. Para um melhor entendimento foram convencionadas as seguintes definições desses processos, que são as utilizadas no presente trabalho.

A absorção é o processo pelo qual o nutriente passa do meio externo da planta, em forma iônica ou molecular, para o espaço intercelular ou qualquer outra parte da célula. A absorção de nutrientes pela plantas pode ocorrer tanto pelo sistema radicular quanto pela parte aérea da planta.

O termo mobilidade se refere ao movimento do nutriente dentro planta, e engloba tanto o processo de transporte quanto o de redistribuição dos nutrientes nos vegetais.

Absorção e transporte são processos distintos, mas que estão diretamente ligados. O transporte é o movimento do nutriente do órgão de absorção para outro local qualquer na planta. Quando a absorção ocorre pelas raízes, o nutriente é transportado pelo xilema, por fluxo de massa, até os locais de residência. Entretanto, quando o nutriente é absorvido pelas folhas, o transporte se dá pelo floema.

A redistribuição ou remobilização é o movimento do nutriente do local de residência para outro local qualquer na planta, processo que ocorre predominantemente pelo floema e se refere a produtos fotoassimilados.

2.7 Absorção de Boro pelas plantas

A absorção de B por plantas pode se dar tanto pelo sistema radicular quanto pelas folhas. Entretanto, a raiz é o principal órgão da planta para a absorção de nutrientes.

Para que o nutriente seja absorvido pela raiz é necessário, em primeiro lugar, que ele entre em contato com a mesma. Existem três processos pelos quais o nutriente entra em contato com a raiz, são eles: Interceptação radicular (a raiz se desenvolve e encontra o nutriente na solução do solo); Fluxo de massa (movimento do elemento em uma fase aquosa móvel, de uma região úmida distante da raiz até outra mais seca próxima à superfície radicular); e Difusão (movimento do nutriente em favor de um gradiente de concentração, de uma região de menor concentração para outra de maior concentração próximo à raiz) (MALAVOLTA et al., 1997). A chegada dos nutrientes na superfície radicular apenas garante a sua disponibilidade para as plantas, porém sua absorção vai depender do contato deles com a membrana das células das raízes e da espécie iônica presente na rizosfera (FURLANI, 2004).

O B é absorvido da solução do solo pelas raízes principalmente na forma de ácido bórico. A absorção do nutriente pelas raízes da planta é influenciada por fatores bióticos e abióticos, tais como: espécie vegetal, tipo de solo, matéria orgânica, teor de B no solo, pH e espécies iônicas presentes na solução do solo. Entre os fatores relacionados ao solo, o pH é o que tem maior influência na absorção

do nutriente pelas plantas (HU; BROWN, 1997). Xu et al. (2002), em estudo com diferentes cultivares de nabo, verificaram que as diferenças nas características morfológicas das raízes interferem na absorção e utilização do B e outros nutrientes, resultando em diferenças no crescimento e desenvolvimento da planta.

A absorção de B pelas plantas ainda é um assunto bastante controverso. Significantes evidências suportam que a absorção do nutriente pode ocorrer tanto de forma passiva (sem gasto de energia, a favor de um gradiente de concentração) quanto de forma ativa (com gasto de energia, contra um gradiente de concentração). Como a permeabilidade da plasmalema ao B é teoricamente alta, sugere-se que a absorção do elemento ocorre por processos não metabólicos, determinados pela concentração de B na solução do solo, pelas diferenças na permeabilidade das membranas, pela taxa de transpiração, pela formação de complexos dentro e fora das raízes e pela mobilidade do nutriente na planta (BROWN et al., 2002b).

Dordas et al. (2000) sugeriram que a absorção de B ocorre pela combinação de dois tipos de transporte passivo através da membrana. Pela simples difusão do nutriente através da dupla camada lipídica (cujo coeficiente de permeabilidade varia de acordo com a espécie), e possivelmente pelo transporte através de canais intermediários, que são canais facilitadores da absorção de B e podem ser saturados a baixas concentrações do nutriente (o transporte de B por esses canais é inibido na presença de HgCl_2).

Gassert et al. (2002) sugeriram que na absorção de B pelas raízes de girassol, *Arabidopsis thaliana* e *Desmodium ovalifolium*, ocorre um induzido e ativo mecanismo de transporte na membrana plasmática quando estas plantas estão em condições de suprimento limitado do nutriente. Pfeffer et al. (1999) demonstraram, em raízes de girassol, que o mecanismo de absorção de B é dependente de

processos metabólicos e este mecanismo pode ser facilmente ativado ou desativado em função do aumento ou diminuição da concentração de B na solução.

Brown et al. (2002b) concluíram que o processo de absorção passiva de B parece prevalecer, entretanto, recentes pesquisas sugerem que existam mais de um mecanismo de absorção de B na planta, e a importância de cada mecanismo depende da concentração do B presente na solução do solo.

As células das folhas, da mesma forma que as células das raízes, absorvem os elementos minerais do apoplasto e da membrana plasmática, estando sujeito aos mesmos fatores externos como concentração do nutriente, valência do íon, temperatura, e fatores internos, como atividade metabólica (MATTOS JUNIOR et al., 2005).

Em plantas terrestres, a absorção de solutos pela superfície das folhas é restrita, devido à presença, na face externa da parede das células da epiderme, de cutícula e de camadas de ceras. As células das folhas, da mesma forma que as das raízes, absorvem os nutrientes do apoplasto, e estes têm que atravessar as membranas plasmáticas. A absorção foliar é mais lenta que a radicular, isso porque o percurso que o nutriente tem que percorrer para ser absorvido pelas folhas é maior do que para ser absorvido pelas raízes, visto que não existe na epiderme das raízes camada de cutícula e de ceras, que possam restringir a absorção do nutriente pela planta (FURLANI 2004).

A absorção dos nutrientes pelas folhas é influenciada por inúmeros fatores: referente à planta (superfície foliar, presença de pêlos, hidratação da cutícula, idade da folha, espécie e variedade); referente à composição da solução (pH da solução, concentração do nutriente, íons acompanhantes e molhantes); e

referente a outros fatores como umidade do solo, umidade atmosférica, temperatura e luminosidade (MALAVOLTA et al., 1997).

O nutriente colocado na superfície da folha atravessa a cutícula, a parede celular e os espaços intermicelares e chega à superfície da plasmalema. A passagem do íon através da plasmalema pode ser desdobrada em fase ativa e fase passiva. A fase passiva é a favor de um gradiente de concentração, ou seja, de uma região menos concentrada para uma região mais concentrada. Na fase ativa, existe gasto de energia proveniente da fosforilação oxidativa que ocorre nas mitocôndrias e da fosforilação fotossintética que ocorre no cloroplasto. Por esses dois mecanismos o nutriente vence a barreira da plasmalema e chega ao citoplasma (BOARETTO et al., 2003).

O nutriente, chegando ao citoplasma celular, pode atravessar o tonoplasto para chegar ao vacúolo, ou pode transportar-se para outras células por via de plasmodesmas, até chegar ao floema das nervuras e daí ser transportado para os locais de atividades metabólicas intensa, formando os compostos que fazem parte da planta (BOARETTO et al., 2003). Um critério para avaliar a eficiência da pulverização foliar é a razão do nutriente aplicado na folha que é absorvido e mobilizado para outras partes da planta, incluindo o sistema radicular (BUKOVAC; WITTEW, 1957).

Muitos resultados na literatura têm demonstrado o comportamento de compostos orgânicos e inorgânicos quando aplicados sobre as folhas. Estes resultados têm sido obtidos com o uso de isótopos (^{32}P , ^{45}Ca , ^{59}Fe , ^{35}S , ^{65}Zn , ^{42}K , ^{64}Cu , ^{15}N e ^{10}B), o que torna possível discriminar o elemento aplicado na folha do mesmo elemento presente na planta ou simultaneamente absorvido pelas raízes (CHAMEL, 1988).

A análise da literatura evidencia que a quantidade e intensidade do B absorvido pelas folhas variam de acordo com as espécies vegetais. Hanson (1991), empregando a técnica isotópica, demonstrou que a absorção de B por folhas de cerejeira ocorreu durante 15 dias após a aplicação foliar. Shu et al. (1994) verificaram que menos de 1% do ^{10}B aplicado nas folhas de pessegueiro foi absorvido após 3 dias da aplicação. Picchioni et al. (1995) pulverizaram soluções enriquecidas em ^{10}B nas folhas de macieira, pereira, ameixeira e cerejeira, e verificaram que após 24 horas da pulverização cerca de 88% a 96% do B aplicado foi absorvido pelas folhas. Shu et al. (1997) verificaram que cerca de 0,3% do ^{10}B aplicado sobre a casca dos frutos do pessegueiro foram absorvidos após 3 dias da aplicação. Kerrien et al. (1997), utilizando-se de várias fontes de B marcada em ^{10}B , demonstraram que cerca de 10% do B aplicado nas folhas de rabanete foi absorvido após 2 dias da aplicação e 12% após 12 dias.

2.8 Mobilidade do Boro nas plantas

Nas plantas de forma geral, o B era considerado um nutriente imóvel, mas pesquisas recentes têm demonstrado que as espécies vegetais apresentam diferentes características quanto à mobilidade do nutriente, podendo classificá-las em espécies em que o B tem redistribuição restrita e espécies em que o B é altamente móvel (BROWN; SHELP, 1997). A redistribuição do B em citros foi pouco estudada até o momento. Cerda et al. (1982), empregando um método indireto em estudo com limoeiro, classificaram o B como sendo um nutriente de redistribuição restrita.

Sabe-se que a mobilidade do B ocorre nas espécies que produzem polióis como produtos fotossintéticos primários, como demonstrado ocorrer em espécies do

gênero *Pyrus*, *Malus* e *Prunus* por Hu e Brown (1996) e Hu et al. (1997). Nestas espécies ocorre à formação de complexos polioliol-B-polioliol nos tecidos fotossintéticos e estes são transportados pelo floema até os drenos, como meristemas vegetativos e reprodutivos (BROWN; HU, 1996; HU et al., 1997). Nas espécies que não produzem quantidades suficientes de polióis, o B, uma vez transportado até a folha pelo fluxo respiratório, não pode entrar no floema, resultando em sua imobilidade na folha (BROWN; HU, 1998).

Os polióis são açúcares simples como o sorbitol, manitol e dulcitol e estão presentes em muitos vegetais, como determinados por Zimmermann e Ziegler (1975), mas não estão presentes em várias espécies do gênero *Citrus*. Nestas é encontrada no floema a sacarose, que segundo Marschner (1997), por não ter ligações cis-diol, não forma complexos estáveis com o boro.

Nas espécies de plantas em que o B é móvel no floema, ocorre a formação de complexos contendo B com ligações cis-diol. O ácido bórico reage com álcoois formando complexos de boro ésteres ou neutro cis-diol monoborato ésteres ou monoborato com açúcar, os quais desempenham importante papel no transporte do nutriente na planta. (DEMBITSKY, 2002).

A ocorrência do transporte do B das folhas em que foi aplicado, para outras partes das plantas desenvolvidas após a pulverização foliar, foi demonstrado em algumas espécies, utilizando, ácido bórico enriquecido em ^{10}B . Shu et al. (1994) verificaram que 94% do B absorvido, pelas folhas de pessegueiro, foi transportado para outras partes da planta em 3 dias. Perica et al. (2001) observaram que 39% do B presente na inflorescência de oliveira vieram da adubação foliar. Picchioni et al. (1995), em estudo com macieira, pereira, ameixeira e cerejeira, constataram que cerca de 70% a 80% do B absorvido pelas plantas foi mobilizado em 24 horas.

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 das folhas e dos ramos. Isso pode ser evidenciado pelo gradiente da concentração de B em folhas de diferentes idades. Em plantas que o B tem redistribuição restrita o teor deste nutriente nas folhas velhas é muito maior que o teor nas folhas mais novas, entretanto, nas espécies que o B é móvel no floema, as folhas mais velhas têm teores de B muito próximos aos das folhas mais novas (HU; BROWN, 1997).

De acordo com Shelp (1988), a razão entre a concentração de um nutriente nas folhas novas e velhas da planta pode evidenciar se o nutriente é móvel ou imóvel no floema. Quando a razão entre folha nova / folha velha for muito menor que 1 indica que o nutriente não é redistribuído no floema, ou seja, o nutriente tem baixa redistribuição na planta. Entretanto, quando esta razão for maior que 1 indica que o nutriente é móvel no floema.

Em plantas em que o B é imóvel ocorre um gradiente na concentração do nutriente nas diferentes partes da mesma folha. A concentração de B no pecíolo e na nervura central é menor que na lamina central e as maiores concentrações de B são encontradas nas bordas e na ponta da folha. Em plantas em que o B é móvel, as concentrações do nutriente nas diferentes partes da folha são de iguais magnitudes. Por exemplo, em noqueira, espécie que o B é imóvel no floema, a concentração do nutriente no pecíolo foi cerca 38 vezes menor do que na ponta da folha. Enquanto que em macieira, planta que o B apresenta mobilidade no floema, a concentração na ponta da folha não chega a ser o dobro da concentração de B do pecíolo (BROWN; SHELP, 1997).

Oertli (1960) verificou que a concentração de B no pecíolo de folhas de limoeiro foi cerca de 17 vezes menor do que a concentração na ponta da folha, quando o suprimento de B para as plantas estava adequado. Entretanto, quando as plantas foram conduzidas em condições de alto suprimento de B, a concentração do nutriente na ponta da folha foi cerca de 150 vezes maior que a concentração no pecíolo. Oertli (1960) ainda evidenciou que a distribuição do B nas folhas reflete diretamente o local de aparecimento dos sintomas de toxidez, o qual ocorre principalmente na ponta e nas bordas das folhas.

Os sintomas da deficiência de B estão relacionados com a mobilidade do nutriente na planta. Nas espécies em que o boro é relativamente imóvel, os sintomas de deficiência que primeiro aparece é o desenvolvimento anormal dos pontos de crescimento apical e com o decorrer do tempo ocorre a morte das gemas apicais (MENGEL; KIRKBY, 2001). Sintomas similares aos descritos foram relatados por Riviero (1964) para os citros.

Como consequência do papel estrutural que o B tem no crescimento dos tecidos vegetais e da imobilidade do nutriente no floema de muitas espécies, o B tem que ser suprido continuamente durante toda a vida da planta, e flutuações na disponibilidade do nutriente no solo podem ter efeito no crescimento da planta e na produtividade (BROWN et al., 2002b).

2.9 Boro em laranjeiras

Apesar de o B ser um elemento essencial para o desenvolvimento das laranjeiras, são escassos na literatura internacional os trabalhos sobre o nutriente em citros. Os primeiros trabalhos encontrados na literatura sobre B em laranjeiras foram: Haas (1930), em experimento conduzido em solução nutritiva, evidenciou a

exigência nutricional de B para as plantas cítricas; e Scofield e Wilcox (1930), encontraram alguns tipos de injúrias em plantas de pomares de laranjeiras irrigados com água contendo alto teor de B (concentrações de B nas folhas entre 600 a 1000 mg kg⁻¹).

Em levantamento feito por Shrorrocks (1997) foi possível visualizar as regiões no globo terrestre que apresentam deficiência de B no solo. Entre as principais regiões produtoras de citrus no mundo, somente a citricultura brasileira está localizada em áreas deficientes no micronutriente. Isto em parte justifica porque são escassos, na literatura internacional, os trabalhos sobre B em plantas cítricas.

Encontra-se na literatura os seguintes sintomas da deficiência de B em citros. Redução no desenvolvimento da planta e do sistema radicular. Morte das gemas no meristema apical e às vezes podem ocorrer brotações laterais excessivas, na planta ainda pode ocorrer floração excessiva e aumento na queda de frutos. As folhas tornam-se menores, com ondulação do limbo, apresentam nervuras salientes e muitas vezes corticosas, nas folhas maduras ocorre coloração amarelada na nervura central. Nos frutos ocorre redução no tamanho, deformação e redução na porcentagem de suco. Em casos de falta aguda do nutriente pode ocorrer até a exsudação de goma na parte externa da casca, dentro dos frutos no albedo e no centro podem aparecer manchas de goma escuras, as sementes de forma geral são pequenas, escuras, mal formadas e envoltas em goma (BRYAN, 1938; HASS, 1945; JUAN, 1960; RIVIERO, 1964).

Nos pomares citrícolas brasileiros os sintomas de toxidez de B somente são visualizados em condições especiais, principalmente em pomares jovens devido a aplicação localizada do adubo ao redor da copa. O primeiro sintoma da toxidade de B, como descrito por Riviero (1964), consiste em amarelecimento das pontas das

folhas, a clorose vai aumentando nas margens e se estendendo entre a nervura das folhas, ao lado das manchas cloróticas e próximo da ponta vão formando zonas necróticas com tecidos mortos. Na face abaxial da folha, coincidentemente com as zonas cloróticas, ocorrem excreções resinosas em forma de pequenas pústulas com coloração que varia do amarelo ao marrom. Em função do grau de toxidez, pode ocorrer queda prematura das folhas.

O B é um nutriente conhecido por ter uma faixa estreita entre a deficiência e a toxicidade (MATTOS JUNIOR et al. 2001; DAVIES; ALBRIGO 1994). Entretanto, Papadakis et al. (2004) somente visualizaram os sintomas da toxidez de B em folhas velhas de laranjeira 'Navelina' quando o teor do nutriente foi superior a 444 mg kg^{-1} .

2.10 Comparação entre as adubações no solo e nas folhas

A produtividade da planta está relacionada a diversos fatores, entre os quais, o estado nutricional é fator fundamental no rendimento do pomar (EPSTEIN; BLOOM, 2005). Um melhor entendimento dos processos de absorção e mobilidade do B nas plantas pode evitar algumas desordens nutricionais e aumentar a eficiência das adubações. A absorção de nutrientes pelos citros ocorre durante o ano todo, sendo maior, porém no florescimento entre setembro a dezembro e durante a formação de folhas e ramos novos entre março a abril (CASTRO et al. 2001).

Entre os micronutrientes as deficiências de B, Zn e Mn são as mais freqüentes nos pomares citrícolas brasileiro (MATTOS JUNIOR et al., 2005; MATTOS JUNIOR et al., 2001). Malavolta e Violante Netto (1989) relataram que as principais causas da deficiência de B, nos pomares cítricos, são devidas: ao baixo teor de matéria orgânica no solo; à seca; à lixiviação; à acidez excessiva; às altas doses de N na adubação; e à calagem excessiva.

A concentração de B no solo varia entre 20 a 200 mg dm⁻³ de peso seco, entretanto, grande parte está indisponível para a planta. A fração de B no solo, solúvel em água quente, que está disponível para planta varia de 0,5 a 2,0 mg L⁻¹. O nutriente solúvel na solução do solo é encontrado principalmente na forma de ácido bórico, na faixa de pH entre 4 a 8. Isto em parte ajuda a explicar a relativa facilidade do B em ser lixiviado (MENGEL; KIRKBY, 2001).

A recomendação oficial no Estado de São Paulo para os pomares de cítricos (laranja, limão, tangerina e murcote) foi realizada pelo Grupo Paulista de Adubação de Citros - GPAC (1997), que recomenda a aplicação de B no solo em duas situações. Na instalação de um novo pomar, em solos deficientes em boro (<0,2 mg dm⁻³, extraído em água quente), o grupo recomendou a aplicação de 1 g de boro por metro de sulco. Em pomares adultos com sintomas intensos de deficiência de B foi recomendado aplicar 2 kg ha⁻¹ de B, na forma de ácido bórico, parcelado em duas aplicações anuais, juntamente com os herbicidas de contato.

As folhas dos vegetais possuem a capacidade de absorver água e minerais. Isto possibilita a aplicação, nas folhas, de soluções para corrigir deficiências de micronutrientes. Razão pela qual os pomares citrícolas brasileiros recebem rotineiramente adubação foliar com B, Zn e Mn (BOARETTO et al., 1997). Entretanto, não se deve pensar que a adubação foliar pode substituir o fornecimento de nutrientes via solo, mas a adubação foliar deve ser complementar à adubação no solo (BOARETTO; ROSOLEM, 1989).

Vários estudos demonstraram que a adubação foliar com B aumenta o teor do nutriente nas folhas que receberam a pulverização, como por exemplo, Maurer; Truman (2000); Santos et al. (1999), Tiritan (1996), Silva (1996), Caetano et al. (1986) e Caetano (1982). Entretanto, estes estudos se limitaram a verificar o

efeito da adubação foliar nas folhas que receberam a solução, pois não estudaram o efeito da aplicação nas folhas que apareceram após a adubação foliar.

Para que o B seja absorvido pelas folhas das laranjeiras é necessário que o nutriente atravesse a cutícula foliar e as células da epiderme. Em folhas maduras de citros, as cutículas têm espessura média de 4,2 μm na face adaxial e 3,9 μm na face abaxial. Em folhas de pessegueiro e de macieira as cutículas apresentam espessura média, respectivamente de 1,6 e 2,1 μm na face adaxial e 2,0 e 2,9 μm na face abaxial. A cutícula mais espessa é uma maior proteção para a planta contra pragas e perda de água, entretanto, isto pode restringir a absorção de nutrientes pelas folhas (LEECE, 1976).

Boaretto et al. (2002) e Boaretto et al. (2000) verificaram que a absorção de Zn e Mn pelas folhas de citros é restrita, menos de 10% dos nutrientes depositados na superfície das folhas foram absorvidos e da quantidade absorvida menos de 1% foi redistribuído para os ramos desenvolvidos após a adubação, quantidade insuficiente para alterar significativamente o teor dos micronutrientes nas folhas desenvolvidas após a adubação.

As pesquisas sobre o efeito da adubação foliar na produtividade dos frutos nas laranjeiras são em números muito reduzidos (CAETANO, 1982; GOEPFERT et al. 1987; VITTI et al. 1993; TIRITAN, 1996), e os resultados destas pesquisas indicaram que não houve aumento na produtividade dos frutos devido à adubação foliar. Com exceção do trabalho de Goepfert et al. (1987), todos os outros trabalhos citados foram de curta duração (dois anos) e talvez isso explique a ausência do efeito da adubação foliar sobre o desenvolvimento e produtividade das laranjeiras.

Outro fato que pode explicar a ausência do efeito da adubação foliar, e que caso o B seja imóvel no floema das plantas do gênero *Citrus*, a pulverização de adubos contendo B resultará apenas em aumento no teor do nutriente nas folhas que recebem a adubação, mas não resultará em aumento no teor de B nas folhas e em outros órgãos formados após a pulverização foliar (BROWN; SHELP, 1997).

Vitti et al. (1993), em experimento realizado em laranjeira 'Pêra', verificaram que ocorreu aumento na concentração foliar de B quando o nutriente foi aplicado no solo, entretanto, não observou aumento na concentração do nutriente quando o B foi aplicado nas folhas.

Quaggio et al. (2003) verificaram que a adubação complementar com B no solo foi mais eficiente do que a aplicação via foliar para a laranjeira 'Pêra', e a maior amplitude de resposta do B aplicado no solo ocorreu no ano mais seco. Davies e Albrigo (1994) relataram que a aplicação de B somente nas folhas pode induzir uma menor resistência das plantas à seca, provavelmente devido à limitação no desenvolvimento do sistema radicular.

A análise da folha de diagnose ou diagnose foliar é um método usado para a avaliação do estado nutricional das culturas. Por esse método são analisadas determinadas folhas em definidos períodos, folhas essas, que em regras gerais, refletem o estado nutricional da planta (MALAVOLTA et al., 1997). O teor adequado no 3^o par de folhas a partir do fruto, geradas na primavera com seis meses de idade, em ramos com frutos de 2 a 4 cm de diâmetro, é de 36 a 100 mg kg⁻¹ (GPAC, 1997).

O GPAC (1997), para pomares com até quatro anos, recomendou de 3 a 4 aplicações de solução foliar contendo 1 g L⁻¹ de ácido bórico além de outros micronutrientes (Zn e Mn) e uréia. Para pomares em produção, o mesmo grupo

recomendou duas aplicações, da mesma mistura, no período das chuvas e quando houver novas brotações nas plantas.

Quaggio et al. (2005) recomendaram que a aplicação de B em citros deve ser feita preferencialmente via solo. Contudo a adição do nutriente em mistura de adubos, geralmente acarreta em problemas de segregação. A adição de B em fertilizantes complexos é vantajosa do ponto de vista agrônômico, porém apresenta elevado custo. Os autores também recomendam então, a aplicação de ácido bórico dissolvido na calda de herbicidas de contato, o que torna uma forma prática e eficiente para a aplicação do B no solo. Geralmente as aplicações de B com herbicidas são feitas de 2 a 3 vezes ao ano com volume de calda de 200 L ha⁻¹, com a qual é possível aplicar a dose de 1 kg de B por hectare. Quaggio et al. (2005) recomendaram à aplicação nas folhas de calda contendo sais de Zn e Mn, ácido bórico na concentração de 200 a 300 mg L⁻¹ de B e uréia. A concentração inferior de ácido bórico é recomendada para a adubação de manutenção, enquanto a concentração superior é recomendada quando há sintomas visíveis de deficiência.

Malavolta e Violante Neto (1989), para a adubação com B no solo, recomendaram que quando o teor do nutriente no solo for de até 0,1 mg dm⁻³ aplicar 0,4, 0,6 e 1 grama de B por plantas, respectivamente, para árvore com 2, 3 e 4 anos e para plantas com mais de 4 anos aplicar 1,5 gramas de B por caixa. Quando o teor de B no solo for de 0,1 a 0,3 mg dm⁻³ reduzir a dose do micronutriente pela metade da dose aplicada quando o teor no solo é de 0,1 mg dm⁻³. Quando o teor no solo for igual ou superior a 0,3 mg dm⁻³ não é necessário à aplicação de B. A dose do nutriente nunca deve ser superior a 3 kg ha⁻¹ de B. Para a aplicação de B nas folhas a recomendação dos autores foi de uma só pulverização na primavera com soluções na concentração de 0,1% de ácido bórico.

Davies e Albrigo (1994) recomendaram a aplicação de B, na razão de 1 parte de B para 300 de N, ou junto com o fertilizante a ser aplicado no solo ou na pulverização nas folhas. Entretanto, devido a problemas de toxicidade, os autores recomendaram que a adubação com B não deve ser realizada na folha e no solo no mesmo ano.

2.11 Boro estável (^{10}B)

A utilização de isótopos radioativos e estáveis tem sido uma técnica muito útil nas pesquisas sobre movimentação de nutrientes nos vegetais. Com o desenvolvimento do ICP-MS (espectrômetro de massas com fonte de plasma) tornou-se possível distinguir os isótopos estáveis de B (^{10}B e ^{11}B), o que possibilitou os estudos de mobilidade do B nos vegetais, utilizando-se compostos enriquecidos em ^{10}B . Os resultados de Brown e Shelp (1997) demonstraram que a aplicação de compostos marcados em ^{10}B no solo ou nas folhas é o melhor método para estudar a distribuição do B nas plantas.

O uso de ^{10}B como traçador em estudos com vegetais foi pouco utilizado até o fim dos anos 80, quando Shu et al. (1989) demonstraram ser o ICP-MS um equipamento sensível para determinar a razão isotópica ($^{10}\text{B}/^{11}\text{B}$) em materiais vegetais. Entretanto, existem alguns trabalhos na literatura que utilizaram outras técnicas para quantificar a razão isotópica dos átomos de B em amostras vegetais. Por exemplo, Martini e Theillier (1975) usaram uma reação nuclear para distinguir os dois isótopos de B (^{10}B e ^{11}B); Chamel et al. (1981) e Chamel e Andreani (1985) usaram a espectrometria de massa com fonte de íons (spark-source mass spectrometry) para o mesmo fim. A espectrometria de massas com fonte de plasma,

para determinação isotópica e elementar de B em amostras vegetais, foi estudada no Brasil por Bellato (1999).

Na maioria dos estudos vegetais, em que se aplica à técnica isotópica, são utilizadas soluções de ácido bórico enriquecido em ^{10}B . Entretanto, Kerrien et al. (1997) utilizaram quatro diferentes produtos, enriquecidos com ^{10}B , para estudar a absorção e a mobilidade do boro em rabanete.

Estudos utilizando-se de soluções de ácido bórico enriquecido em ^{10}B já foram realizados em diversas culturas. Em macieira, cerejeira, ameixeira e pereira, Hanson (1991) utilizou solução de $\text{H}_3^{10}\text{BO}_3$ enriquecida a 96,75% de átomos de ^{10}B . Estudos com plantas de pistacho e amendoeira, Brown et al. (1992) utilizaram solução de $\text{H}_3^{10}\text{BO}_3$ enriquecida a 95,91% de átomos de ^{10}B . Em pessegueiro, Shu et al. (1993) utilizaram solução de $\text{H}_3^{10}\text{BO}_3$ enriquecida a 94,7% de átomos de ^{10}B . Estudos em macieira, pereira, ameixeira e cerejeira, Picchioni et al. (1995) utilizaram solução de $\text{H}_3^{10}\text{BO}_3$ enriquecida a 95,91% de átomos de ^{10}B . Em plantas de nectarina, pistacho, macieira, amendoeira, ameixeira, noqueira e cerejeira, Brown e Hu (1996) utilizaram solução de $\text{H}_3^{10}\text{BO}_3$ enriquecida a 95,91% de átomos de ^{10}B . Em estudo com oliveiras, Perica et al. (2001) utilizaram solução de $\text{H}_3^{10}\text{BO}_3$ enriquecida a 99,43% de átomos de ^{10}B . Em plantas de trigo, Huang et al. (2001) utilizaram solução de $\text{H}_3^{10}\text{BO}_3$ enriquecida a 99,47% de átomos de ^{10}B . Em cafeeiro, Leite (2002) também utilizou solução de $\text{H}_3^{10}\text{BO}_3$. Não existe na literatura nenhum trabalho em que se utilizou à técnica isotópica (^{10}B) em plantas cítricas.

O fracionamento isotópico (variação na abundância entre os isótopos de um elemento) ocorre principalmente em elementos em que os isótopos tenham grande diferenças de massas e baixo número atômico. O fracionamento ocorre em função de dois processos: reações químicas e processos físicos. A razão entre os

isótopos $^{11}\text{B}/^{10}\text{B}$ em materiais vegetais pode variar entre 4,013 para farinha de trigo a 4,162 em couve, em frutos de laranja cultivados em pomares Californianos é de 4,066, (VANDERPOOL; JOHNSON, 1992). Apesar de ocorrer na natureza o fracionamento entre os isótopos de B, este fenômeno é desprezível para os experimentos com vegetais em que se utilizam materiais enriquecidos em ^{10}B .

2.12 Espectrometria de massas com fonte de plasma

A espectrometria de massas com fonte de plasma é uma técnica analítica resultante do acoplamento de uma fonte de plasma com um espectrômetro de massas (inductively coupled plasma mass spectrometry – ICP-MS), e foi descrito pela primeira vez por Gray (1974). A técnica baseia-se na capacidade de medir individualmente as razões massa carga (m/z) dos isótopos, possibilitando a aplicação do método da diluição isotópica (GINÉ et al., 1999).

Os componentes fundamentais do ICP-MS são: sistema de introdução de amostras; fonte de ionização; sistema de condução e focalização de íons; analisador de massas; e detector. A introdução e ionização da amostra ocorrem em pressão de 1 atmosfera, enquanto a extração, condução, focalização, separação e detecção encontram-se em estágios crescentes e seqüenciais de vácuo. No primeiro estágio a pressão é de 1 atm (região onde ocorre a amostragem e extração dos íons), no segundo estágio é de 1×10^{-4} atm (região onde encontram-se as lentes iônicas responsáveis pela condução e focalização dos íons até a entrada do analisador), no interior analisador de massas a pressão é de 2×10^{-6} atm (BELLATO, 2004).

O método convencional de introdução de amostras no plasma é a nebulização da solução formando um fino aerossol através de um nebulizador acoplado a uma câmara de expansão. O plasma é produzido pela ionização parcial

de um gás, geralmente argônio, introduzido continuamente com vazão de 12 a 18 L min⁻¹ e sustentado em uma tocha de quartzo, cujo extremo é colocado no interior de uma bobina solenoidal de cobre. Esta bobina é conectada a uma fonte de radiofrequência que induz um campo magnético oscilante, permitindo a formação e manutenção do plasma. A energia produzida pelo plasma é de 15,7 eV, a qual é suficiente para produzir a ionização da maioria dos elementos da amostra (BELLATO, 1999).

A interface entre o plasma e espectrômetro de massas é composta por dois cones metálicos, o primeiro para amostragem dos íons no plasma e o segundo para extração. Entre os cones, devido à diferença de pressão, ocorre uma expansão do material amostrado do plasma e os íons são acelerados na direção do cone de extração e atingem a região das lentes iônicas. Diferenças de potenciais aplicadas entre essas lentes permitem a focalização e condução dos íons para o analisador de massas, do tipo quadrupolar, que é responsável pela separação das massas de interesse, podendo discriminar isótopos entre as massas 4 (Li) e 238 (U). O quadrupolo é constituído por quatro cilindros paralelos e eqüidistantes de um eixo central, os quais são aplicadas diferenças de potenciais alternadas e contínuas. Dependendo dos valores ajustados para essas diferenças de potenciais, ocorrem variações nos movimentos dos íons que poderão ser desviados ou conduzidos entre os cilindros, até atingir o detector. Os íons provenientes do quadrupolo atingem a superfície do detector arrancando elétrons, os quais são acelerados e multiplicados devido à diferença de potencial (1500 ou 3000 V), produzindo um fator de multiplicação de 10⁴ e 10⁸ elétrons para cada íon, respectivamente (GINÉ et al., 1999).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Experimentos

3.1.1 Experimento 1: Absorção radicular do B em laranjeiras jovens e sua redistribuição nas plantas

O experimento foi conduzido em casa-de-vegetação no CENA/USP. Foram utilizadas duas combinações copa/porta-enxerto: laranjeira 'Valência' (*Citrus sinensis* (L.) Osbeck) enxertada em limoeiro 'Cravo' (*Citrus limonia* Osbeck) ou laranjeira 'Valência' enxertada em citrumeleiro 'Swingle' (*Citrus paradisi* Macfad. cv. Duncan x *Poncirus trifoliata* (L.) Raf.).

Os tratamentos utilizados no experimento estão descritos na Tabela 3.. O delineamento estatístico foi um esquema fatorial 4 x 2 x 2, subdividido no tempo com delineamento experimental inteiramente casualizado, sendo, 4 períodos de aplicação das soluções contendo ^{10}B , 2 combinações copa/porta-enxerto, 2 concentrações de B na solução nutritiva, antes da aplicação da solução contendo ^{10}B e 3 repetições, totalizando 48 plantas. Mais 4 plantas testemunhas ('Valência'/'Cravo' ou 'Valência'/'Swingle' cultivadas em soluções com concentrações de 0,05 ou 0,5 mg L⁻¹ de B), totalizando 52 plantas no experimento (Tabela 3.1).

Tabela 3.1. Época da aplicação de ^{10}B na solução nutritiva e coleta das plantas.

Porta-Enxerto (B na sol.)	^{10}B	1º Período	2º Período	3º Período	4º Período	
	Coleta	Out/01	Jan/02 Dez/01	Abr/02 Mar/02	Jul/02 Jun/03	Set/02
'Cravo' (0,5 mg L ⁻¹ de B)	^{10}B		Coleta			
'Swingle' (0,5 mg L ⁻¹ de B)	^{10}B		Coleta			
'Cravo' (0,05 mg L ⁻¹ de B)	^{10}B		Coleta			
'Swingle' (0,05 mg L ⁻¹ de B)	^{10}B		Coleta			
'Cravo' (0,5 mg L ⁻¹ de B)	B		^{10}B	Coleta		
'Swingle' (0,5 mg L ⁻¹ de B)	B		^{10}B	Coleta		
'Cravo' (0,05 mg L ⁻¹ de B)	B		^{10}B	Coleta		
'Swingle' (0,05 mg L ⁻¹ de B)	B		^{10}B	Coleta		
'Cravo' (0,5 mg L ⁻¹ de B)	B	B		^{10}B	Coleta	
'Swingle' (0,5 mg L ⁻¹ de B)	B	B		^{10}B	Coleta	
'Cravo' (0,05 mg L ⁻¹ de B)	B	B		^{10}B	Coleta	
'Swingle' (0,05 mg L ⁻¹ de B)	B	B		^{10}B	Coleta	
'Cravo' (0,5 mg L ⁻¹ de B)	B	B	B		^{10}B	Coleta
'Swingle' (0,5 mg L ⁻¹ de B)	B	B	B		^{10}B	Coleta
'Cravo' (0,05 mg L ⁻¹ de B)	B	B	B		^{10}B	Coleta
'Swingle' (0,05 mg L ⁻¹ de B)	B	B	B		^{10}B	Coleta

As mudas de laranjeiras foram cultivadas em substrato até que tivessem dois ramos desenvolvidos e depois transplantadas para vasos de plásticos (Figura 3.1) contendo 12 litros de solução nutritiva, constantemente aerados, com concentrações de B de 0,05 ou 0,5 mg L⁻¹, obtidas pela dissociação de H₃BO₃ em água. A concentração de B de 0,5 mg L⁻¹ é utilizada em estudos de nutrição mineral de plantas para a maioria das culturas, quando se deseja obter teores adequados do nutriente nas folhas. Grassi Filho (1991), em estudo realizado com limoeiro, adotou a concentração de B de 0,05 mg L⁻¹, obtendo nas folhas concentrações consideradas deficientes, sem, entretanto, comprometer o desenvolvimento da planta.

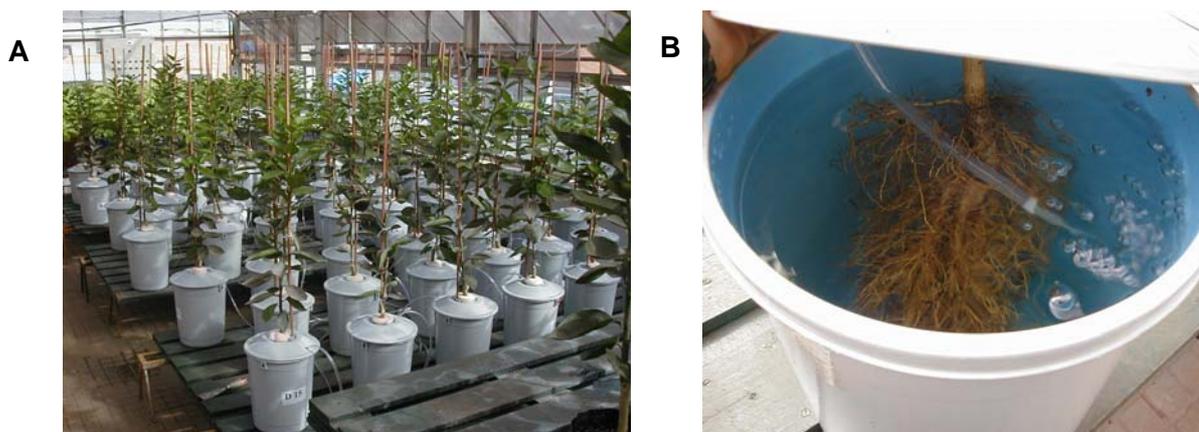


Figura 3.1. **A** – Vista geral do início do experimento; **B** – Sistema radicular da laranjeira recém transplantada em solução nutritiva.

A solução nutritiva utilizada foi adaptada a partir da solução completa de Sarruge (1975). Manteve-se a concentração original de todos os nutrientes, com exceção apenas para o Ca e K, aumentando a quantidade de Ca para 300 mg L^{-1} e diminuindo a quantidade de K para 180 mg L^{-1} , conforme descrito na Tabela 3.2.

Tabela 3.2. Concentração dos nutrientes nas soluções nutritivas utilizadas.

Nutriente	mg L ⁻¹	Nutriente	mg L ⁻¹
Total N	225	B (adequado)	0,5
N –NO₃⁻	200	B (deficiente)	0,05
N –NH₄⁺	25	Cu	0,02
P	31	Fe	5,0
K	180	Mn	0,6
Ca	300	Mo	0,01
Mg	48	Zn	0,1
S	64		

Para que a maioria das culturas tenha um bom desenvolvimento em solução nutritiva, é necessário que o pH da solução esteja entre 5,0 a 6,5. Então para o N, manteve-se a mesma concentração do nutriente (225 mg L^{-1}) em relação à solução de Sarruge (1975), porém para ter uma menor variação do pH da solução nutritiva, utilizou-se da relação de gramas de $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$ de 27,5/1, ou seja, de gramas $\text{N-NO}_3^-/\text{N-NH}_4^+$ de 8,1/1, fazendo com que diminuísse a necessidade de correção do pH da solução nutritiva, relação esta, estabelecida por Clark (1982) em experimentos com plantas de sorgo e milho.

No início de cada período, 12 plantas receberam solução nutritiva completa, com concentração de $0,5 \text{ mg L}^{-1}$ de B e enriquecidas em ^{10}B . Destas, 6 plantas foram conduzidas em solução nutritiva deficiente em B ($0,05 \text{ mg L}^{-1}$ de B) e 6 plantas foram conduzidas em solução nutritiva com concentração adequada de B ($0,5 \text{ mg L}^{-1}$ de B).

O pH e a condutividade elétrica da solução nutritiva foram monitorados semanalmente, e quando necessário foi realizado a correção do pH da solução, mantendo-o entre 5,0 a 6,5. Como a condutividade elétrica da solução nutritiva está relacionada com a quantidade de íons presentes na solução, à medida que a planta absorve esses íons ocorre um decréscimo no valor da condutividade elétrica da solução nutritiva. Quando a condutividade elétrica atingiu aproximadamente 40% do valor inicial, foi feita a reposição de nutrientes na solução, adicionando na proporção a mesma solução nutritiva utilizada no início dos tratamentos, até que a condutividade elétrica fosse igual a inicial. Conforme indicado na Tabela 3.3.

Tabela 3.3. Dias após o início dos tratamentos com ^{10}B em que foi feita a reposição dos nutrientes e correção do pH da solução nutritiva.

	1ª Reposição dos nutrientes na solução		2ª Reposição dos nutrientes na solução		Correção do pH
	DIAS	%	DIAS	%	DIAS
1º Período	51	30	-	-	24
2º Período	44	40	-	-	-
3º Período	33	50	71	50	-
4º Período	37	50	-	-	-

- Não realizado.

Durante o experimento, quando necessário, adicionou-se água destilada nos vasos, repondo o volume da solução nutritiva até completar 12 L. Os valores médios mensais da temperatura e da umidade relativa no interior da casa de vegetação foram registrados por termohigrógrafo e estão apresentados na Tabela 3.4.

Tabela 3.4. Valores médios mensais da temperatura e umidade relativa no interior da casa-de-vegetação, durante a condução do Experimento 1.

Mês/Ano		Temperatura (°C)	Umidade Relativa (%)
out/01		26	67
nov/01	1º Período	25	68
dez/01		26	74
jan/02		24	79
fev/02	2º Período	20	79
mar/02		22	76
abr/02		21	73
mai/02	3º Período	18	72
jun/02		16	71
jul/02		12	66
ago/02	4º Período	18	60
set/02		19	67

Os ramos dos fluxos de crescimento das laranjeiras desenvolvidos após o início dos tratamentos com ^{10}B foram devidamente identificados, para possibilitar a separação das partes que cresceram após a adição da solução marcada. Após 3 meses na solução nutritiva com ^{10}B , as laranjeiras foram coletadas e separadas em:

- Folha Nova e Ramo Novo (folhas e ramos dos fluxos de crescimento nascidos após o início do tratamento);
- Folha Velha e Ramo Velho (folhas e ramos dos fluxos de crescimento desenvolvidos antes do início do tratamento);
- Caule (parte aérea do porta-enxerto);
- Raízes (pivotante, pioneiras, fibrosas e radículas).

Nos tratamentos realizados durante o 3º e 4º período ocorreu o florescimento das plantas, sendo também coletadas as flores e frutos. A seguir foi realizado o preparo do material vegetal coletado para as análises químicas, conforme descrito no item 3.2.

3.1.2 Experimento 2: Absorção foliar de B por laranjeiras jovens e sua redistribuição na planta

O experimento foi realizado em casa de vegetação no CENA/USP, utilizando-se mudas de laranjeira 'Valência' enxertada em limoeiro 'Cravo', conduzidas com duas brotações e que foram transplantadas para vasos de plástico contendo substrato próprio para desenvolvimento das plantas. Antes do início do experimento, o substrato dos vasos contendo as laranjeiras foi regado com solução nutritiva completa sem B (Tabela 3.2).

As laranjeiras foram pulverizadas com pesos conhecidos de solução contendo ^{10}B na concentração de B de 225 mg L^{-1} . O GPAC (1997) recomenda a aplicação de B na concentração de 170 mg L^{-1} . No entanto, foi realizado um experimento preliminar no qual avaliou diferentes concentrações de B (0; 85; 170; 225 e 340 mg L^{-1}) aplicados nas folhas de laranjeira. Verificou-se que a concentração de 225 mg L^{-1} não causava toxidez às folhas das laranjeiras, então se optou por concentração de B maior do que a recomendada pelo GPAC (1997). Isto porque, caso a quantidade de ^{10}B mobilizada para os órgãos da laranjeira 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 laranjeiras, maior seria a quantidade de B nas partes das laranjeiras que não receberam solução marcada. A concentração de 225 mg L^{-1} também foi utilizada no Experimento 3.

Em cada planta aplicou em média 18,7 gramas de solução contendo ^{10}B , nos dois fluxos de crescimento recém desenvolvidos. No momento da adubação com o material marcado tanto a haste central da planta, desenvolvida no fluxo de

crescimento anterior ao do fluxo que recebeu ^{10}B , quanto o vaso foram devidamente protegidos com anteparo de plástico, para que não ocorresse contaminação dos mesmos com o adubo marcado. A quantidade de solução aplicada em cada planta foi obtida através da pesagem dos vasos contendo as laranjeiras antes e depois da aplicação da solução com ^{10}B , sendo que a sensibilidade analítica da balança é de 0,1 grama.

O início dos tratamentos com o B marcado ocorreu em novembro de 2001. A pulverização com ^{10}B nas folhas das laranjeiras foi realizada nas primeiras horas da manhã quando a umidade relativa no interior da casa-de-vegetação estava superior a 60%. Após a aplicação nas folhas da solução contendo ^{10}B , esperou decorrer 3, 6, 12, 24 horas e 5, 10 e 30, 75, 120 e 240 dias, coletando-se três plantas em cada tempo. Além destas, 3 plantas que não receberam adubação foliar foram coletadas no início do experimento.

Na coleta do material vegetal, separou a planta em porta-enxerto e copa. Na copa das laranjeiras separou os diferentes fluxos de crescimento em folhas e ramos. As plantas colhidas até 30 dias do início do tratamento com ^{10}B não haviam emitido novos fluxos de crescimento, entretanto, nas plantas colhidas depois de 75 dias do início do tratamento já haviam emitido novos fluxos de crescimento. As laranjeiras foram coletadas e separadas em: fluxo "velho" (ramo e folhas da haste central da planta existente no momento da adubação foliar que não receberam o ^{10}B); fluxo "aplicado" (ramos e folhas dos fluxos de crescimentos que receberam o ^{10}B); e fluxo "novo" (ramos e folhas dos fluxos de crescimento desenvolvidos após a aplicação do ^{10}B) existente somente nos tratamentos de 75, 120 e 240 dias.

Após a separação da planta, tanto as folhas quanto as partes lenhosas foram lavadas com água destilada corrente, para uma possível retirada do B

aplicado que não foi absorvido que poderia estar na superfície desses órgãos. Após a coleta do material vegetal foi realizado o preparo do material para as análises químicas, conforme descrito no item 3.2. Entretanto, não foi realizada a lavagem das plantas com água destilada nos tratamentos onde ocorreram brotações novas.

3.1.3 Experimento 3: Redistribuição do B absorvido pelas raízes e folhas de laranjeiras jovens

O ensaio foi conduzido em casa de vegetação no CENA-USP. Mudanças de laranjeira 'Valência' enxertada em limoeiro 'Cravo' e laranjeira 'Valência' enxertada em citrumeleiro 'Swingle', conduzidas com 3 brotações por planta, foram transplantadas para vasos contendo 12 L de substrato, que receberam solução nutritiva completa sem B.

O início dos tratamentos ocorreu em novembro de 2001, quando os fluxos de crescimento já estavam desenvolvidos. Foi aplicada no substrato solução nutritiva completa com ou sem B, e enriquecida ou não em ^{10}B ; e na parte aérea das plantas foi aplicada solução contendo B enriquecidas ou não em ^{10}B , conforme Tabela 3.5. A composição dos nutrientes na solução nutritiva encontra-se na Tabela 3.2. Os tratamentos foram distribuídos inteiramente ao acaso.

Tabela 3.5. Aplicação de ^{10}B no substrato ou na parte aérea das laranjeiras.

PORTA-ENXERTO	SUBSTRATO ¹	PARTE AÉREA
Citrumeleiro 'Swingle'	Sem adubação com B	Sem adubação foliar
	Sem adubação com B	Adubação foliar com ^{10}B
	Adubação com B	Adubação foliar com ^{10}B
	Adubação com ^{10}B	Adubação foliar com B
Limoeiro 'Cravo'	Sem adubação com B	Sem adubação foliar
	Sem adubação com B	Adubação foliar com ^{10}B
	Adubação com B	Adubação foliar com ^{10}B
	Adubação com ^{10}B	Adubação foliar com B

¹ Todos os tratamentos receberam no substrato solução nutritiva sem B (Tabela 3.2).

A adubação foliar foi realizada com pulverizador manual, aplicando o ^{10}B na planta inteira (haste + 3 fluxos de desenvolvimento). Por meio das pesagens dos vasos antes e após a pulverização foliar, obteve-se a quantidade do adubo aplicado nas folhas, que foi em média de 22,7 gramas de solução contendo B na concentração de 255 mg L^{-1} , ou seja, em média 5,8 mg de B por planta. No momento da adubação os vasos foram protegidos para que a solução aplicada via foliar não contaminasse o substrato.

Nos tratamentos que receberam adubação com B no substrato, foi aplicado 7 litros de solução nutritiva completa, contendo B na concentração de $0,5 \text{ mg L}^{-1}$ ou 3,5 mg de B por planta, marcada ou não com ^{10}B . Três meses após o início dos tratamentos com B, as laranjeiras já haviam emitido novos fluxos de crescimento e estes já estavam desenvolvidos. Então foi realizada a coleta das plantas, separando-as em parte 'Velha' (folhas e ramos que receberam a adubação foliar com B) e a parte 'Nova' (folhas e ramos dos fluxos de crescimento desenvolvidos após a pulverização foliar ou aplicação de B no substrato). A seguir o material vegetal coletado foi preparado para as análises químicas, conforme descrito no item 3.2.

3.1.4 Experimento 4: Absorção do B pelas raízes e folhas das laranjeiras e sua redistribuição para os frutos

O experimento foi instalado em setembro de 2003, na Fazenda Santa Lúcia pertencente ao grupo Branco Peres, localizada no município de Reginópolis. O experimento foi conduzido em pomar fertirrigado de laranjeira 'Valência' enxertada em citrumeleiro 'Swingle' instalado em 1999, em solo arenoso com espaçamento entre plantas de $3,0 \times 7,5 \text{ m}$ totalizando 444 plantas por hectare. O delineamento experimental utilizado foi blocos ao acaso em esquema fatorial (5×3) totalizando 15

plantas úteis, sendo 5 tratamentos (Testemunha, Foliar 1, Foliar 2, Solo 1 e Solo 2), com 3 repetições. O adubo marcado (^{10}B) foi pulverizado nas folhas das laranjeiras ou gotejado no solo, no momento da fertirrigação.

O B foi aplicado nas folhas da laranjeira ou no solo, havendo tratamentos que receberam apenas uma aplicação no mês de setembro de 2003 (Foliar 1 e Solo 1) e tratamentos que receberam duas aplicações de B nos meses de setembro de 2003 e janeiro de 2004 (Foliar 2 e Solo 2). Tanto os tratamentos quanto as épocas de amostragens das plantas estão descritos na Tabela 3.6.

Tabela 3.6. Épocas de aplicação de ^{10}B e amostragens das plantas.

	Aplicação de ^{10}B		Épocas de amostragem ¹			Efeito Residual
	Set/03	Jan/04	Jan/04	Mar/04	Set/04	
Controle	-	-				Fruto 2-3 cm (Jan/05)
Foliar 1	^{10}B	-	Folhas	Diagnose	Folhas	Fruto 7-8 cm (Mar/05)
Foliar 2	^{10}B	^{10}B	Frutos	Foliar ²	Frutos	Fruto maduro (Out/05)
Solo 1	^{10}B	-			Flores	
Solo 2	^{10}B	^{10}B				

¹ Amostragens realizadas em todos os tratamentos.

² Amostragem de folha recomendada para diagnose foliar (GPAC, 1997).

Nos tratamentos em que o ^{10}B foi aplicado no solo, a dose por planta foi de 2,25 g de B (1 kg ha^{-1} de B). A aplicação de B foi realizada de forma a simular o sistema de fertirrigação (Figura 3.2). A quantidade total de ^{10}B a ser aplicada por planta foi preparada em 8 litros de solução. Em cada planta foram colocadas 4 garrafas contendo 2 litros de solução, nessas garrafas foi montado um sistema de gotejo que durante 2 a 3 dias gotejou toda a solução da garrafa na linha do sistema de fertirrigação, a 30 cm do furo do gotejador. Como o sistema de irrigação do pomar é em linha dupla, colocou na projeção da copa 2 garrafas por linha de gotejo em cada planta. O sistema de gotejo foi instalado uma ou duas vezes, dependendo do tratamento.

A adubação foliar foi realizada com pulverizador manual de forma a cobrir toda a laranjeira, no entanto, sem que a solução escorresse para o solo. Foi aplicado por planta um volume de 3 litros de solução enriquecida isotopicamente em ^{10}B , com B na concentração de 375 mg L^{-1} ($0,5 \text{ kg ha}^{-1}$ de B). No momento da adubação foliar o solo foi protegido com lona plástica, para evitar que a solução que não atingisse as folhas caísse no solo e o ^{10}B fosse absorvido pelas raízes das laranjeiras.



Figura 3.2. Aplicação de ^{10}B no solo, simulando o sistema de gotejo.

Antes do início dos tratamentos foram identificados os ramos do fluxo de crescimento recém emitidos que ainda estavam em fase de desenvolvimento. No dia anterior à segunda aplicação de ^{10}B nas laranjeiras, em janeiro de 2004, foram identificados os ramos do fluxo de crescimento nascidos após a primeira adubação, que no momento ainda não estavam maduros, mas estavam totalmente expandidos. Neste dia, ainda foi realizada a primeira amostragem das laranjeiras.

Após a primeira amostragem, as plantas coletadas foram separadas em:

- Folha e Ramo do 1º Fluxo de Crescimento (folha e ramo do fluxo de crescimento com fruto, que estava em desenvolvimento no momento da adubação);
- Folha e Ramo do 2º Fluxo de Crescimento (folha e ramo expandidos ainda não maduros, do fluxo de crescimento nascido após a adubação com ^{10}B);
- Fruto (frutos com 3 a 4 cm de diâmetro).

No mês de março de 2004 foi realizada em todos os tratamentos a amostragem da folha recomendada para a diagnose nutricional, conforme recomendação do GPAC (1997). A segunda coleta das plantas ocorreu em outubro de 2004 quando os frutos atingiram o ponto de colheita (Ratio – relação Brix/Acidez = 12). Após a amostragem, as plantas foram separadas em:

- Folhas e Ramos do 1º Fluxo de Crescimento que estavam em desenvolvimento no momento da primeira adubação e totalmente desenvolvidos no momento da segunda adubação (fluxo de crescimento com frutos);
- Folhas e Ramos do 2º Fluxo de Crescimento desenvolvidos após a primeira adubação, que no momento da segunda adubação estavam totalmente expandidos, mas ainda não estavam maduros;
- Folhas e Ramos do 3º Fluxo de Crescimento maduros no momento da coleta final, do fluxo de crescimento desenvolvido após a segunda adubação com ¹⁰B;
- Folha Nova e Ramo Novo (folha e ramo expandidos, ainda não maduros no momento da amostragem final, do fluxo de crescimento nascido após a segunda adubação com ¹⁰B);
- Fruto maduro correspondente aos frutos com 3 a 4 cm de diâmetro da primeira coleta (o fruto coletado foi separado em Casca e Polpa);
- Casca Lavada recebeu lavagem com água destilada corrente (amostragem realizada em todos os tratamentos) e Casca Não Lavada que não recebeu lavagem com água destilada corrente (amostragem realizada somente no tratamento controle e nos tratamentos que o ¹⁰B foi aplicado nas folhas);
- Flor desenvolvida após a segunda adubação (referente a produção do ano seguinte).

Também foram realizadas amostragens no segundo ano após a adubação, para avaliar o efeito residual da adubação. Em outubro de 2004 foram amostrados os frutos com 2-3 cm; em março de 2005 foram realizadas as amostragens de frutos que estavam com 7-8 cm e das folhas recomendadas para a diagnose foliar, e em outubro de 2005 foi realizada a última amostragem dos frutos que estavam maduros, das folhas e ramos do fluxo de crescimento do fruto e das raízes da planta.

Na Figura 3.3, encontra-se os valores de temperatura e precipitação pluviométrica, registrada pela Fazenda Santa Lúcia, durante o período da aplicação de ^{10}B no experimento. Todo material vegetal amostrado foi preparado para as análises químicas, conforme descrito no item 3.2.

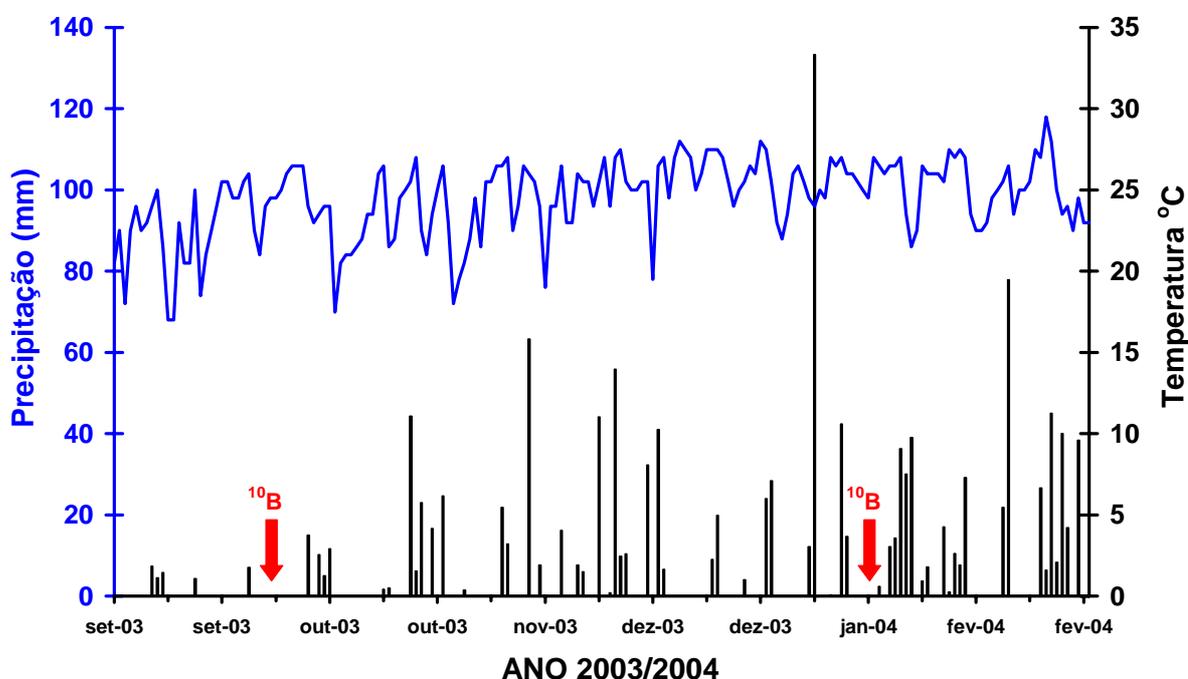


Figura 3.3. Valores de temperatura e precipitação pluviométrica registrada pela fazenda durante o período do experimento. Épocas de aplicação de ^{10}B : 1ª Adubação (29/09/2003); 2ª Adubação (19/01/2004).

3.2 Análises químicas

3.2.1 Preparo das amostras

Todo material vegetal coletado foi lavado em água destilada corrente e postos em estufa a 65°C para secar até peso constante. Após a secagem do material vegetal, procedeu-se à moagem da massa seca em moinho de facas com peneira de 10 mesh, sendo então acondicionado em sacos de plásticos. Nas amostras foram realizadas a quantificação do B total e a determinação da razão isotópica ($^{10}\text{B}/^{11}\text{B}$) no ICP-MS.

3.2.2 Determinação do B total

O B total foi determinado pelo método colorimétrico da azometina H (MALAVOLTA et al., 1997). Transferiu-se 0,2 g de amostra para cadinho de porcelana e incinerou-se em forno elétrico a 550°C por 3 horas. Após o esfriamento da amostra adicionou-se 10 mL de HCl 0,1 N, dissolvendo toda a cinza. Deixou o extrato em repouso, retirou-se uma alíquota de 2 mL do extrato, adicionou-se 2 mL de solução tampão (ácido acético glacial) e homogeneizou-se; adicionou-se 2 mL de azometina H 0,45 e agitou; depois de 30 minutos transferiu as soluções para tubos colorimétricos e procedeu as leituras com filtro azul (420 nm), acertando o zero no espectrômetro de emissão atômica com HCl 0,1N.

3.2.3 Determinação de razões isotópicas ($^{11}\text{B}/^{10}\text{B}$)

A determinação isotópica de B por ICP-MS pode sofrer interferências do efeito memória, da discriminação de massas durante a análise, e da sobreposição do sinal do ^{12}C sobre o ^{11}B . No entanto, a forma mais simples para minimizar os problemas de interferências é reduzir o volume e as concentrações de B nas soluções introduzidas no plasma (BELLATO, 2004).

Para a determinação da razão isotópica ($^{10}\text{B}/^{11}\text{B}$) do material vegetal amostrado, os extratos ácidos obtidos na quantificação do B total, quando necessário, foram diluídos em água purificada (18,2 M Ω cm em sistema milli-Q) para aproximadamente 0,3 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 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 ^{10}B e ^{11}B e quantificar a porcentagem de B na planta proveniente do fertilizante.

3.3 Análise isotópica

3.3.1 Equipamento (ICP-MS)

O ICP-MS utilizado foi do tipo quadrupolo com fonte de plasma induzido em argônio. Equipamento da marca Fisions, modelo VG-PQII, com nebulizador concêntrico (Meinhard T-2c) instalado em câmara de nebulização refrigerada. As soluções foram introduzidas no equipamento utilizando o sistema de injeção em fluxo.

3.3.2 Otimização e calibração de massas do ICP-MS

A otimização e calibração de massas do sistema ICP-MS foi feita conforme metodologia descrita por Bellato (1999). Introduziu-se solução padrão $25,0 \mu\text{g L}^{-1}$ de Be, Mg e Co através de nebulização direta, e monitorando-se o sinal na razão massa carga (m/z) 9 ajustou-se a posição da tocha em relação ao cone de amostragem. Em continuação, ajustaram-se as diferenças de potenciais aplicadas ao extrator, coletor e demais lentes, de forma a obter-se máxima sensibilidade. Posteriormente, foi realizada a calibração de massas usando os isótopos ^9Be , ^{24}Mg e ^{59}Co . Depois de realizada a calibração de massas, a resolução do quadrupolo foi ajustada em 0,6 u.m.a. a 10% da altura dos picos de ^{10}B e ^{11}B de forma a evitar a sobreposição espectral do sinal ^{12}C sobre o ^{11}B . Quando necessário, realizou-se nova calibração de massas. As condições operacionais do ICP-MS utilizadas durante os experimentos estão apresentadas na Tabela 3.7.

Tabela 3.7. Condições operacionais do ICP-MS.

PARÂMETRO DO PLASMA	VALOR
Potência da RF (Watts)	1.350
Potência refletida (Watts)	<6
Vazão do gás auxiliar (L/min)	0,5
Vazão do gás do plasma (L/min)	12,00
Vazão do gás de nebulização (L/min)	0,9

3.3.3 Diminuição do efeito de memória

Para minimizar o efeito de memória, as amostras foram diluídas (diminuído a concentração de B) e aumentou o tempo entre as amostras (permitindo uma melhor limpeza das partes do percurso da amostra). Além disto, foi montado um sistema de injeção em fluxo em linha única, Figura 3.4 (BELLATO, 1999), que foi acoplado ao nebulizador concêntrico. Neste, uma solução de $300 \mu\text{g L}^{-1}$ de B e aspirada ($0,9 \text{ mL min}^{-1}$) para preencher a alça de amostragem L (50 cm). Após a comutação da seção central do injetor, a solução em L foi transportada ($0,9 \text{ mL min}^{-1}$) por uma solução C (água) até o nebulizador concêntrico instalado no ICP-MS. As soluções foram bombeadas com vazão de $0,9 \text{ mL min}^{-1}$. A comutação do injetor foi coincidente com o início da aquisição de dados do ICP-MS.

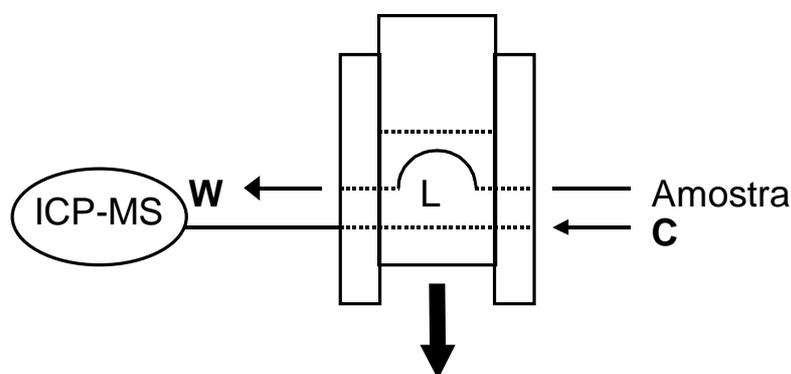


Figura 3.4. Diagrama do sistema de injeção em fluxo. L representa a alça de amostragem (50 cm), C a solução transportadora (H_2O) e W o lixo. As setas pequenas indicam a ação da bomba peristáltica e a maior movimento da seção central do injetor (BELLATO, 1999).

3.4 Materiais e Analíticos

3.4.1 Materiais de laboratório

Durante a preparação dos materiais utilizados e condução dos experimentos, tomou-se o cuidado de utilizar apenas recipientes de plástico para armazenagem e preparo de amostras, para evitar possíveis contaminações com borossilicatos, presente nas vidrarias de laboratório.

3.4.2 Adubo enriquecido em ^{10}B

Em todos os experimentos, para a obtenção das soluções enriquecidas em ^{10}B , foi utilizado ácido bórico com 92,64% de átomos de ^{10}B ($^{11}\text{B}/^{10}\text{B} = 0,079$), adquiridos do IEN (Instituto de Engenharia Nuclear), órgão da CNEN (Comissão Nacional de Energia Nuclear).

Devido às diferenças na abundância isotópica, para o preparo de uma mesma concentração de B na solução, deve-se utilizar diferentes quantidades dos reagentes. A massa de 1,0 mol de B com abundância isotópica natural é igual a 10,811 g (19,9% ^{10}B (10,013 u.m.a.) e 80,1% ^{11}B (11,009 u.m.a.)) e a massa de 1,0 mol de B na abundância isotópica utilizada nos experimentos é de 10,086 g (92,76% ^{10}B (10,013 u.m.a.) e 7,36% ^{11}B (11,009 u.m.a.)). Ou seja, para obter em uma solução a mesma quantidade de átomos de B, utilizando-se de ácido bórico com diferentes abundancias isotópicas de B, deve-se utilizar diferentes quantidades dos reagentes. Nos experimentos, para uma concentração de 255 mg L⁻¹ de B na solução, utilizou-se de 1,46 g de ácido bórico com abundância isotópica natural e 1,55 g de ácido bórico enriquecido em ^{10}B .

3.5 Cálculo da % 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 a % Bppf igual a quantidade de átomos ^{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 (92,76%) menos a quantidade de átomos ^{10}B natural, em porcentagem. A quantidade de átomos ^{10}B da amostra é o valor da contagem dos átomos de ^{10}B e ^{11}B obtido no aparelho, já com as correções da discriminação de massas do equipamento. O valor da ^{10}B natural é o valor das análises das amostras das plantas que não receberam adubação com ^{10}B , que foi em média de 19,85 % ^{10}B .

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

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

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

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Experimento 1: Absorção radicular do B em laranjeiras jovens e sua redistribuição nas plantas

4.1.1 Variação do pH e da condutividade elétrica na solução nutritiva

Para que as laranjeiras tenham um bom desenvolvimento é necessário que o pH da solução nutritiva esteja entre 5,0 a 6,5. Segundo Clark (1982), na maioria dos experimentos examinados, a razão entre as concentrações de $\text{N-NO}_3^-/\text{N-NH}_4^+$ igual a 8,1/1 foi a que apresentou melhor crescimento das plantas de várias espécies e a menor variação do pH da solução nutritiva. A variação do pH pode ser explicada pela presença dos íons nitrato e amônio, presentes na solução nutritiva inicial (MENGEL; KIRKBY, 2001), pois o nitrato é absorvido pela planta pelo processo de co-transporte de próton e na absorção de amônio este processo nem sempre acontece.

No co-transporte, os prótons da solução nutritiva, que podem ter sido exsudado pelas raízes, retornam para o citosol juntamente com o nitrato. Quando a quantidade de próton absorvido é maior que a quantidade de próton exsudado, o pH da solução nutritiva aumenta, e isto ocorre quando o amônio é absorvido preferencialmente ao nitrato. Esta relação também foi evidenciada pelos resultados obtidos por Silva et al. (2002), que cultivaram laranjeira 'Valência' enxertada em

citrameleiro 'Swingle' nas mesmas condições que as do presente experimento. Analisando a solução, os autores verificaram que inicialmente houve maior absorção de amônio em relação ao nitrato, com a conseqüente diminuição do pH, até o momento que praticamente todo o amônio da solução tinha sido absorvido. Em seqüência, havendo praticamente somente nitrato na solução nutritiva como fonte de N, o pH aumentou, porque o nitrato é absorvido pelo processo de co-transporte de prótons, retirando H^+ da solução nutritiva.

Verifica-se que no início dos tratamentos ocorreu redução dos valores do pH da solução nutritiva, isso deve ter ocorrido porque a absorção de amônio foi maior que a de nitrato, a seguir com o esgotamento do amônio da solução, o pH começou a aumentar. Com a reposição dos nutrientes na solução nutritiva e conseqüentemente com a reposição do amônio na solução (Tabela 3.3), o pH desta começou a diminuir novamente até que absorção de amônio fosse menor que a absorção de nitrato, e a partir deste ponto o pH voltou a aumentar, como pode ser observado na Figura 4.1.

A condutividade elétrica da solução nutritiva está relacionada com a quantidade de sais presentes nela. Os sais dissolvidos e ionizados presentes na água transformam-na em um eletrólito capaz de conduzir corrente elétrica. Como há uma relação de proporcionalidade entre o teor de sais dissolvidos e a condutividade elétrica, pode-se estimar o teor de sais pela medida da condutividade elétrica na solução nutritiva. Então, à medida que a planta consome os íons na solução, ocorre um decréscimo da condutividade elétrica.

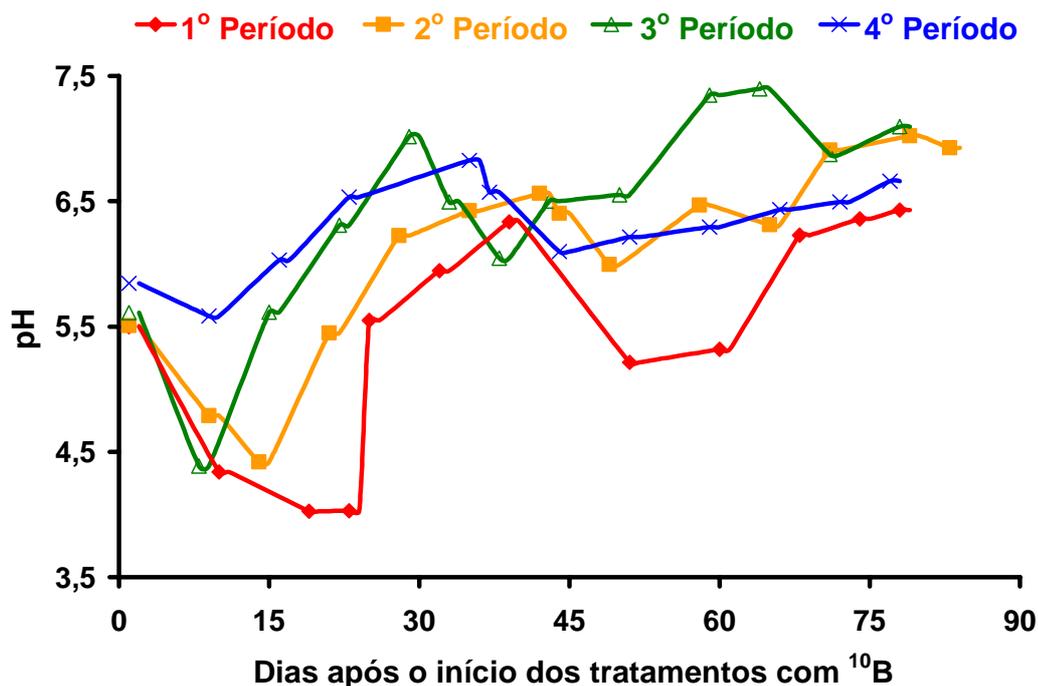


Figura 4.1. Variação do pH das soluções nutritivas dos diferentes tratamentos, em função dos dias após o início do tratamento com ¹⁰B.

1º Per. (out/01 a dez/01); 2º Per. (jan/02 a mar/02); 3º Per. (abr/02 a jun/02); 4º Per. (jul/02 a set/02).
Reposição dos nutrientes: 1º Per. (51 dias); 2º Per. (44 dias); 3º Per. (33 e 71 dias); 4º Per. (37 dias).

Quando os valores da condutividade elétrica na solução nutritiva atingiram aproximadamente 40% do valor inicial, foi feita a reposição dos nutrientes na solução nutritiva, adicionando a mesma solução utilizada no início do experimento, à medida que os nutrientes foram repostos na solução nutritiva ocorreu o aumento da condutividade elétrica a valores próximos ao do início do experimento.

A absorção dos íons da solução nutritiva esteve diretamente relacionado com a produção de biomassa pela planta, quanto maior foi o desenvolvimento da planta maior foi o consumo dos nutrientes da solução nutritiva. Isso pode ser observado nos resultados apresentados na Figura 4.2, onde o maior consumo de nutrientes ocorreu no 3º Período que foi também o período que apresentou o maior acúmulo de matéria seca (Tabela 4.1). Quanto mais rápido foi o consumo dos íons da solução pela planta, conseqüentemente, mais rápido foi a variação do pH e da condutividade elétrica na solução nutritiva.

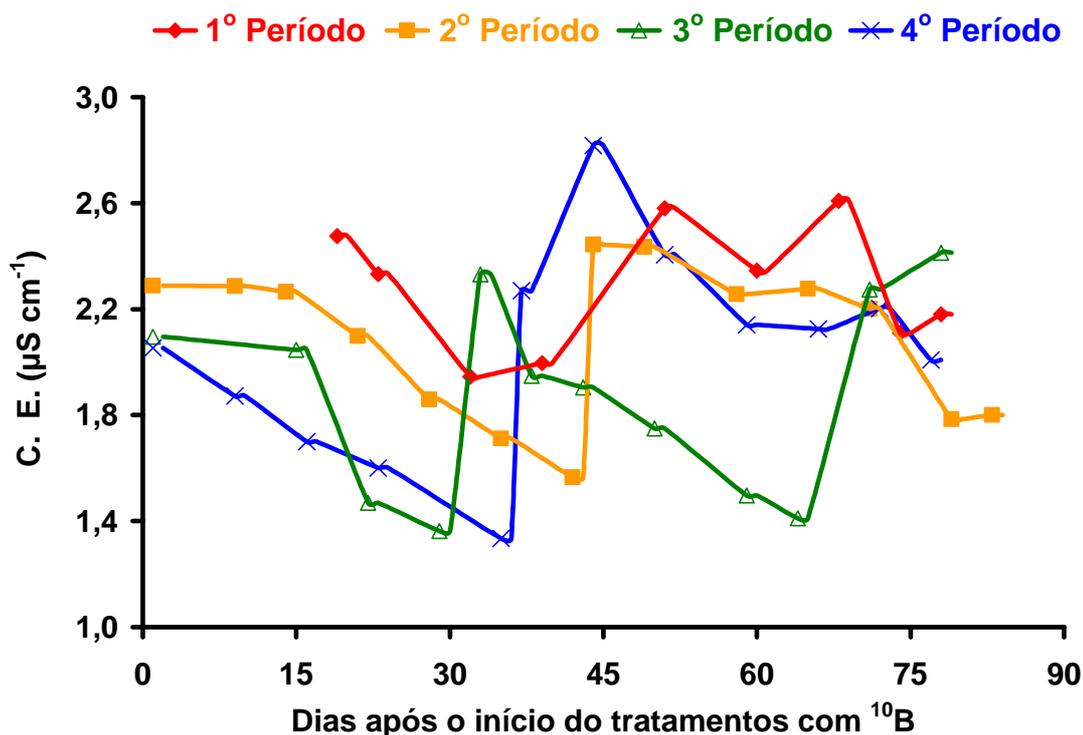


Figura 4.2. Variação da condutividade elétrica da solução nutritiva dos diferentes tratamentos, em função dos dias após o início do tratamento com ¹⁰B. 1º Per. (out/01 a dez/01); 2º Per. (jan/02 a mar/02); 3º Per. (abr/02 a jun/02); 4º Per. (jul/02 a set/02). Reposição dos nutrientes: 1º Per. (51 dias); 2º Per. (44 dias); 3º Per. (33 e 71 dias); 4º Per. (37 dias).

4.1.2 Acúmulo de biomassa

Pela Tabela 4.1, pode-se observar que ocorreu acúmulo de matéria seca durante todos os períodos, porém estes acúmulos foram maiores no 2º e 3º período (período de maior reposição de nutrientes). Observa-se ainda pela Tabela 4.1 que o maior acúmulo de matéria seca durante o 4º período ocorreu nas partes reprodutivas das plantas (flores e frutos). Pela Tabela 4.2, nota-se que não ocorreu diferença no acúmulo de matéria seca nas diferentes combinações copa/porta-enxerto, devido aos tratamentos, resultados semelhantes aos obtidos por Papadakis et al., (2003).

Apesar de as laranjeiras não apresentarem diferenças nos acúmulos de matéria seca nas raízes devido aos tratamentos, foi observado que as plantas cultivadas em solução nutritiva deficiente em B, apresentaram visível limitação no desenvolvimento do sistema radicular antes do início dos tratamentos com ¹⁰B.

Quando estas plantas foram colocadas em solução nutritiva adequada em B tiveram, primeiramente, um acentuado desenvolvimento do sistema radicular, apresentando, aparentemente, um volume de raízes novas muito superior aos das plantas que foram cultivadas durante todos os períodos em solução nutritiva adequada.

Tabela 4.1. Massa de matéria seca das laranjeiras (média dos diferentes tratamentos - 12 plantas).

PERÍODO	Porta-Enxerto			Copa				Flores	Frutos
	Total	Raízes	Caule	Folha Velha	Ramo Velho	Folha Nova	Ramo Novo		
	----- g -----								
1º Período	145	37	24	18	36	23	7	-	-
2º Período	250	53	33	47	82	27	7	-	-
3º Período	435	76	57	83	148	31	9	2	29
4º Período	467	72	52	79	140	22	7	5	90

1º Per. (out/01 a dez/01); 2º Per. (jan/02 a mar/02); 3º Per. (abr/02 a jun/02); 4º Per. (jul/02 a set/02).
- Parte da planta não existente.

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 e Blevins (1996) propuseram que a ação do B no meristema radicular está associado 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 era o suprimento de B para a 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.

Tabela 4.2. Massa de matéria seca no final dos diferentes períodos (média das 3 repetições).

Porta-Enxerto (Cond. Nutricional)	1º Período	2º Período	3º Período	4º Período
	----- g ± s(m) -----			
Limoeiro ‘Cravo’ (Adequada)	127 ± 28	267 ± 14	454 ± 79	524 ± 66
Citrameleiro ‘Swingle’ (Adequada)	144 ± 11	267 ± 15	402 ± 63	394 ± 94
Limoeiro ‘Cravo’ (Deficiente)	160 ± 6	223 ± 10	500 ± 59	525 ± 110
Citrameleiro ‘Swingle’ (Deficiente)	139 ± 11	242 ± 28	382 ± 68	424 ± 41

1º Per. (out/01 a dez/01); 2º Per. (jan/02 a mar/02); 3º Per. (abr/02 a jun/02); 4º Per. (jul/02 a set/02). Adequada (0,5 mg L⁻¹ de B) e Deficiente (0,05 mg L⁻¹ de B). s(m) = erro padrão da média.

Xu et al. (2002), em estudo com diferentes cultivares de nabo, verificaram que as diferenças nas características morfológicas das raízes influenciaram a absorção do B, resultando em diferenças no crescimento e desenvolvimento da planta. Os autores classificaram como cultivares eficientes na utilização de B, aqueles que tinham a mesma produção de matéria seca quando cultivados em condições adequada ou deficiente em B, e cultivares ineficientes na utilização de B, aqueles em que a produção de matéria seca diminuiu quando o suprimento de B para a planta era deficiente. Utilizando-se do mesmo critério de Xu et al. (2002), foi possível classificar que, tanto o limoeiro ‘Cravo’ quanto o citrameleiro ‘Swingle’, foram cultivares eficientes na utilização de B, pois ambos tiveram a mesma produção de matéria seca quando cultivados em condições adequadas e deficientes em B (Tabela 4.2).

4.1.3 Concentração de B total

Pelos resultados apresentados na Tabela 4.3, pode-se observar que a concentração de B nas folhas é maior que a concentração do elemento em outras partes da planta, resultados semelhantes aos obtidos por Papadakis et al., 2003. Com exceção das folhas (Nova e Velha) não existe diferença na concentração de B entre os tratamentos.

Tabela 4.3. Concentração de B das plantas nos diferentes períodos (média dos diferentes tratamentos - 12 plantas).

	- Porta-enxerto -			Copa				
	Raiz	Caule	Folha Velha	Ramo Velho	Folha Nova	Ramo Novo	Flores	Frutos
	----- mg kg ⁻¹ ± s(m) -----							
1º Período	23 ± 2	14 ± 2	86 ± 29	11 ± 1	52 ± 10	20 ± 5	-	-
2º Período	17 ± 2	9 ± 1	83 ± 25	12 ± 1	45 ± 6	28 ± 9	-	-
3º Período	17 ± 1	9 ± 1	59 ± 23	13 ± 2	49 ± 11	20 ± 3	48 ± 6	20 ± 2
4º Período	15 ± 2	9 ± 1	56 ± 23	15 ± 2	52 ± 11	17 ± 3	32 ± 6	18 ± 2

1º Per. (out/01 a dez/01); 2º Per. (jan/02 a mar/02); 3º Per. (abr/02 a jun/02); 4º Per. (jul/02 a set/02).

- Parte da planta não existente.

s(m) = erro padrão da média.

A concentração de B em folhas de idade diferentes, dentro da mesma planta, pode fornecer evidência da mobilidade do micronutriente. A ocorrência de concentração mais alta de B em folhas velhas ou maduras, quando comparadas às folhas mais jovens, é evidência da imobilidade do B. Enquanto a concentração maior de B em folhas mais jovens é uma indicação da mobilidade de B. As folhas mais jovens transpiram menos água que as folhas maduras, e como o B se move com o fluxo da transpiração, em espécies que o B é imóvel, uma vez que o nutriente é carregado até a folha ele tende a permanecer (BROWN; SHELP, 1997).

Nos tratamentos em que as laranjeiras foram cultivadas durante todos os períodos em solução nutritiva com teor adequado de B (0,5 mg L⁻¹), observa-se pela Tabela 4.4, que a concentração do nutriente nas folhas velhas foi maior do que nas folhas novas, e a razão entre a concentração de B nas folhas novas e a concentração do nutriente nas folhas velhas variou entre 0,6 a 0,8 quando o porta-enxerto era o limoeiro 'Cravo' e 0,4 a 0,7 quando o porta-enxerto foi o citrumeleiro 'Swingle'. Papadakis et al. (2003), em estudo com laranjeiras cultivadas em solução nutritiva com diferentes concentrações de B, encontraram razões entre a concentração de B entre as folhas novas e velhas variando de 0,4 até 0,6.

Segundo Shelp (1988), a razão entre a concentração de um nutriente nas folhas novas e velhas da planta pode evidenciar se o nutriente é móvel no floema. Quando a concentração do nutriente é muito menor que 1 indica que o elemento não é redistribuído pelo floema, e quando a razão for maior que 1 o nutriente apresenta mobilidade no floema. No entanto, este critério somente pode ser utilizado quando o fornecimento do nutriente para planta é constante.

As plantas cultivadas em solução nutritiva deficiente em B ($0,05 \text{ mg L}^{-1}$), e que depois foram colocadas em solução com teor adequado de B, apresentaram diferenças na razão entre o teor de B nas folhas novas com o teor nas folhas velhas. À medida que as plantas foram expostas a períodos mais longos em solução nutritiva deficiente em B, mais próximo de 1 foi a razão entre as concentrações do nutriente nas folhas novas e velhas, e foi maior que 1, no 3º e 4º período, quando o porta-enxerto foi o limoeiro 'Cravo' (Tabela 4.4). Isso ocorreu porque as folhas velhas, das plantas cultivadas em solução nutritiva deficiente em B, tiveram no início do seu desenvolvimento limitações no suprimento de B, enquanto as folhas novas se desenvolveram em solução nutritiva com suprimento adequado de B.

Tabela 4.4. Concentração de B nas folhas das laranjeiras.

		Limoeiro 'Cravo' ---- $0,5 \text{ mg L}^{-1}$ de B ----	Citrameleiro 'Swingle'	Limoeiro 'Cravo' ---- $0,05 \text{ mg L}^{-1}$ de B ---	Citrameleiro 'Swingle'
		mg kg ⁻¹			
1º Período	Folha Velha	68 A ¹ b ²	121 A a	57 A b	111 A a
	Folha Nova	42 B c	62 B a	47 A bc	55 B ab
2º Período	Folha Velha	72 A bc	116 A a	56 A c	88 A b
	Folha Nova	43 B b	48 B a	39 B b	49 B a
3º Período	Folha Velha	66 A b	87 A a	29 A c	54 A b
	Folha Nova	47 B a	51 B a	40 A a	57 A a
4º Período	Folha Velha	75 A b	96 A a	17 B d	36 A c
	Folha Nova	63 B ab	65 B a	33 A c	46 A bc

1º Per. (out/01 a dez/01); 2º Per. (jan/02 a mar/02); 3º Per. (abr/02 a jun/02); 4º Per. (jul/02 a set/02).

¹ Médias seguidas de mesma letra maiúscula não diferem estatisticamente entre si (Folha Velha x Folha Nova) na mesma coluna e período (Duncan a 5%).

² Médias seguidas de mesma letra minúscula não diferem entre si na linha (Duncan a 5%).

Não foi encontrada diferença significativa na concentração de B das partes lenhosas da planta (Caule, Ramo Velho e Ramo Novo) devido aos tratamentos (valores não apresentados). Ao contrário do que ocorre com as folhas, quanto mais velha era a parte lenhosa da planta (ramos), menor foi a concentração de B (Figura 4.3). Isso ocorre porque a perda de água por evapotranspiração pelo ramo deve ser menor quanto mais velho for o ramo. O B absorvido pelas raízes foi transportado no xilema para os locais de maiores perdas de água e como o nutriente provavelmente tem baixa mobilidade no floema das laranjeiras, ocorreu um efeito de diluição na concentração do B presente no tecidos lenhosos mais velhos.

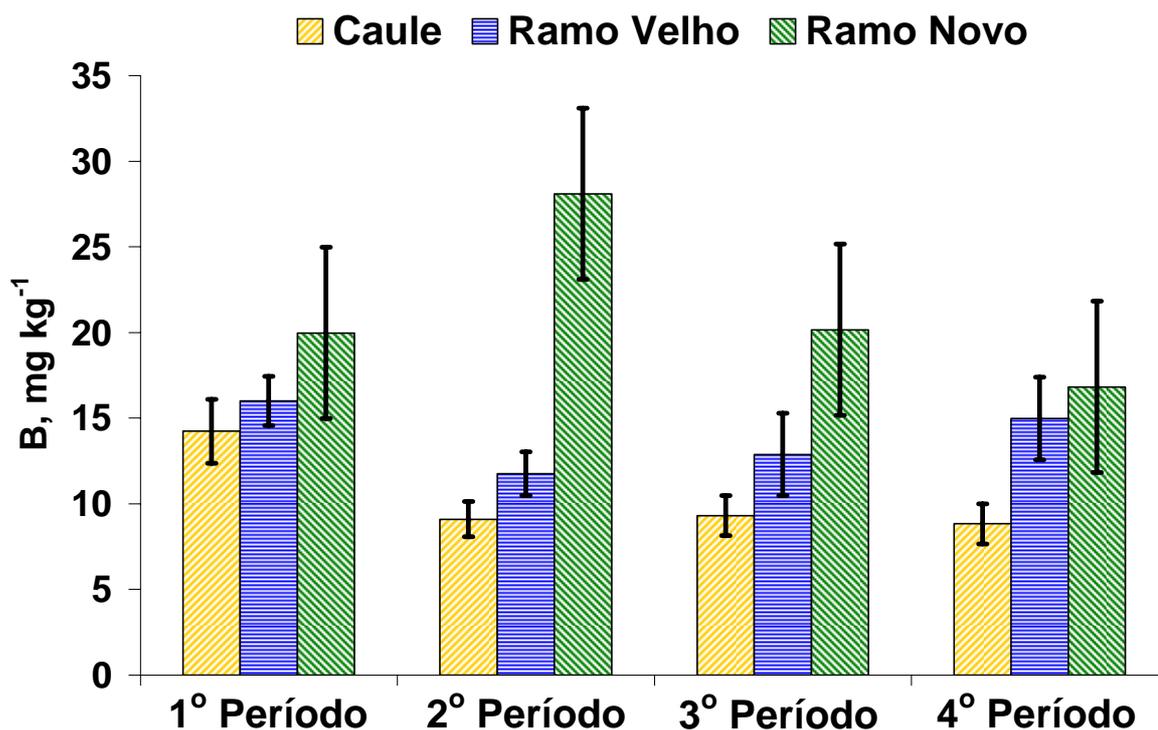


Figura 4.3. Concentração de B nas partes lenhosas da laranjeira (valores médios dos tratamentos \pm o erro padrão da média).

1º Per. (out/01 a dez/01); 2º Per. (jan/02 a mar/02); 3º Per. (abr/02 a jun/02); 4º Per. (jul/02 a set/02).

Há muito tempo é conhecida a influência da variedade do porta-enxerto na composição mineral das folhas da variedade copa no citros (EATON; BLAIR, 1935 e COOPER et al., 1952). Várias teorias foram propostas para explicar o fenômeno,

que vão desde a distribuição radicular do porta-enxerto até a seletividade e capacidade de troca de cátions das raízes, tendo como consequência uma maior ou menor absorção de nutrientes (MOURÃO FILHO, 1989).

Em estudo utilizando-se de nove porta-enxertos, Taylor e Dimsey (1993) encontraram efeito significativo do porta-enxerto na concentração de B em folhas de laranjeira. Pelos resultados apresentados na Figura 4.4, verifica-se que as laranjeiras enxertadas em citrumeleiro 'Swingle' apresentaram maior quantidade de B por quilograma de matéria seca, do que as plantas enxertadas em limoeiro 'Cravo', tanto no tratamento adequado ($0,5 \text{ mg L}^{-1}$) quanto no tratamento deficiente em B ($0,05 \text{ mg L}^{-1}$). Nas laranjeiras cultivadas em solução nutritiva deficiente em B, quanto maior foram os períodos de desenvolvimento das plantas nestas soluções, menor foi à concentração do nutriente na planta.

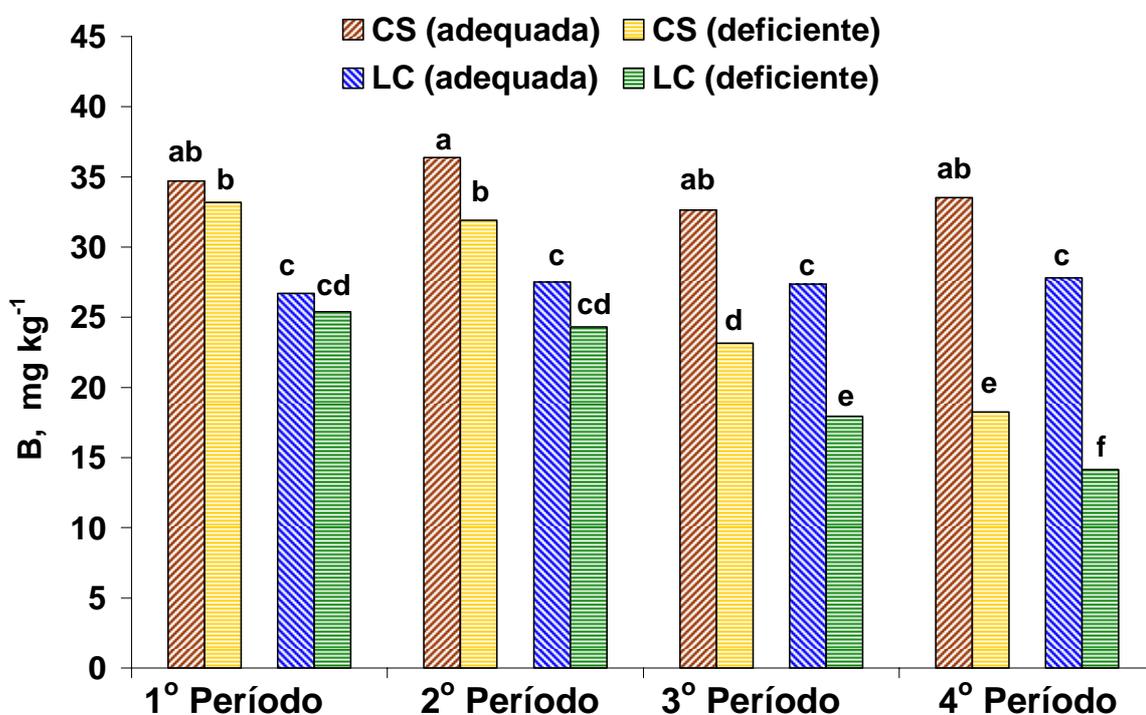


Figura 4.4. Concentração de B total na laranjeira (colunas seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si, Duncan a 5%).

1º Per. (out/01 a dez/01); 2º Per. (jan/02 a mar/02); 3º Per. (abr/02 a jun/02); 4º Per. (jul/02 a set/02).
CS – Citrumeleiro 'Swingle' LC – Limoeiro 'Cravo'.
Adequada ($0,5 \text{ mg L}^{-1}$ de B) e Deficiente ($0,05 \text{ mg L}^{-1}$ de B).

Observa-se que no tratamento adequado as concentrações médias de B nas laranjeiras enxertadas em citrumeleiro 'Swingle' foram de 34 mg kg^{-1} e nas laranjeiras enxertadas em limoeiro 'Cravo' foram de 26 mg kg^{-1} . Também se pode verificar que no mesmo tratamento, não ocorreram diferenças nas concentrações de B das laranjeiras nos diferentes períodos. Evidenciando que, quando o suprimento de B foi constante ao longo do desenvolvimento da planta, a quantidade total do nutriente na planta não variou (Figura 4.4).

Maiores concentrações de B no citrumeleiro 'Swingle' pode ser explicada porque este porta-enxerto tem uma maior demanda hídrica que o limoeiro 'Cravo', conseqüentemente uma maior taxa evapotranspiratória. Durante toda a condução do experimento foi observado que a quantidade de água repostada na solução nutritiva dos vasos com o citrumeleiro 'Swingle' foi maior que a quantidade repostada nos vasos com limoeiro 'Cravo'. Como se considera que o B é absorvido pela planta, principalmente, por processo passivo de difusão, quanto maior for a demanda de água da planta, maior será a concentração do nutriente.

4.1.4 Partição do B total e do ^{10}B na laranjeira

Pelos resultados obtidos no experimento, foi possível calcular que as laranjeiras absorveram em média de 0,5 a 0,8 mg de B da solução nutritiva por kg de matéria seca de raiz por dia, quando se considerou todo o período de absorção (90 dias). A Figura 4.5 evidencia que o B total absorvido pelas raízes, somado a aquele já existente na planta no momento da aplicação com ^{10}B , teve partição diferentemente nas partes das plantas: 10 a 20% nas raízes, 50 a 70% nas partes velhas (folhas e ramos desenvolvidos antes do início do tratamento com ^{10}B) e 20 a 30% nas partes novas (folhas e ramos desenvolvidos na solução nutritiva enriquecida em ^{10}B).

O B absorvido da solução nutritiva foi transportado principalmente para as partes novas da laranjeira onde se encontrou de 35 a 50% do ^{10}B absorvido no período. Isso 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. Ainda pela Figura 4.5, verifica-se que a partição, nas raízes, do B absorvido da solução marcada, ocorreu na mesma porcentagem do B total presente nas raízes.

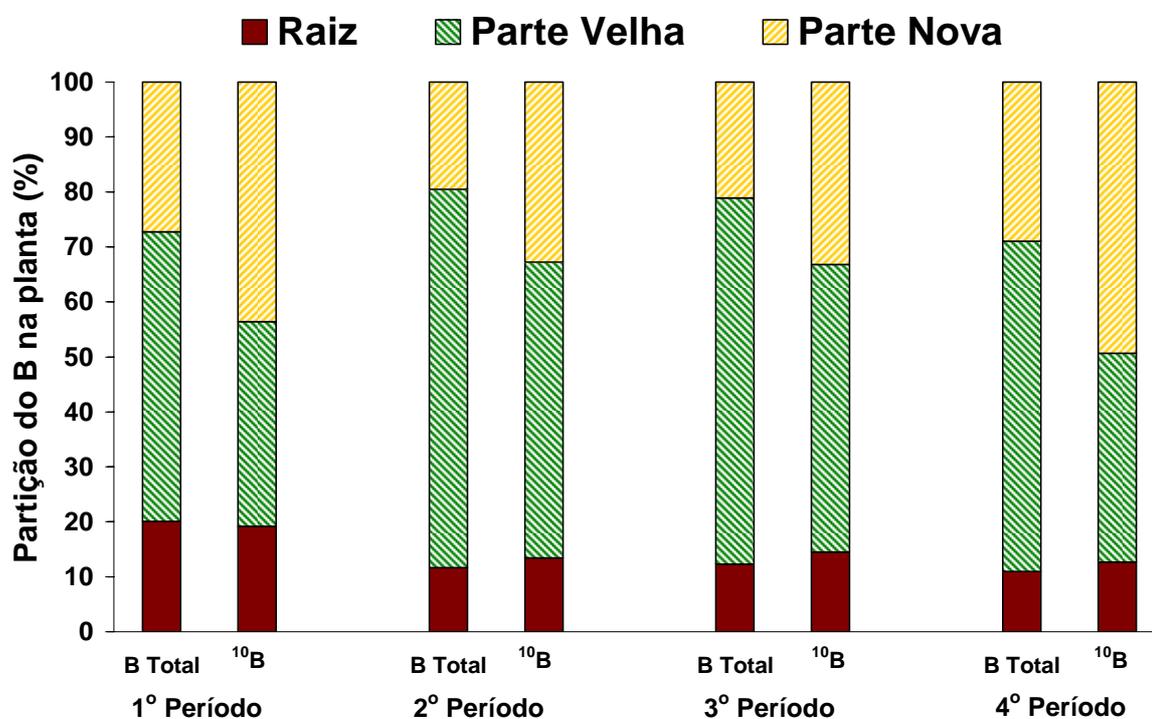


Figura 4.5. Partição do B nas partes da laranjeira (média geral dos tratamentos).
 1º Per. (out/01 a dez/01); 2º Per. (jan/02 a mar/02); 3º Per. (abr/02 a jun/02); 4º Per. (jul/02 a set/02).
 Parte Velha = Folha Velha + Ramo Velho.
 Parte Nova = Folha Nova + Ramo Novo + Flores + Frutos.

O B total e o ^{10}B se distribuíram, diferentemente, se for levado em consideração os órgãos das laranjeiras (Figura 4.6). As folhas da laranjeira continham de 50 a 70% do B presente na planta, demonstrando que as folhas formam o principal órgão de acúmulo e armazenamento de B, mesmo no período de florescimento e frutificação, quando os frutos são drenos importantes. O ^{10}B

absorvido acumulado nas folhas, nas flores e nos frutos representa 65 a 74% do ^{10}B , evidenciando ainda mais a importância desses órgãos como drenos, mesmo considerando um determinado período de tempo.

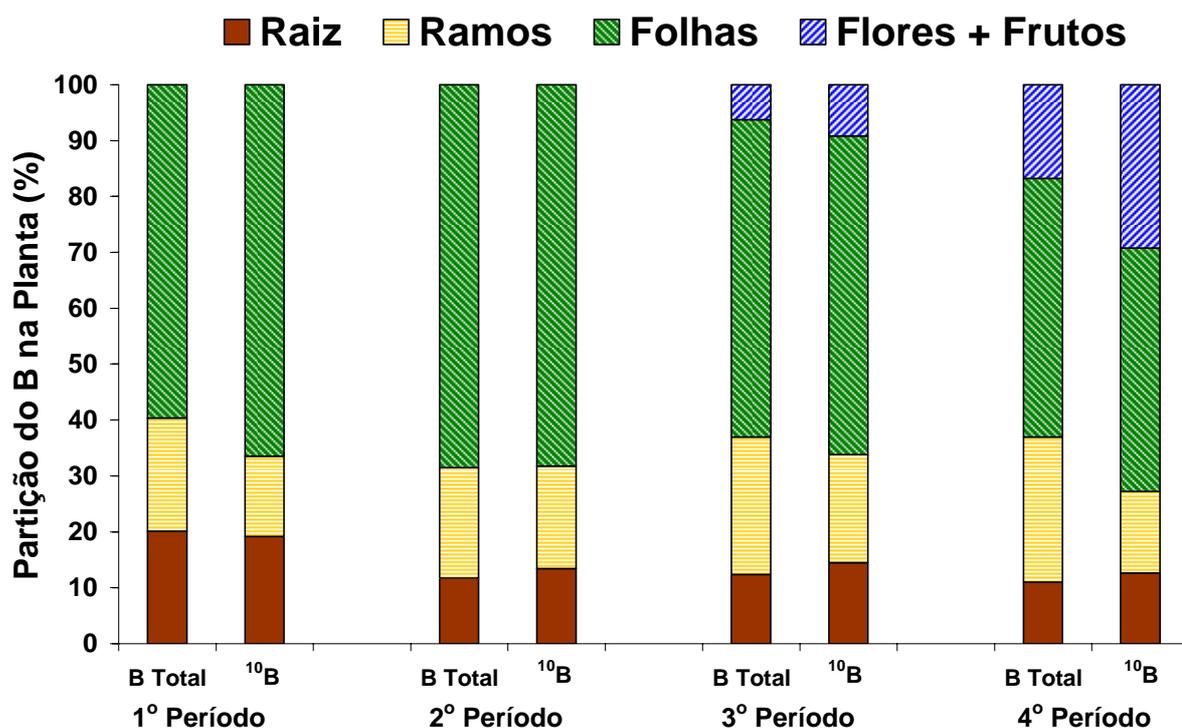


Figura 4.6. Partição do B nos órgãos da laranjeira (média geral dos tratamentos). 1º Per. (out/01 a dez/01); 2º Per. (jan/02 a mar/02); 3º Per. (abr/02 a jun/02); 4º Per. (jul/02 a set/02). Folhas = Folha Velha + Folha Nova. Ramos = Ramo Velho + Ramo Novo.

4.1.5 Concentração na laranjeira do B proveniente da solução nutritiva

Verifica-se, pela Figura 4.7, que a concentração do ^{10}B nas folhas das laranjeiras, considerando o mesmo órgão do mesmo conjunto copa/porta-enxerto, foi praticamente constante em todos os períodos, com pequena exceção para o 4º Período, pois neste as laranjeiras já haviam emitido novas brotações antes do início do tratamento com ^{10}B , portanto, o fluxo de crescimento novo, já havia absorvido B da solução nutritiva sem marcação.

Verificou-se que a concentração de B nas folhas velhas foi maior que nas folhas novas (Tabelas 4.3 e 4.4), no entanto, o acúmulo de ^{10}B no período foi maior

nas folhas novas do que nas folhas velhas (Figura 4.7), isto porque a atividade metabólica nas folhas novas era superior às folhas velhas. O acúmulo de ^{10}B nas folhas do citrumeleiro 'Swingle' foi, em média, de 10 mg kg^{-1} maior do que nas folhas do limoeiro 'Cravo', tanto no tratamento adequado em B como no tratamento deficiente no micronutriente.

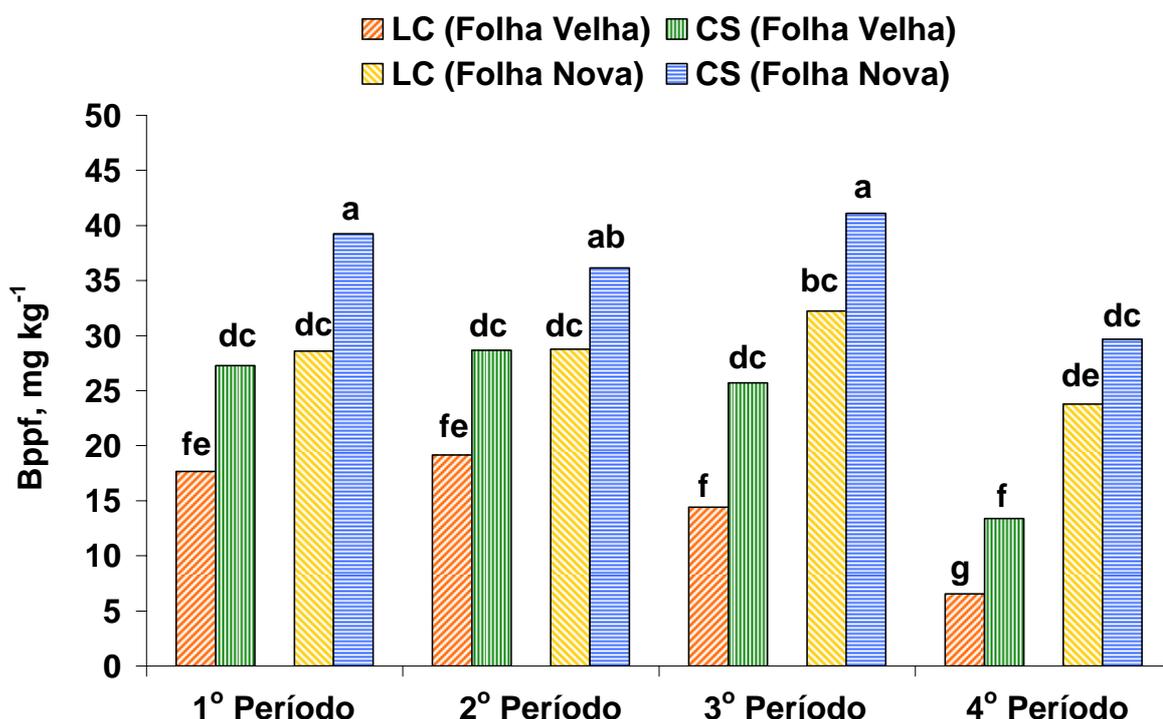


Figura 4.7. Concentração de B proveniente do fertilizante na matéria seca das folhas das laranjeiras (colunas seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si, Duncan a 5%).

1º Per. (out/01 a dez/01); 2º Per. (jan/02 a mar/02); 3º Per. (abr/02 a jun/02); 4º Per. (jul/02 a set/02).
CS – Citrumeleiro 'Swingle' LC – Limoeiro 'Cravo'.

Não existiu diferença, devido aos tratamentos, na concentração de B proveniente da solução nutritiva nas partes lenhosas, nas flores e nos frutos das laranjeiras. Verifica-se pela Figura 4.8 que, quanto mais velho era o ramo, menor foi o acúmulo de B no período. A contribuição média do B proveniente da solução nutritiva dos tecidos lenhosos (caule e ramo velho), que se desenvolveram antes do início do tratamento com ^{10}B , foi muito pequeno, cerca de 3 mg kg^{-1} a 4 mg kg^{-1} . Nos

ramos novos que nasceram e se desenvolveram no período quando houve fornecimento de ^{10}B , a contribuição do B proveniente da solução nutritiva foi de 8 a 14 mg kg^{-1} .

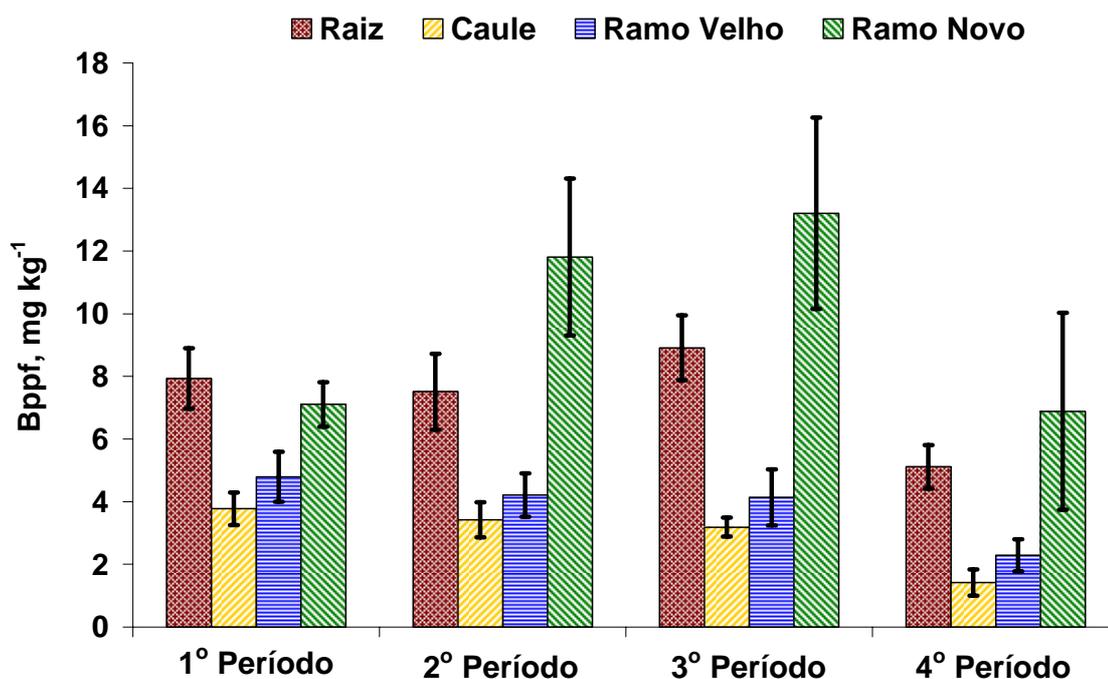


Figura 4.8. Concentração de B proveniente do fertilizante por kg de matéria seca nos tecidos lenhosos da laranjeira (valores médios dos tratamentos \pm o erro padrão da média).

1º Per. (out/01 a dez/01); 2º Per. (jan/02 a mar/02); 3º Per. (abr/02 a jun/02); 4º Per. (jul/02 a set/02).

Observa-se pela Figura 4.9, que a concentração do B proveniente da solução nutritiva foi, aproximadamente, de 25 e 14 mg kg^{-1} , respectivamente, para flores e frutos no 3º Período e de 15 e 10 mg kg^{-1} respectivamente, para flores e frutos no 4º Período. O maior acúmulo de B no 3º período pode ser explicado porque a laranjeira teve um maior desenvolvimento neste período e também porque ocorreu um decréscimo na concentração de B com o desenvolvimento dos frutos (resultados que podem ser observados no Experimento 4), ou seja, o maior acúmulo de B no fruto ocorreu logo no início de seu desenvolvimento, e no 4º Período, os fluxos de crescimento frutíferos nasceram em solução nutritiva não marcada com ^{10}B .

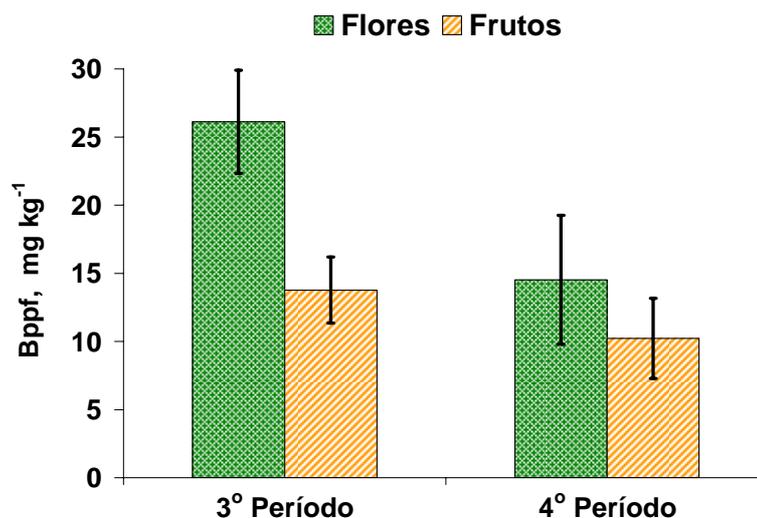


Figura 4.9. Concentração de B proveniente da solução nutritiva na matéria seca das flores e frutos da laranjeira (valor médio do tratamento \pm o erro padrão da média).

3º Per. (abr/02 a jun/02); 4º Per. (jul/02 a set/02).

4.1.6 Redistribuição do B na laranjeira

Como visto anteriormente, o acúmulo e distribuição do B nas folhas de laranjeiras são característicos de plantas em que o B é imóvel, como proposto em revisão realizada por Brown e Shelp (1997). Entretanto, pelos resultados obtidos no presente experimento, verifica-se que o B apresentou alguma mobilidade nas laranjeiras 'Valência' enxertada em limoeiro 'Cravo' e citrumeleiro 'Swingle'. Cerda et al. (1982), em experimento realizado com limoeiro 'Verna', utilizando-se de critério indireto, classificaram o B, o ferro, o zinco, o manganês e o magnésio como nutrientes de redistribuição intermediária, entre o fósforo e o potássio, considerado móveis e o cálcio e cobre, considerados de mobilidade muito baixa.

Observa-se pelos resultados apresentados na Figura 4.10, que cerca de 30 a 35% do B presente nas folhas novas das laranjeiras, desenvolvidas em solução nutritiva adequada, foi oriundo de reservas da planta. Esta quantidade contribuiu com cerca de 15 a 20 mg kg⁻¹ na concentração de B das folhas novas.

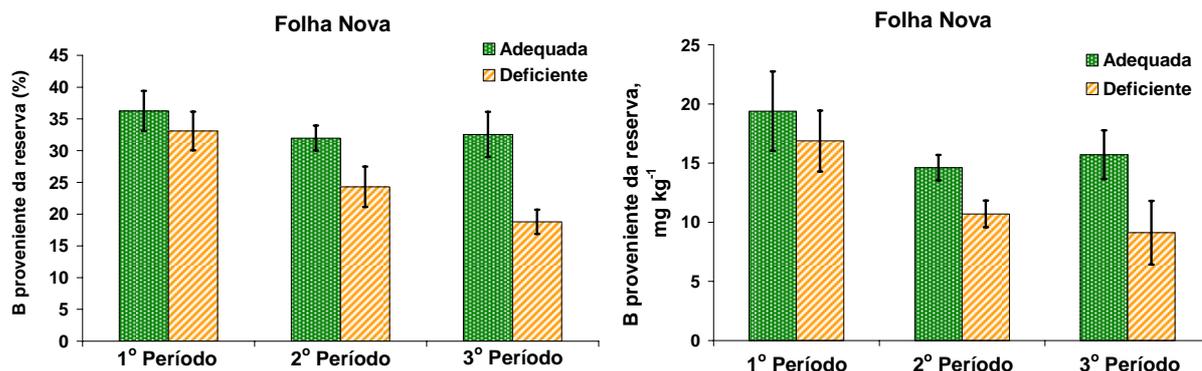


Figura 4.10. Contribuição das reservas de B da planta para as folhas novas (valores médios dos porta-enxertos \pm o erro padrão da média).

1º Per. (out/01 a dez/01); 2º Per. (jan/02 a mar/02); 3º Per. (abr/02 a jun/02).

Adequada ($0,5 \text{ mg L}^{-1}$ de B) e Deficiente ($0,05 \text{ mg L}^{-1}$ de B).

Ainda pela figura 4.10, pode-se verificar que a redistribuição do B nas laranjeiras variou de acordo com o estado nutricional da planta, 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 da reserva de B da planta para o desenvolvimento das folhas novas, cerca de 32% para o 1º Período e de 18% para o 3º Período.

Hu e Brown (1994) verificaram que o B está principalmente localizado na parede celular e a partição do nutriente foi 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. Match e Kobayashi (2002) verificaram que não ocorreu aumento do B presente na parede celular quando as plantas foram cultivadas em condições de alto suprimento do nutriente.

Nas laranjeiras que se desenvolveram em solução deficiente em B ($0,05 \text{ mg L}^{-1}$), o micronutriente presente na parte velha da planta deve estar principalmente em formas insolúveis, como constituinte da parede celular. Enquanto

nas laranjeiras que se desenvolveram em solução adequada em B ($0,5 \text{ mg L}^{-1}$), maior deve ser a quantidade do nutriente em formas solúveis em água (localizado na região apoplástica na forma de ácido bórico). Por isso, quanto menor foi o acúmulo do nutriente na reserva da planta, menor foi a quantidade de B da reserva redistribuída na planta.

A redistribuição do B da reserva para o ramo novo variou de forma similar à apresentada para as folhas novas, sendo maior quanto maior era a reserva do nutriente na planta. Entretanto, a contribuição da reserva da planta variou com o desenvolvimento da planta, sendo de aproximadamente 68% no 1º Período e de 40% no 3º Período (Figura 4.11).

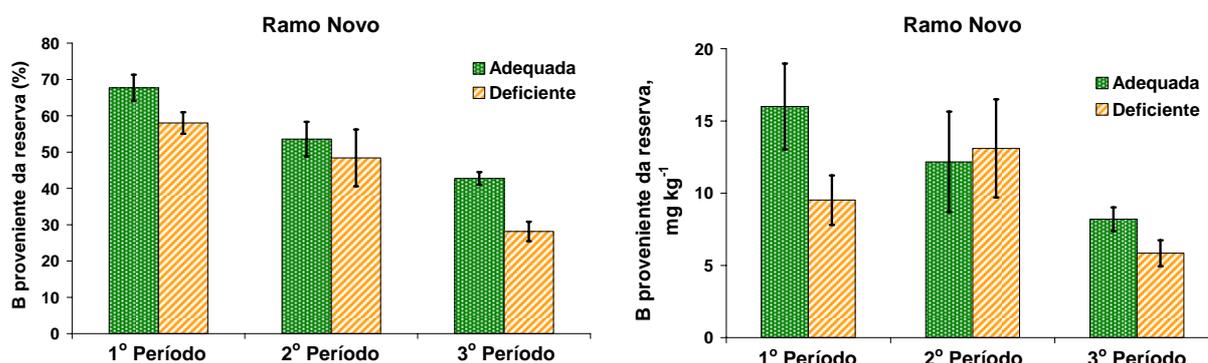


Figura 4.11. Contribuição das reservas de B da planta para os ramos novos (valores médios dos porta-enxertos \pm o erro padrão da média).

1º Per. (out/01 a dez/01); 2º Per. (jan/02 a mar/02); 3º Per. (abr/02 a jun/02).

Adequada ($0,5 \text{ mg L}^{-1}$ de B) e Deficiente ($0,05 \text{ mg L}^{-1}$ de B)

Verifica-se, pelas Figuras 4.10 e 4.11, que o B da reserva das laranjeiras cultivadas com suprimento adequado de B, que foi redistribuído para as partes novas (folhas e ramos), contribuiu com 8 a 16 mg kg^{-1} na concentração de B no tecido novo, tanto para as folhas quanto para os ramos. Entretanto, a contribuição da reserva da laranjeira não foi suficiente para suprir a necessidade de B no tecido novo, sendo necessário o suprimento de B para as raízes, principalmente, quando

as laranjeiras estiverem emitindo novos fluxos de crescimento. Na elaboração das Figuras 4.10 e 4.11 não foi incluído o 4º Período porque as brotações novas do período começaram a se desenvolver antes do início dos tratamentos com ^{10}B , não sendo possível determinar a quantidade exata de B oriunda da reserva que foi redistribuída na planta.

Nos tratamentos em que as plantas se desenvolveram em solução nutritiva adequada, 40 a 50% do B presente nas flores foi oriundo de reservas das laranjeiras. A quantidade redistribuída na planta representou 25 mg kg^{-1} na concentração de B das flores. Aproximadamente 38% do B presente nos frutos, do tratamento adequado era proveniente da reserva da planta, representando 5 mg kg^{-1} na concentração de B deste órgão. Assim como nas folhas novas e ramos novos, a redistribuição do micronutriente para as flores e frutos variou de acordo com a condição nutricional de B da laranjeira (Figura 4.12).

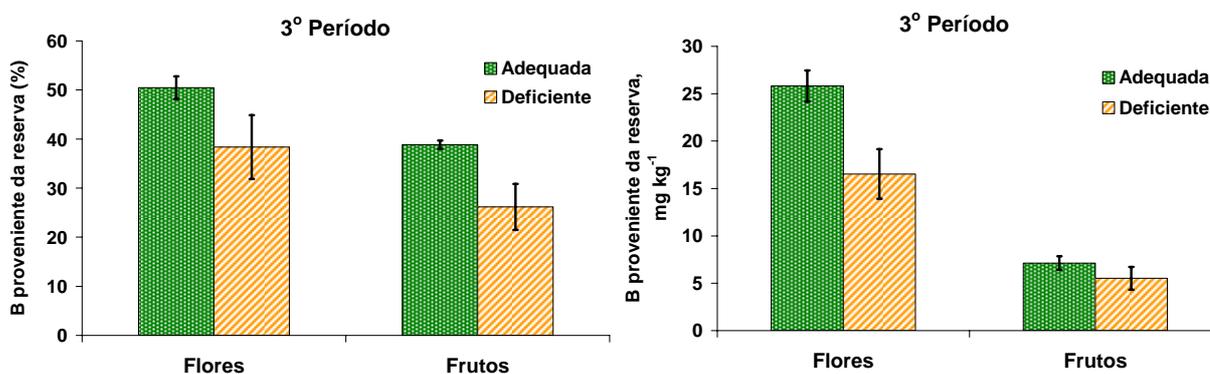


Figura 4.12. Contribuição das reservas de B da planta para as flores e frutos da laranjeira no 3º período (abr/02 a jun/02), (valores médios dos porta-enxertos \pm o erro padrão da média). Adequada ($0,5 \text{ mg L}^{-1}$ de B) e Deficiente ($0,05 \text{ mg L}^{-1}$ de B).

Quando se observa apenas a porcentagem de B redistribuída da reserva da planta, que foi acumulada nas partes novas das laranjeiras, verifica-se que não existe diferença entre os porta-enxertos. Entretanto, quando contabilizou o todo o B

da reserva que vai para as partes novas (Figura 4.13), verificou-se que a percentagem de B proveniente da reserva da planta que foi para as partes em desenvolvimento, foi maior no limoeiro 'Cravo' do que no citrumeleiro 'Swingle'. Este fato pode ser explicado porque a concentração de B total no citrumeleiro 'Swingle' foi maior que no limoeiro 'Cravo' (Figura 4.4), conseqüentemente, maior era a reserva de B nas laranjeiras enxertadas no citrumeleiro 'Swingle'. Como a quantidade de B redistribuída nas plantas foi semelhante, então quanto maior foi a reserva do nutriente na planta, menor foi à percentagem de B da reserva redistribuída na planta.

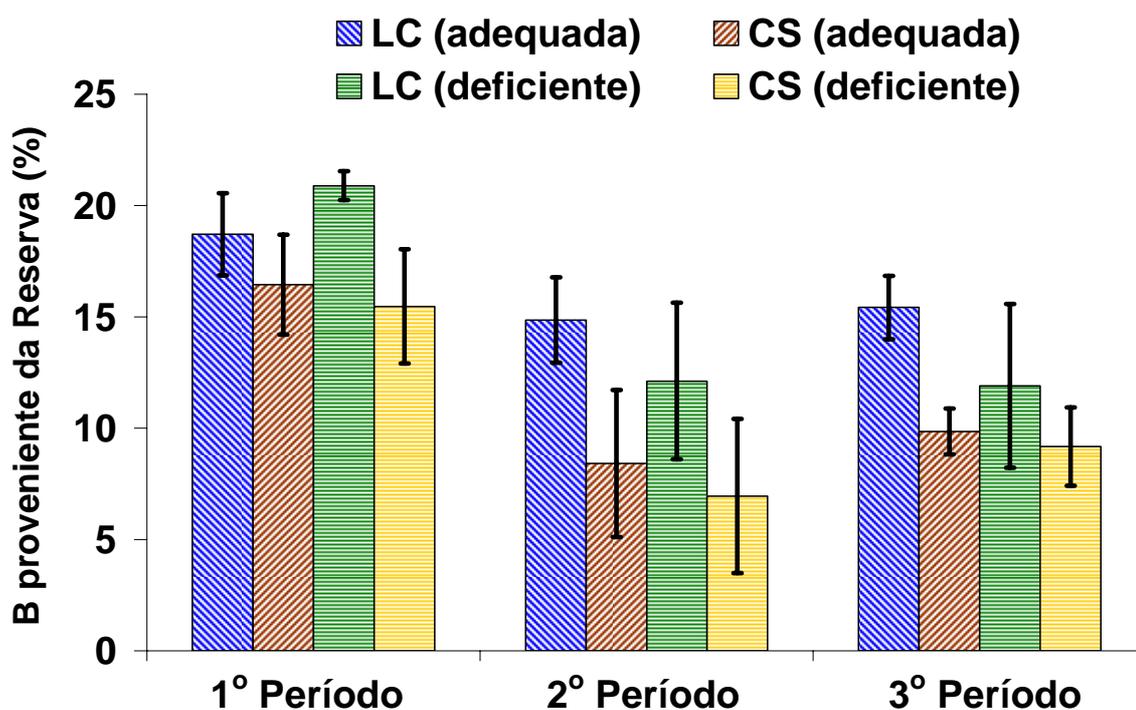


Figura 4.13. Contribuição da reserva de B para o desenvolvimento das partes novas das laranjeiras (Folha Nova + Ramo Novo + Flor + Fruto) (valores médios dos tratamentos \pm o erro padrão da média).

1º Per. (out/01 a dez/01); 2º Per. (jan/02 a mar/02); 3º Per. (abr/02 a jun/02).

CS (Citrumeleiro 'Swingle') LC – (Limoeiro 'Cravo').

Adequada ($0,5 \text{ mg L}^{-1}$ de B) e Deficiente ($0,05 \text{ mg L}^{-1}$ de B).

4.2 Experimento 2: Absorção foliar de B por laranjeiras jovens e sua redistribuição na planta

No Experimento 2, avaliou-se a eficiência da absorção de B (quantidade de B absorvida em função da quantidade de B aplicada) pelas folhas de laranjeiras, em função do tempo decorrido da aplicação, e a redistribuição do nutriente absorvido para outras partes das laranjeiras.

Verifica-se pela Tabela 4.5 que houve aumento do teor foliar de B nas folhas dos tratamentos que receberam a adubação foliar, quando comparada às folhas do tratamento Controle. Resultados também encontrados por Maurer e Truman (2000); Santos et al. (1999); Tiritan (1996); Silva (1996); e Caetano et al. (1986). Pelos resultados obtidos no experimento também pode-se observar que a adubação foliar não alterou o teor de B nas folhas velhas, que não receberam a adubação com B foliar, pois estavam protegidas no momento da pulverização.

Os valores da %Bppf aumentaram rapidamente até o primeiro dia, e depois os aumentos foram bem menores até o décimo quinto dia após a pulverização, chegando a ocorrer diminuição na %Bppf na quinzena seguinte. Entretanto, a quantidade de Bppf continua aumentando do início até o final do período analisado (Tabela 4.5). Segundo Hu e 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 das folhas e dos galhos. Aumentando a concentração de B total no órgão e conseqüentemente, diluindo a porcentagem de ^{10}B nas folhas.

Tabela 4.5. Teores médios de B nas folhas das laranjeiras e porcentagem de B na planta proveniente do fertilizante.

	Folha velha	Folha aplicada	Folha aplicada	Planta
	----- mg kg ⁻¹ -----	-----	% Bppf ± s(m)	µg B ppf
Controle	111 a ¹	54 c	0	0
3 Horas	96 a	60 c	15 ± 2	101
6 Horas	101 a	75 b	20 ± 2	168
12 Horas	102 a	79 ab	22 ± 2	205
24 Horas	110 a	82 ab	28 ± 4	263
2 Dias	94 a	78 ab	29 ± 3	283
5 Dias	107 a	87 ab	30 ± 4	294
15 Dias	102 a	86 ab	32 ± 4	351
30 Dias	102 a	90 a	27 ± 5	358
C. V. (%)	12	9		

¹ Médias seguidas de mesmas letras não diferem estatisticamente entre si na coluna (Duncan a 5%)
s(m) = o erro padrão da média

Para que o B seja absorvido pelas folhas das laranjeiras, 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 a plasmalema. A cutícula é composta por cutina, polímeros de carboidratos (pectinas e celulose) e especialmente ceras. Uma cutícula mais espessa é uma proteção maior da planta contra pragas e perda excessiva de água, entretanto, isto pode restringir a absorção de nutrientes pelas folhas. Em folhas maduras de citros, as cutículas têm espessura média de 4,2 µm na face adaxial e 3,9 µm na face abaxial e em folhas de macieira as cutículas apresentam espessura média de 2,1 µm na face adaxial e de 2,9 µm na face abaxial (LEECE, 1976).

Na Figura 4.14 está apresentada a eficiência de absorção de B pelas folhas das laranjeiras, ou seja, a porcentagem do nutriente absorvida em relação a quantidade depositada na folha. Como se pode observar na Figura 4.14, a eficiência de absorção não chega a 9% no período de 30 dias. A maior eficiência de absorção do nutriente se deu nas primeiras 16 horas após a pulverização. Isto quer dizer que se ocorrer chuvas intensas logo após a adubação foliar, o B aplicado nas folhas

pode ser lavado, e a eficiência de absorção poderá ser menor ainda. Se a chuva ocorrer depois de 1 dia da aplicação, não comprometerá a eficiência da adubação foliar, pois praticamente já ocorreu a absorção de todo o B que poderia ser absorvido. A eficiência de absorção foliar do B no campo em relação à quantidade aplicada deve ser ainda menor, porque parte da solução aplicada não é depositada nas folhas. Pelos resultados obtidos no experimento, foi possível calcular que as folhas das laranjeiras absorveram cerca de 24 mg de B da solução pulverizada por kg de matéria seca de folha em 24 horas. Entretanto se for considerado um período de tempo de absorção maior, como por exemplo, 30 dias, este valor seria bem menor, em torno de 1 mg kg⁻¹ dia.

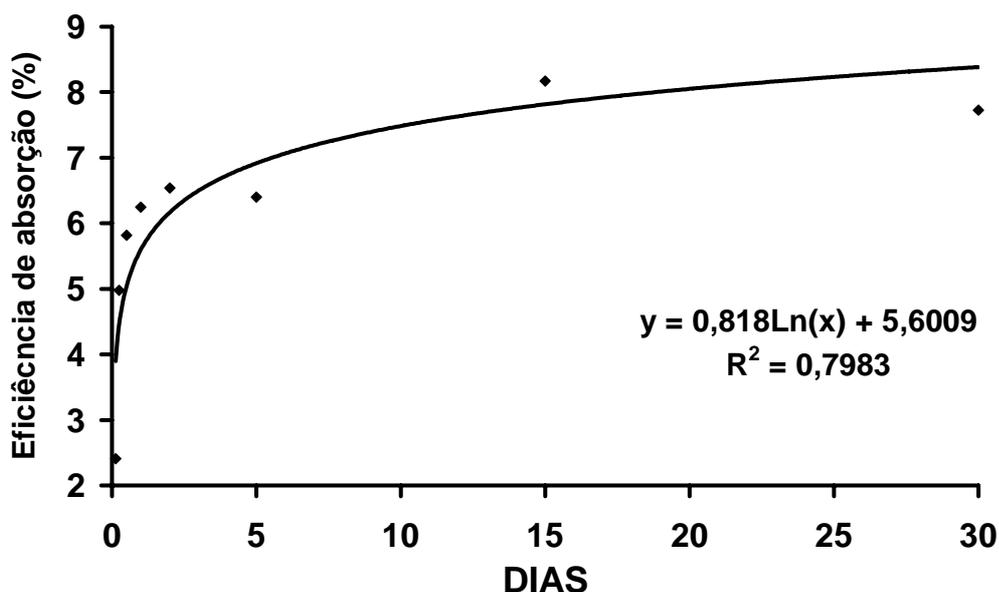


Figura 4.14. Eficiência da absorção de B (quantidade absorvida em relação à quantidade depositada na superfície da folha) pelas laranjeiras.

Picchioni et al. (1995), verificaram que na macieira, planta que as folhas tem a cutícula mais fina que as folhas de citros, a absorção foliar de B, foi de 88% a 96% do B depositado na superfície das folhas, enquanto nas laranjeiras a absorção foi próximo de 9%. Também foi verificado por Boaretto et al. (2002) e Boaretto et

al. (2000), que a absorção de outros micronutrientes pelas laranjeiras foi limitada, pois menos de 10% do zinco e do manganês aplicados nas folhas foram absorvidos pelas laranjeiras.

Semelhantemente ao ocorrido no Experimento 1, quanto mais velho era o ramo menor era a concentração de B no tecido (Figura 4.15). Este fato pode ser explicado porque praticamente não ocorre perda de água por evapotranspiração nos ramos da laranjeira.

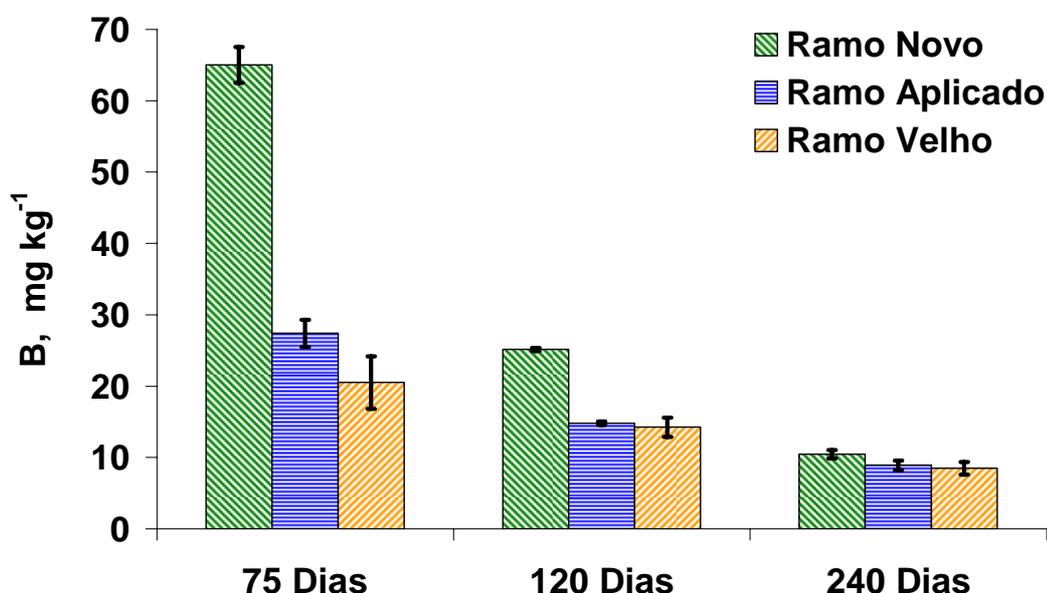


Figura 4.15. Concentração de B nos tecidos lenhosos nos diferentes períodos de amostragem (aos 75 dias o Ramo Novo tinha aproximadamente 20 dias depois da brotação; o Ramo aplicado 90-100 dias e o Ramo velho 160 dias).

A redistribuição do B absorvido pelas folhas para outras partes da planta foi demonstrada em algumas fruteiras que produzem polióis (sorbitol, manitol e ducitol) na seiva elaborada do floema, utilizando-se soluções de ácido bórico enriquecido com ¹⁰B (PERICA et al., 2001; PICCHIONI et al., 1995; SHU, Z. H. et al. 1994).

Praticamente todo o B aplicado nas folhas da laranjeira aí permaneceu e somente 0,3% e 3,2% do Bppf que foi absorvido pelas folhas das laranjeiras foi redistribuído na planta, respectivamente aos 75 e 240 dias (Tabela 4.6). O B absorvido pelas folhas contribuiu com menos de 1 mg kg⁻¹ para os novos fluxos de crescimento (desenvolvidos após a adubação), o que não foi suficiente para alterar o teor de B total nas folhas formadas após a adubação foliar. Por isso, a contribuição do B pulverizado na folha, para os órgãos nascidos após a adubação, não é possível de ser detectada por métodos em que não se utilize material isotopicamente enriquecido.

Tabela 4.6. Localização na planta do B absorvido pelas folhas.

	30 Dias	75 Dias	120 Dias	240 Dias
	----- % ¹ -----			
% Parte Nova	0	0,3	0,4	2,5
% Parte Aplicada	100	99,7	99,4	96,8
% Parte Velha	0	0	0,1	0,7
% Total Redistribuído	0	0,3	0,5	3,2

¹ Quantidade absorvida = 100%

Shu et al. (1994), também utilizando a técnica isotópica, demonstraram em pessegueiro (espécie rica em sorbitol na seiva do floema), que em 3 dias, 94% do B absorvido pelas folhas foi redistribuído para outras partes da planta. Picchioni et al. (1995), em estudo com espécies do gênero *Malus*, *Pyrus* e *Prunus*, verificaram que cerca de 70% a 80% do B absorvido pelas folhas foi redistribuído para outras partes das plantas em 24 horas.

Como a redistribuição do B absorvido pelas folhas de laranjeira foi restrita, a aplicação do nutriente nas folhas foi pouco eficiente em nutrir os fluxos de crescimentos desenvolvidos depois da adubação, sendo necessárias novas

aplicações de B sempre que a laranjeira emitir novos fluxos de crescimento. Entretanto, a absorção de B pelos fluxos de crescimento novos, quando estão em desenvolvimento, deve ser limitada, isso porque a área foliar do fluxo ainda é restrita, e a quantidade do nutriente que fica depositada na superfície da folha no momento da pulverização é pequena.

Comparando os resultados obtidos no Experimento 1 e Experimento 2, verifica-se que a quantidade de B absorvida pelas folhas ($24 \text{ mg kg}^{-1} \text{ dia}$) foi mais rápida que a quantidade de B absorvida pelas raízes ($0,5 \text{ a } 0,8 \text{ mg kg}^{-1} \text{ dia}$). A eficiência de absorção do B aplicado na folha foi obtida considerando o período de absorção de 1 dia, enquanto a eficiência de absorção pelas raízes considerou o período de 90 dias. O B absorvido pelas folhas acumulou-se principalmente nas folhas que receberam a aplicação. Enquanto, o B absorvido pelas raízes dirigiu-se principalmente para as partes novas da planta.

Estes fatos evidenciam que ao se afirmar que a eficiência de absorção foliar é maior que a eficiência de absorção pelas raízes, deve-se especificar o período de tempo da absorção e o órgão analisado e se este já existia ou não antes da aplicação de B.

4.3 Experimento 3: Redistribuição do B absorvido pelas raízes e folhas de laranjeiras jovens

Pode-se verificar pela Figura 4.16 que a adubação foliar com B aumentou a concentração do nutriente nas folhas que receberam a pulverização (resultados semelhantes aos obtidos no Experimento 2). A concentração de B no tecido foliar do conjunto 'Valência'/Cravo' foi em média 30% menor que a do conjunto 'Valência'/Swingle', valores semelhantes aos encontrados no Experimento 1, onde também foram observados teores de B superiores nas folhas das laranjeiras quando enxertada em Citrumeleiro 'Swingle'. Entretanto, o porta-enxerto não influenciou na eficiência de absorção do B aplicado nas folhas ou nas raízes e por isso os resultados apresentados na Tabela 4.7 e na Figura 4.17 são médios para os dois porta-enxertos.

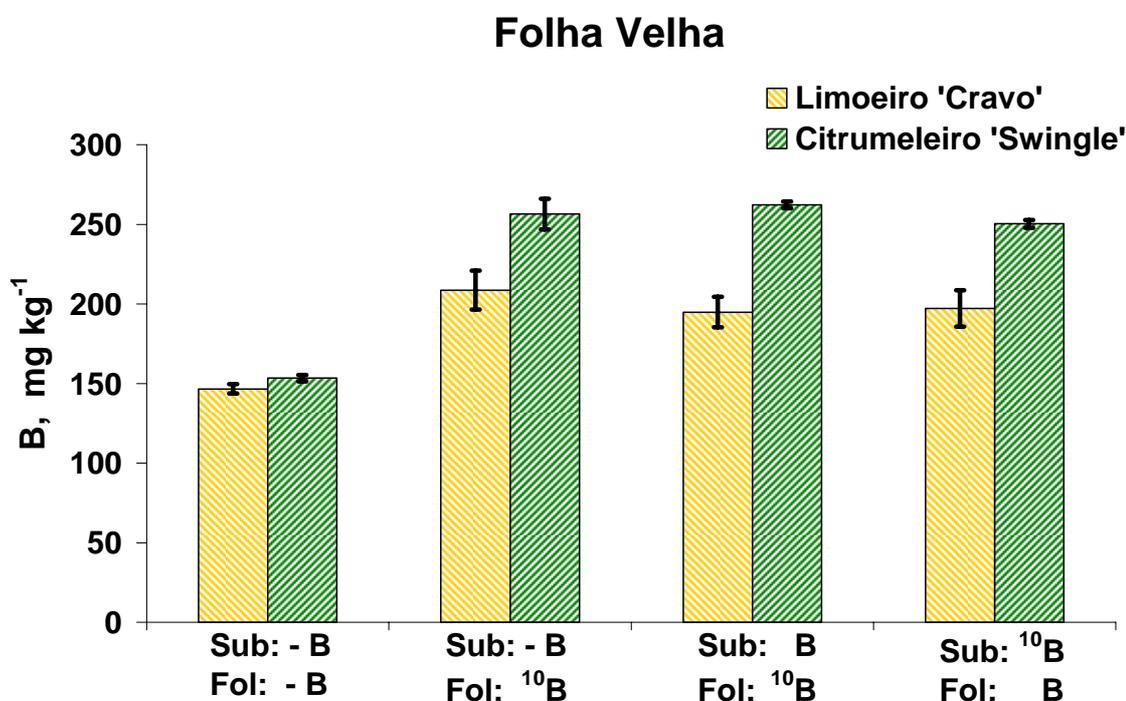


Figura 4.16. Concentração de B das folhas que receberam a pulverização foliar nos diferentes tratamentos (valores médios dos tratamentos \pm o erro padrão da média).

Sub (Substrato) Fol (Folha).

A técnica isotópica permitiu localizar o B absorvido pela planta, tanto pelas raízes quanto pelas folhas. Conforme é apresentado na Figura 4.17, o B absorvido pelas folhas se localizou principalmente nas partes que receberam a adubação foliar. Pequena parcela do B absorvido foi redistribuída para os ramos que nasceram depois da pulverização foliar, demonstrando a baixa mobilidade do B absorvido pelas folhas.

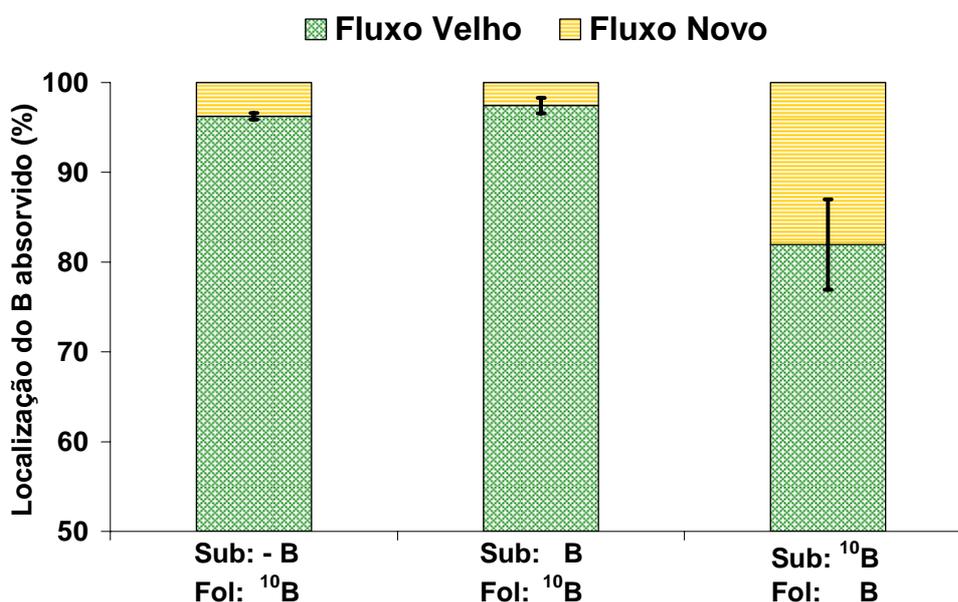


Figura 4.17. Localização do B absorvido pelas laranjeiras.

Valores médios dos tratamentos \pm o erro padrão da média.

Fluxo Velho (Folha Velha e Ramo Velho – desenvolvidos antes da adubação).

Fluxo Novo (Folha Nova e Ramo Nova – desenvolvidos após a adubação).

Sub (Substrato) Fol (Folha).

O B aplicado no substrato, que foi absorvido pelas raízes, sofreu uma distribuição mais eqüitativa entre os ramos velhos (que existiam no momento da adubação) e os ramos novos (desenvolvidos após a adubação). Parte do B que foi absorvido pelas raízes continuou sendo acumulado nos fluxos de crescimento desenvolvidos antes da adubação (Figura 4.17). Isso ocorreu porque o B absorvido pelas raízes foi transportado pelo fluxo transpiratório (xilema) até folhas, onde ficou depositado.

Considerado o resultado da planta toda, verifica-se que a eficiência de absorção do B aplicado nas folhas foi o dobro da eficiência de absorção do B aplicado no substrato e absorvido pelas raízes, quando comparado no período de 3 meses (Tabela 4.7). Entretanto, se for analisada a eficiência da adubação em fornecer B ao fluxo novo de crescimento, constata-se que a aplicação de B no substrato foi cerca de três vezes mais eficiente que a adubação foliar. Estes resultados tornam sem fundamento as afirmações divulgadas que, de forma geral, a adubação foliar é mais eficiente que a adubação radicular, como já foi antecipado no experimento 2.

Tabela 4.7. Eficiência de absorção do B (quantidade de B absorvido dividido pela quantidade de B aplicada, vezes 100) pelas folhas e pelas raízes.

Local da Aplicação		Fluxo Novo ¹	Fluxo Velho ²	Planta (1 + 2)
Substrato	Folha	----- % ± s(m)	----- % ± s(m)	-----
-	¹⁰ B	0,2 ± 0,03 (4)	6,5 ± 1,0 (96)	6,8 ± 1,2 (100)
B	¹⁰ B	0,2 ± 0,04 (5)	6,2 ± 1,3 (95)	6,4 ± 1,3 (100)
¹⁰ B	B	0,6 ± 0,09 (20)	2,5 ± 0,3 (80)	3,1 ± 0,3 (100)

¹ Folhas e Ramos do fluxo de crescimento nascidos após a aplicação do adubo marcado com ¹⁰B nas folhas ou no substrato.

² Folhas e Ramos do fluxo de crescimento que receberam a aplicação do adubo marcado com ¹⁰B nas folhas ou que já existiam quando o adubo marcado foi aplicado no substrato.
s(m) = erro padrão da média.

Como o B ao ser absorvido pelas raízes foi transportado para a parte aérea da planta pelo fluxo transpiratório, o nutriente se moveu principalmente para as partes da planta que estavam em atividade. Demonstrando assim que a aplicação do B no solo foi mais eficiente em nutrir as partes jovens da planta do que a aplicação de B nas folhas. Isto porque o B é móvel no xilema, que é a principal forma de transporte do nutriente das raízes para a parte aérea, mas é pouco móvel no floema, não sendo assim transportado das folhas que recebem a adubação foliar para as partes jovens da planta, que são os principais drenos.

A baixa mobilidade do B no floema ocorre porque as plantas do gênero *Citrus* não produzem polióis (sorbitol, manitol, ducitol), como demonstrado por Brown e Hu (1996). Desta forma tornam-se entendíveis os resultados obtidos por Vitti et al. (1993), que 6 meses após a adubação, encontraram efeito no teor de B nas folhas, quando o adubo foi aplicado no solo e não encontraram efeito da adubação quando o B foi pulverizado na planta. Isso deve ter ocorrido, porque as folhas analisadas se desenvolveram após as adubações no solo e na folha. Como o B absorvido pelas folhas permaneceu, principalmente, nas partes onde foram aplicados e a redistribuição do B absorvido pelas folhas é menor se comparada à redistribuição do B presente na planta, fica entendível que o efeito no teor de B nas folhas que se desenvolveram após a adubação, somente ocorra quando o adubo foi aplicado no solo.

Verifica-se na Tabela 4.7 que o B absorvido pelas raízes, apesar de ter sido aplicado em menor quantidade, tem o triplo da eficiência de absorção em relação à adubação foliar, quando se analisaram as folhas novas. O B aplicado via foliar permaneceu principalmente nas folhas que receberam a adubação do nutriente (cerca de 95%), e a quantidade que se redistribuiu para os fluxos novos de crescimento (que nasceram após a adubação foliar) foi pouco superior a 5% do total absorvido, valor muito próximo ao obtido no Experimento 2.

4.4 Experimento 4: Absorção do B pelas raízes e folhas das laranjeiras e sua redistribuição para os frutos

4.4.1 Concentração de B total nas folhas, na parte lenhosa dos ramos e nos frutos

Como foi explicado anteriormente, no momento da colheita dos frutos (setembro de 2004), também foram colhidas amostras dos diferentes fluxos de crescimento que foram emitidos no ano agrícola. Os fluxos de crescimento foram identificados no momento de sua emissão e foram separados em folhas, ramos e frutos. Pode-se observar pela Tabela 4.8 que a concentração de B no tecido foliar aumentou com a idade das folhas (1º Fluxo > 2º Fluxo > 3º Fluxo > Fluxo Novo). Esta é uma característica de plantas nas quais o B tem redistribuição restrita pela seiva do floema.

Tabela 4.8. Concentração de B nas folhas dos diferentes fluxos de crescimento e nos frutos colhidos em agosto de 2004.

	Solo 2 (2 kg ha ⁻¹)	Solo 1 (1 kg ha ⁻¹)	Foliar 2 (1 kg ha ⁻¹)	Foliar 1 (0,5 kg ha ⁻¹)	Controle (sem B)	C.V.
	-----		mg kg ⁻¹	-----		(%)
Folha 1º FI.	220 A ¹ a ²	188 A a	147 A b	121 A b	126 A b	12
Folha 2º FI.	115 B a	93 B ab	91 B ab	75 B b	91 B ab	12
Folha 3º FI.	90 B a	82 B ab	70 B b	74 B b	71 C b	8
Folha FI. Novo	28 C a	29 C a	25 C a	25 C a	27 D a	17
Fruto	19 C a	18 C a	18 C a	16 D a	16 D a	9
C.V. (%)	20	13	18	10	8	

¹ Médias seguidas de mesma letra maiúscula não diferem entre si na coluna (Duncan a 5%).

² Médias seguidas de mesma letra minúscula não diferem entre si na linha (Duncan a 5%).

FI. (Fluxo de crescimento) Fruto (Casca + Polpa).

Ainda pela Tabela 4.8, verifica-se que não houve diferença estatística entre as concentrações de B nas folhas dos tratamentos que receberam, via fertirrigação, 1 ou 2 kg ha⁻¹ de B, apesar de haver uma diferença de 32 mg kg⁻¹

(1º Fluxo), 23 mg kg⁻¹ (2º Fluxo), 8 mg kg⁻¹ (3º Fluxo) a favor da maior quantidade de B aplicado (2 kg ha⁻¹). Talvez possa ser porque o teor de B no pomar estava alto (folhas de diagnose dos tratamentos Solo 1 e 2 próximo a 200 mg kg⁻¹ e Controle próximo a 97 mg kg⁻¹) e também porque no período entre a 1ª e 2ª adubação com ¹⁰B foi realizada na área do experimento uma adubação não programada com 2 kg ha⁻¹ de B, junto com o herbicida.

O efeito da adubação não programada com B, feita entre a primeira e a segunda adubação ficou evidente quando se comparou o teor de B, nas folhas do 1º Fluxo e 2º Fluxo de crescimento, quando amostrados em janeiro de 2004 e agosto de 2004 (Figura 4.18). No tratamento Controle o teor foliar de B aumentou, em média, 40 mg kg⁻¹ tanto para o 1º Fluxo quanto para o 2º Fluxo de crescimento.

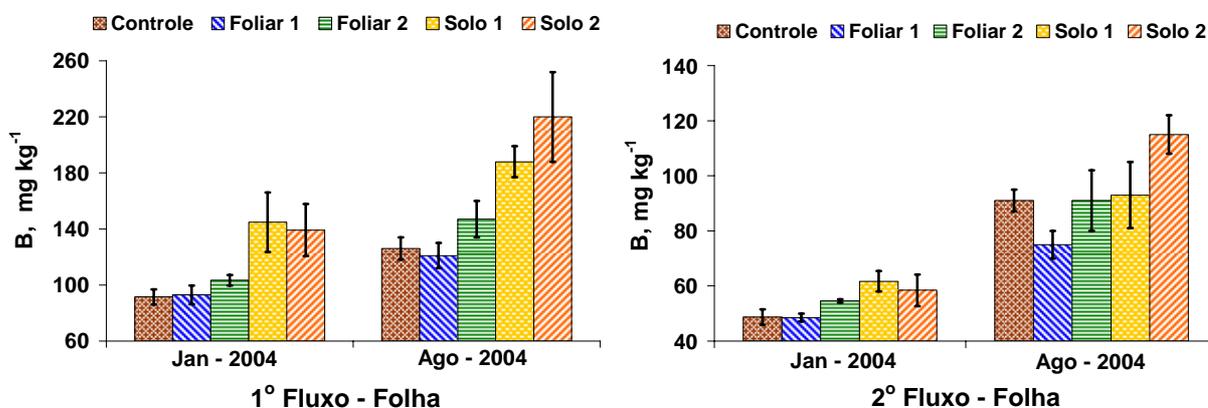


Figura 4.18. Concentração de B total nas folhas do mesmo fluxo de crescimento colhidas em janeiro e agosto de 2004 (valores médios \pm o erro padrão da média).

Verifica-se pela Figura 4.19A, que a adubação via solo ou foliar alteraram muito pouco o teor de B da parte lenhosa do ramo. À medida que o ramo envelheceu (Figura 4.19B), o teor de B diminuiu porque ocorreu um efeito de diluição, constata-se então, que o acúmulo de B nas folhas e na parte lenhosa tem comportamento diferente.

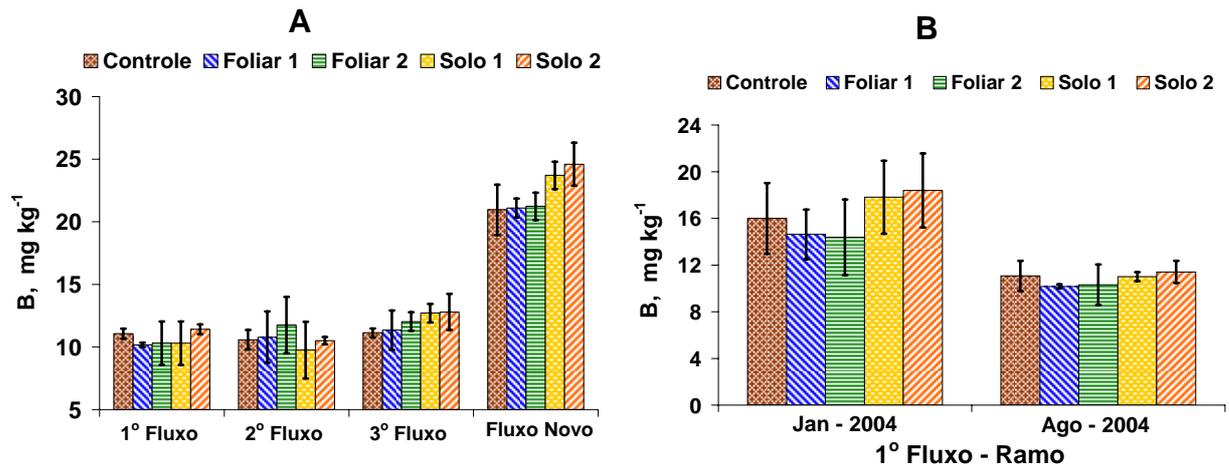


Figura 4.19. Concentração de B total na parte lenhosa dos ramos dos fluxos de crescimento da laranjeira, colhidos em agosto de 2004 (A) e do 1º Fluxo de crescimento, amostrados em janeiro e agosto de 2004 (B) (valores médios \pm o erro padrão da média).

Pode ser observado pela Figura 4.20, que o teor de B total nos frutos segue a seguinte ordem: casca > semente > polpa. Isto pode ser explicado, baseando-se no que foi discutido por Brown e Shelp (1997), que o maior acúmulo de B ocorre nos órgãos de maior perda de água, sendo que a evapotranspiração ocorre apenas na casca, que apresentou um maior acúmulo do nutriente. O açúcar predominantemente presente na polpa dos frutos das laranjeiras é a sacarose, que segundo Marschner (1997) não forma ligações estáveis com B. A sacarose produzida no tecido foliar que foi para o fruto, não conseguiu remobilizar o B presente na folha para o fruto.

Também pela Figura 4.20 verifica-se que a adubação não alterou significativamente o teor de B total nas sementes, na casca e na polpa dos frutos. Nas laranjeiras, espécie que o B tem baixa mobilidade no floema, a adubação com B, apesar de aumentar o teor do micronutriente nas folhas, não aumentou o teor de B nos frutos (Tabela 4.8 e Figura 4.20). Entretanto Wójcik et al. (1999), em estudo com doses crescentes de B em macieira, espécie em que o B é móvel no floema, encontraram correlação significativa entre a concentração do nutriente no fruto com

o aumento da adubação boratada. Isto talvez em parte explique porque Maurer e Truman (2000), Tiritan (1996), Caetano et al. (1986) não encontraram aumento na produção dos frutos devido à adubação foliar.

Apesar de não existir diferenças na concentração de B total nos frutos devido à adubação, verifica-se (Figura 4.20) que a contribuição do ^{10}B proveniente da adubação foi estatisticamente maior nos tratamentos em que o nutriente foi aplicado no solo do que nos tratamentos que o nutriente foi aplicado nas folhas. A aplicação de B no solo contribuiu com 4 a 8 mg kg^{-1} na concentração do nutriente nas partes do fruto, enquanto que a concentração de B nas partes do fruto devido à pulverização foliar foi inferior a 2 mg kg^{-1} .

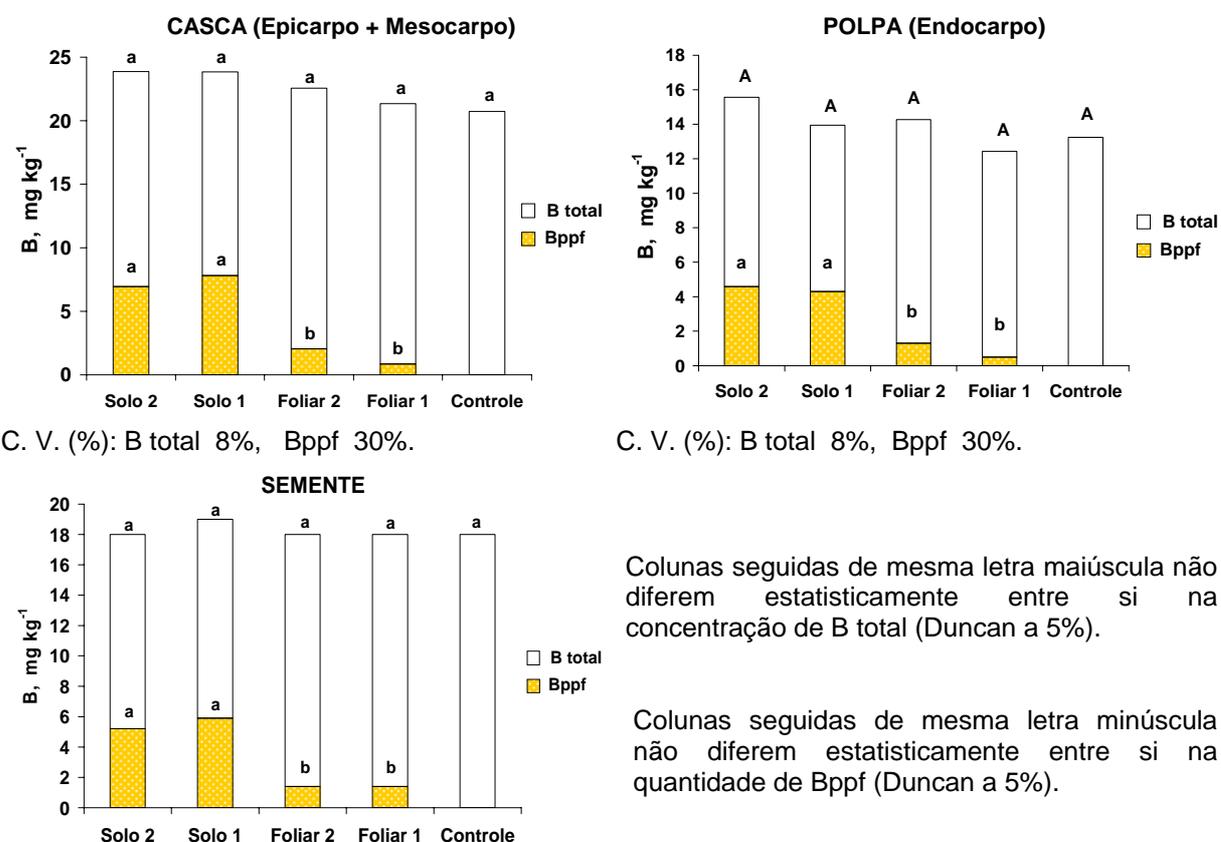


Figura 4.20. Concentrações de B total e Bppf (proveniente do fertilizante) na semente, polpa e casca dos frutos das laranjeiras, colhidos em setembro de 2004.

Nas plantas que receberam pulverização foliar com ^{10}B (tratamentos Foliar 1 e Foliar 2), parte da solução pode ter sido depositada sobre os frutos, apesar de que a área superficial dos frutos era muito pequena, principalmente na primeira pulverização, pois as laranjeiras estavam entre a fase final de florescimento e o início da frutificação (frutos com menos de 0,5 cm de diâmetro), e na época segunda adubação foliar os frutos tinham em média 3 a 4 cm de diâmetro. Conseqüentemente, o fornecimento de B diretamente aos frutos pela adubação foliar deve ser insignificante.

O B que foi depositado na casca dos frutos deve ter sido retirado pela lavagem ou foi absorvido pela casca, pois o teor de B foi semelhante nas cascas submetidas ou não à lavagem em água destilada corrente. A contribuição em quantidade de B na casca proveniente do ^{10}B também não foi diferente quando se compararam as cascas lavadas e não lavadas. Estes fatos indicam novamente que os frutos, por possuírem pequena superfície para receber a solução aplicada, não foi uma via por onde poderia haver uma significativa quantidade absorvida de B (Tabela 4.9).

Tabela 4.9. Concentração de B total e quantidade do B proveniente do fertilizante na casca dos frutos (epicarpo + mesocarpo) da laranjeira.

Tratamento	Casca		Casca	
	Lavada	Não Lavada	Lavada	Não Lavada
	----- mg kg ⁻¹ -----		--- Bppf, mg kg ⁻¹ ---	
Controle	21	22	-	-
Foliar 1	21	22	0,9	1,2
Foliar 2	23	22	2,0	2,2

4.4.2 Concentração de B proveniente do fertilizante nas folhas, nas partes lenhosas e nos frutos e mobilidade do nutriente na laranjeira.

Verifica-se pela Tabela 4.10, que a contribuição da adubação na concentração de B foi maior nas folhas mais velhas (1º Fluxo > 2º Fluxo > 3º Fluxo > Fluxo Novo). Comparando as concentrações de B nas folhas dos tratamentos Solo 1 e Foliar 2, que receberam a mesma quantidade de B (1 kg ha⁻¹), verifica-se que o teor de B proveniente do fertilizante, nas folhas dos fluxos de crescimento, foi estatisticamente maior no tratamento em que o nutriente foi aplicado no solo.

No tratamento Foliar 2, calculou-se que 4 a 6% do B presente no 3º Fluxo de crescimento e no Fluxo Novo era proveniente da adubação e foi redistribuído dos tecidos que receberam a pulverização foliar. Entretanto, isso representou uma contribuição de 4 mg kg⁻¹ na concentração de B, para o 3º Fluxo, e 2 mg kg⁻¹ para o Fluxo Novo. No tratamento Foliar 1, quando foi aplicado somente 0,5 kg ha⁻¹ de B, a porcentagem de B proveniente da adubação remobilizada para os tecidos que se desenvolveram depois da adubação foi menor do que 3% do total de B contido no tecido (Tabela 4.10).

Tabela 4.10. Concentração de B proveniente do fertilizante, em mg kg⁻¹, nas folhas e frutos das laranjeiras colhidos em agosto de 2004.

	Solo 2 (2 kg ha ⁻¹)		Solo 1 (1 kg ha ⁻¹)		Foliar 2 (1 kg ha ⁻¹)		Foliar 1 (0,5 kg ha ⁻¹)		C. V.
	-----		Bppf, mg kg ⁻¹		-----				(%)
Folha 1º Fluxo	77	A ¹ a ²	54	A a	19	A b	7	A b	33
Folha 2º Fluxo	36	B a	19	B b	9	B bc	2	B c	28
Folha 3º Fluxo	26	B a	14	C b	4	C c	2	B d	9
Folha Fluxo Novo	7	C a	3	D b	2	C b	1	C b	37
Fruto	6	C a	5	D a	2	C b	1	C c	14
C. V. (%)	20		7		33		22		

¹ Médias seguidas de mesma letra maiúscula não diferem entre si na coluna (Duncan a 5%).

² Médias seguidas de mesma letra minúscula não diferem entre si na linha (Duncan a 5%).

Fruto = Casca + Polpa.

Como já foi visto anteriormente, a concentração de B no tecido foliar aumenta com o passar do tempo, tanto nos tratamentos em que o B foi aplicado no solo quanto nos tratamentos em que foi aplicado nas folhas. Como pode ser observado pela Figura 4.21, a contribuição da adubação para o teor de B variou de acordo com o tratamento.

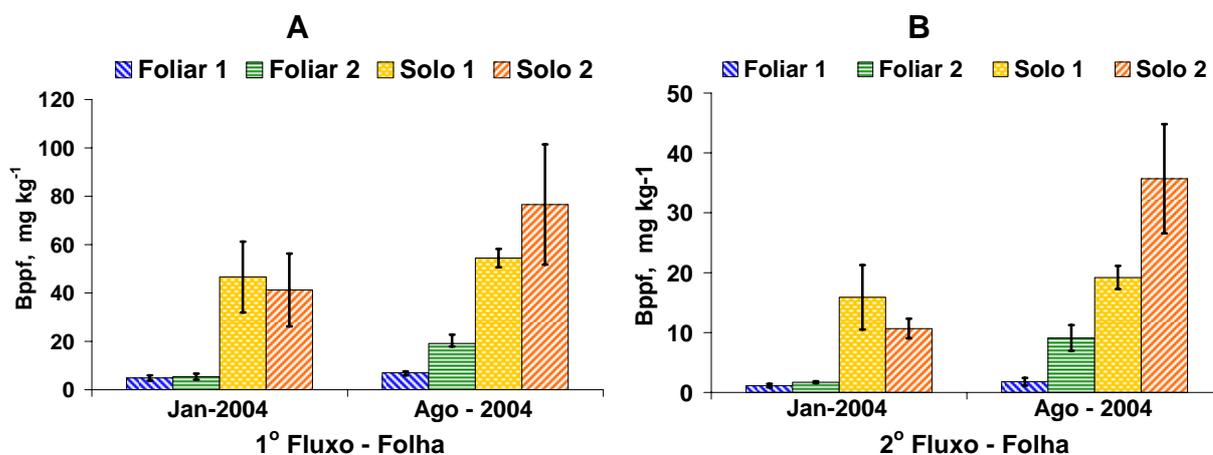


Figura 4.21. Concentração de ¹⁰B, nas folhas do 1º e 2º Fluxo de crescimento da laranja, colhidas em janeiro de 2004 e agosto de 2004 (valores médios ± o erro padrão da média).

No gráfico 4.21A, referente ao 1º Fluxo de crescimento, que iniciou o desenvolvimento na época da primeira adubação com ¹⁰B (Setembro de 2003), verifica-se que nos 4 primeiros meses após a adubação no solo (janeiro de 2004) ocorreu um aporte de B que corresponde a aproximadamente 40 mg kg⁻¹, e nos 6 meses seguintes ocorreu um novo aporte de B, proveniente da adubação feita no solo, aumentando aproximadamente 10 mg kg⁻¹ para o tratamento Solo 1 e 30 mg kg⁻¹ para o tratamento Solo 2. No tratamento Solo 1, o 2º Fluxo de crescimento que se desenvolveu depois da primeira adubação, acumulou, em média 15 mg kg⁻¹ de B até janeiro de 2004 e aproximadamente mais 5 mg kg⁻¹ nos 6 meses seguintes (Figura 4.21B). Estes resultados indicam que, quando o B foi aplicado no

solo, o fornecimento do nutriente para os ramos em crescimento foi diminuindo com o tempo.

A contribuição do B aplicado via foliar para o 1º e 2º Fluxos foi, em média, 6 vezes menor que a adubação aplicada no solo. Outro aspecto é que a contribuição da adubação foliar para o 1º e 2º Fluxos, quando o micronutriente foi aplicado na folha, a concentração devido à fertilização fica inalterada ao longo do tempo. O B pulverizado na planta deve ter permanecido na superfície da folha, sem ser absorvido e pode ter sido lavado no momento do preparo da amostra (Figura 4.21).

Verifica-se que no 1º Fluxo de crescimento apenas uma aplicação foliar com B promoveu um aumento de 7 mg kg^{-1} no tecido foliar que estava em desenvolvimento (janeiro de 2004). No tratamento Foliar 1, praticamente não ocorreu aumento na concentração de ^{10}B com o passar do tempo (Figura 4.21A), resultados semelhantes aos obtidos no Experimento 2, onde a absorção de B pelas folhas ocorreu quase que exclusivamente no 1º dia após a adubação. No tratamento em que o B foi aplicado pela segunda vez nas folhas (Foliar 2) ocorreu um aumento de 10 mg kg^{-1} na concentração de B na folha do 2º Fluxo de crescimento. Esses valores demonstram que a pulverização de B nas folhas ($0,5 \text{ kg ha}^{-1}$) contribuiu, em média, com aproximadamente 7 mg kg^{-1} , quando o tecido estava em desenvolvimento e de cerca de 10 mg kg^{-1} quando o tecido estava desenvolvido, resultados que também foram verificados no 2º Fluxo de crescimento (Figura 4.21).

Estes resultados explicam porque os períodos de tempo decorridos após a adubação e o órgão tomado para a análise são importantes para se comparar à eficiência do método de adubação.

4.4.3 Efeito residual da adubação com B

Entende-se por efeito residual da adubação boratada, a absorção pela planta de B proveniente da adubação feita no ano anterior. Como pode ser visualizado na Figura 4.22, o teor de B total nos órgãos das laranjeiras (folha, ramo e raiz), amostradas no ano seguinte a adubação com B (outubro de 2005), não foram influenciados pela adubação do ano anterior. Os teores médios de B foram de 75 mg kg⁻¹ nas folhas, 10 mg kg⁻¹ nos ramos e 30 mg kg⁻¹ nas raízes.

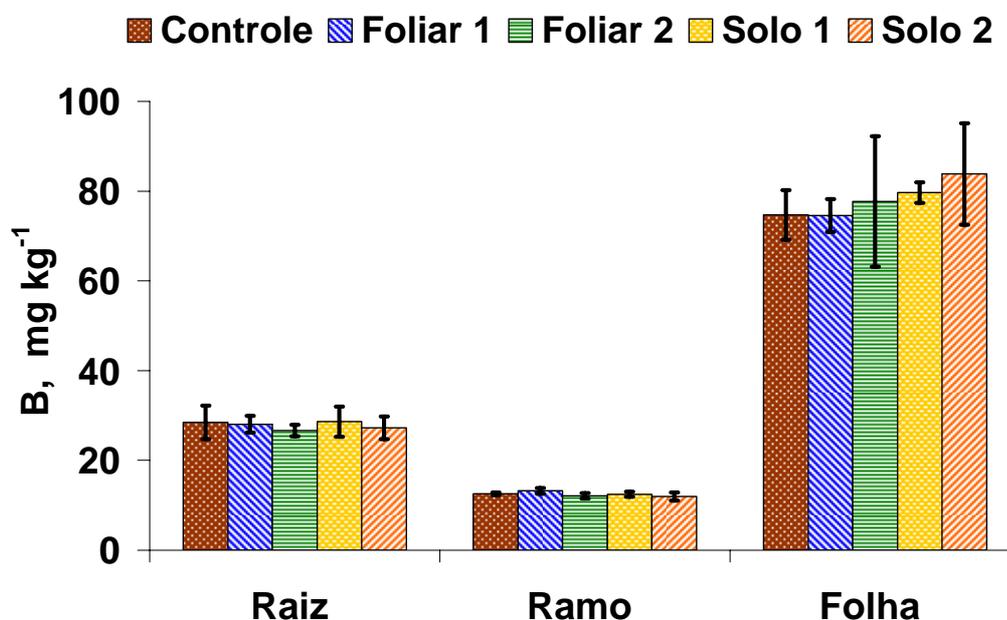


Figura 4.22. Concentração de B total nas folhas, ramos (parte lenhosa) e raízes das laranjeiras amostradas no momento da colheita dos frutos, outubro de 2005 (valores médios \pm o erro padrão da média).

Pode ser visualizado pela Figura 4.23 que a adubação com B teve um efeito marcante no teor de B total das folhas de diagnóstico nutricional (amostragem realizada em março de 2004), entretanto, não apresentou a mesma influência na folha de diagnose da safra do ano seguinte (amostragem realizada em março de 2005).

A pulverização com $0,5 \text{ kg ha}^{-1}$ de B por hectare (Foliar 1) não promoveu aumento significativo na concentração total do nutriente em relação ao tratamento Controle. Entretanto, no tratamento Foliar 2 em que foram realizadas duas aplicações de B (fornecendo um total de 1 kg ha^{-1} de B), o teor total de B na folha de diagnose foi estatisticamente superior ao Controle (Figura 4.23). Isso pode ter ocorrido porque no tratamento Foliar 1, a folha de diagnose se desenvolveu após a aplicação de B, enquanto, no tratamento Foliar 2 a folha recebeu uma pulverização direta com $0,5 \text{ kg ha}^{-1}$ de B.

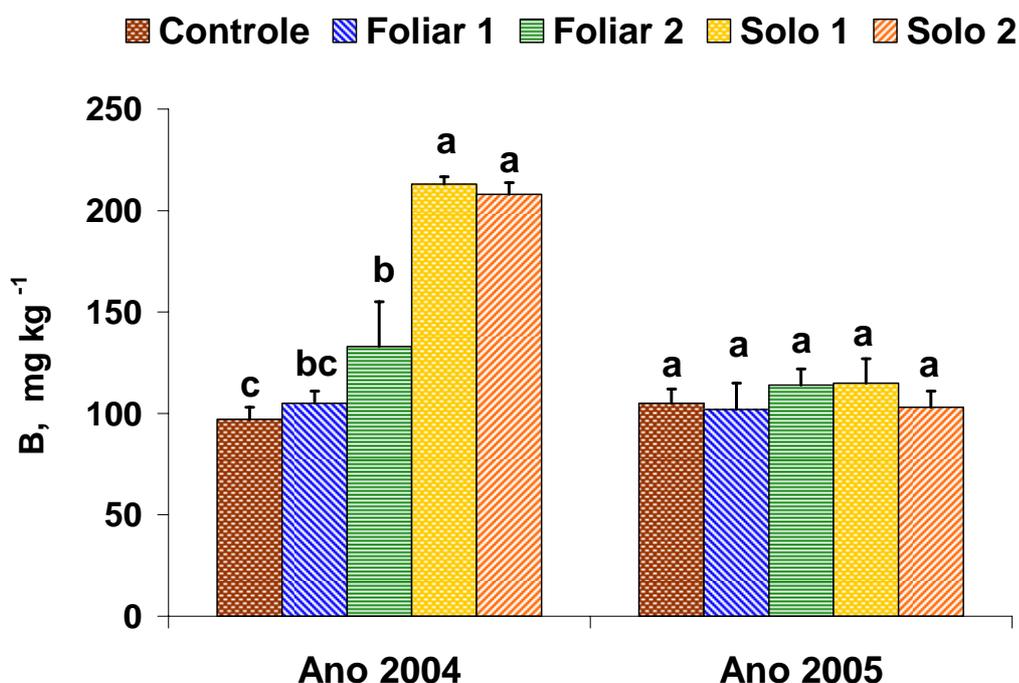


Figura 4.23. Teores de B total nas folhas de diagnóstico nutricional, amostradas em março de 2004 e 2005.

Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si na coluna (Duncan a 5%).
C.V.: Ano 2004 (10%); Ano de 2005 (11%).

A concentração de B nas flores foi maior do que nos frutos, e nestes ocorreu uma diluição na concentração de B a partir do seu desenvolvimento. O teor do nutriente nas flores foi de aproximadamente 25 mg kg^{-1} , nos frutos com 2 a 3 cm

foi de 22 mg kg^{-1} e nos frutos maduros foi de aproximadamente 18 mg kg^{-1} . Isso deve ocorrer porque o B está presente principalmente na parede celular, e no início do desenvolvimento do fruto ocorre primeiramente, um maior acúmulo de matéria seca na casca em relação à matéria seca da polpa. Uma outra explicação é que a taxa de perda de água pelo fruto, por unidade de peso fresco, diminui continuamente durante o crescimento dos frutos, conseqüentemente menor foi o acúmulo de B nos frutos, segundo estudos realizados por Huang et al. (1992), em 'Calamondin' e 'Pomelos'.

As concentrações de B total, nas flores colhidas no início da primavera (setembro de 2005) e nos frutos colhidos em diversas fases de desenvolvimento, não manifestaram efeito residual da adubação (Figura 4.24A). Ressalta-se que a época de colheita dos frutos com 7 a 8 cm de diâmetro correspondeu à mesma época de colheita da folha de diagnose do estado nutricional das plantas na safra de 2005.

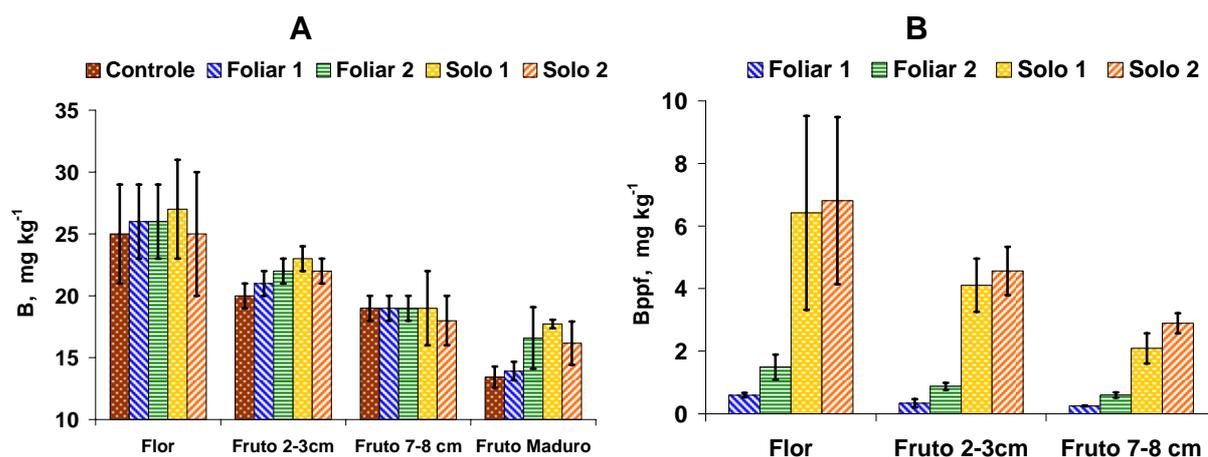


Figura 4.24. Teores de B total e B proveniente do fertilizante nas flores e nos frutos desenvolvidos no ano seguinte da adubação boratada (valores médios \pm o erro padrão da média).

A técnica isotópica, com o uso do ácido bórico marcado em ^{10}B , permitiu constatar o efeito das adubações realizadas no ano de 2004, nas folhas de diagnose, nas flores e nos vários estágios de desenvolvimento do fruto. O efeito residual da adubação boratada, nas flores e frutos da safra de 2005, pode ser constatado na Figura 4.24B.

Verifica-se pela Figura 4.25, que o teor de B proveniente do fertilizante, na folha de diagnose, no ano da adubação (2004) foi de 80 mg kg^{-1} para os tratamentos em que o micronutriente foi aplicado no solo, e em média de 12 mg kg^{-1} para os tratamentos em que o B foi pulverizado na folha. No ano seguinte a adubação (2005), o teor de B proveniente do fertilizante, na folha de diagnose, passou para 17 mg kg^{-1} e 3 mg kg^{-1} , respectivamente, para os tratamentos em que o B foi aplicado no solo e nas folhas.

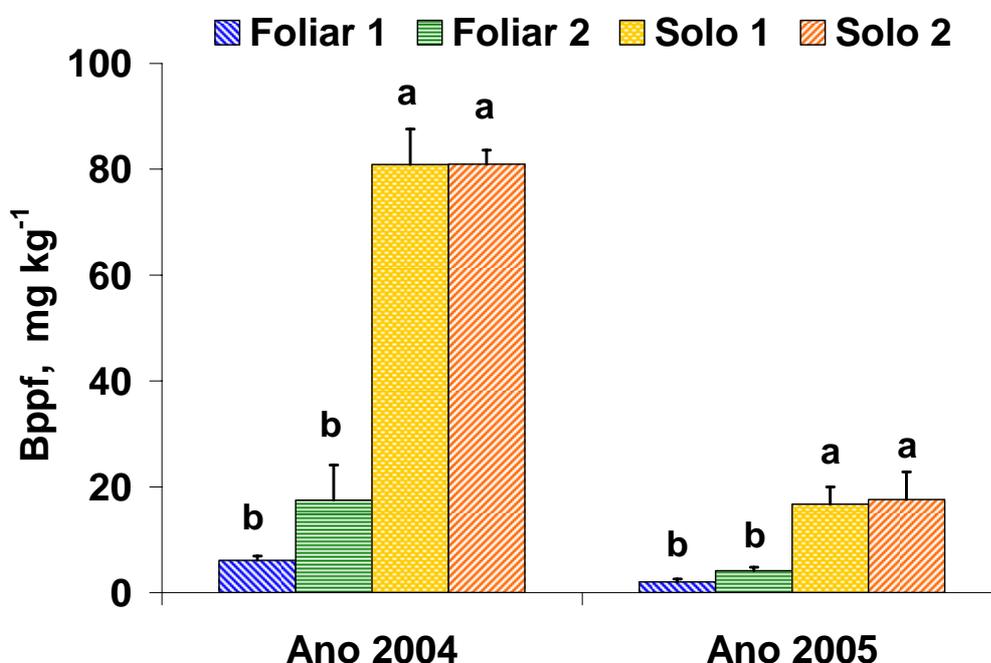


Figura 4.25. Comparação entre a contribuição do B proveniente do fertilizante nas folhas recomendadas para diagnose nutricional, amostradas nos anos de 2004 e 2005.

Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si no ano (Duncan a 5%).
C.V.: Ano 2004 (16%); Ano de 2005 (31%).

A diagnose foliar é um método utilizado para avaliar o estado nutricional das plantas e serve como base para a recomendação das adubações. Os resultados obtidos na análise foliar são utilizados para a recomendação da adubação visando à produção dos frutos que se desenvolverão no ano seguinte a amostragem. O teor de B nas folhas das laranjeiras, considerado adequado pelo GPAC (1997) varia entre 36 a 100 mg kg⁻¹. Pelos resultados obtidos no experimento pode-se verificar que à aplicação no solo de 1 kg ha⁻¹ de B foi suficiente para fornecer todo o B necessário para o desenvolvimento da planta, no ano da aplicação, e aproximadamente metade do B necessário para o desenvolvimento da laranjeira no ano seguinte à adubação.

O efeito residual do B aplicado no solo que foi determinado nas folhas de diagnose, nas flores e nos frutos, pode ter origem no B redistribuído dos órgãos da planta, ou mesmo do ¹⁰B que ainda estava no solo e foi absorvido pelas raízes.

Nos tratamentos em que o B foi pulverizado nas folhas da laranjeira (Foliar 1 e Foliar 2), o B proveniente do fertilizante na folha de diagnose, provavelmente, foi oriundo do nutriente que foi redistribuído na planta. Verifica-se pela Figura 4.25 que a contribuição da adubação foliar no teor de B, da folha de diagnose no ano seguinte a adubação, foi de 2 a 4 mg kg⁻¹. Resultados pouco superiores aos obtidos no Experimento 2.

O baixo efeito residual do B aplicado nas folhas foi porque o ¹⁰B absorvido pelas folhas foi pouco redistribuído na planta. Ainda deve-se levar em consideração que parte do ¹⁰B encontrado nos órgãos que nasceram no ano seguinte à adubação foliar, pode ser proveniente do ¹⁰B depositado na folha, que no decorrer do ano agrícola foi lavado pelas chuvas, e também pode ser proveniente das folhas que receberam o ¹⁰B no ano anterior e caíram no solo. O adubo marcado que caiu no

solo pode ter sido absorvido pelas raízes, transportado pelo xilema e depois depositados nos órgãos analisados.

O ácido bórico está na solução do solo principalmente na forma neutra, podendo ser facilmente lixiviado no perfil do solo (SHORROCKS, 1997). Apesar deste aspecto, o B aplicado no solo teve efeito residual, fornecendo o nutriente para as partes da laranjeira desenvolvidas no ano seguinte a adubação, 5 vezes maior que a adubação foliar. Ficou demonstrado nos Experimentos 2 e 3, que quase a totalidade do B depositado nas folhas pela adubação foliar, permaneceu nos órgãos onde foi depositado e praticamente não foi redistribuído para as partes novas da laranjeira.

4.4.4 Produção e exportação de B

Como o teor de B no pomar estava adequado, não houve diferença na produção e tamanho do fruto devido aos tratamentos. Então foram utilizados os valores médios obtidos no experimento. A produção média de laranja dos tratamentos foi de 60 ± 20 kg por planta, aproximadamente $26.667 \text{ kg ha}^{-1}$ de laranja ou 654 caixas (40,8 kg). O peso médio do fruto fresco foi de 240 gramas, e como o teor de água é de 83%, pode-se estimar que uma caixa tem aproximadamente 7 kg de matéria seca.

A concentração média de B na matéria seca do fruto maduro foi de 18 mg kg^{-1} , tanto no tratamento Solo 1 quanto no tratamento Foliar 2 (tratamentos que receberam a mesma quantidade de B, 1 kg ha^{-1}). Calculou-se que a exportação de B pelos frutos foi de aproximadamente 126 mg de B por caixa ou 82 g ha^{-1} . No tratamento Solo 1, o teor de B proveniente do fertilizante no fruto foi de 6 mg kg^{-1} , enquanto, no tratamento Foliar 2, somente 2 mg kg^{-1} foram provenientes do

fertilizante. Com isso pode-se estimar que a quantidade de B proveniente do fertilizante, exportada pelos frutos, foi de 28 g ha^{-1} no tratamento Solo 1 e de 9 g ha^{-1} no tratamento Foliar 2.

Os resultados apresentados por Davies e Albrigo (1994) permitiram elaborar uma equação com a qual estimou-se que, uma laranjeira no quinto ano após o plantio desenvolve aproximadamente 9 mil folhas. O peso verde de uma folha foi de 0,5 g, e a porcentagem de matéria seca na folha foi de 34%, sendo, em média de 0,17g o peso seco por folha. Boaretto et al. (2004) demonstraram que a partição da matéria seca, em uma laranjeira com 5 anos de idade, foi de: 15% nas folhas, 55% nos ramos e 30% nas raízes. Pode-se estimar então que houve um acúmulo na matéria seca da planta durante o 5º ano de: 1530 g em folhas, 5610 g em ramos e 3060 g em raízes.

No tratamento Solo 1, as concentrações B foram de 121 mg kg^{-1} nas folhas, 11 mg kg^{-1} nos ramos e 29 mg kg^{-1} nas raízes. Destes, 29 mg kg^{-1} nas folhas, $2,6 \text{ mg kg}^{-1}$ nos ramos e 8 mg kg^{-1} nas raízes são provenientes do fertilizante. Calculou-se então que a quantidade de B proveniente do fertilizante acumulado em 1 planta no ano da adubação foi de 83 mg. A quantidade acumulada no pomar do B proveniente da adubação no solo foi de aproximadamente 37 g ha^{-1} .

No tratamento Foliar 2, os teores B foram de 103 mg kg^{-1} nas folhas, 11 mg kg^{-1} nos ramos e 27 mg kg^{-1} nas raízes. Destes, 11 mg kg^{-1} nas folhas e $0,3 \text{ mg kg}^{-1}$ nos ramos foram provenientes do fertilizante e não foi constatado nas raízes B proveniente do fertilizante. Com isso, pode-se calcular que apenas 19 mg B proveniente do fertilizante foi acumulado em 1 planta no ano da adubação. A quantidade de B proveniente da adubação foliar acumulada no pomar foi de aproximadamente 8 g ha^{-1} .

Pelos valores acima apresentados, verifica-se que a quantidade absorvida de B proveniente no tratamento Solo 1 foi de 65 g ha^{-1} e no tratamento Foliar 2 foi de 17 g ha^{-1} . Como em ambos os tratamentos foram aplicados 1 kg ha^{-1} de B, pode-se estimar que a eficiência de absorção do B aplicado no solo foi de 7 % e a eficiência de absorção do B aplicado na folha foi de 2 %. Esses valores demonstram que a eficiência de absorção do B pelas raízes é cerca 3,5 vezes superior que a eficiência de absorção pelas folhas, resultados semelhantes aos obtidos no Experimento 3.

5 CONCLUSÕES

Pelos resultados obtidos no presente estudo, pode-se concluir que:

- 1) A quantidade de B absorvido pelas folhas das laranjeiras foi de 24 mg kg^{-1} de matéria seca de folha por dia e pelas raízes foi de $0,6 \text{ mg kg}^{-1}$ de matéria seca de raiz por dia. Entretanto, o B aplicado na folha foi absorvido quase que somente no primeiro dia após a aplicação, enquanto que o B disponível para as raízes foi absorvido durante todo o desenvolvimento da planta. Assim, para o cálculo da quantidade de B absorvido por unidade de matéria seca (raiz e folha) por dia, se for considerado um período de tempo maior, por exemplo, 90 dias, a quantidade de B absorvida pelas folhas seria de $0,4 \text{ mg kg}^{-1}$, portanto menor que a quantidade absorvida pelas raízes.
- 2) A eficiência de absorção de B pelas folhas das laranjeiras foi inferior a 9% da quantidade do nutriente depositada na superfície das folhas. A maior eficiência de absorção do nutriente ocorreu depois de 16 horas da pulverização.

- 3) O B absorvido pelas raízes foi cerca de 3 a 4 vezes mais eficiente em nutrir os órgãos da laranjeira nascidos após a adubação do que o B aplicado nas folhas.
- 4) O porta-enxerto não teve influência na quantidade de B redistribuído para os órgãos novos da laranjeira. Entretanto, o estado nutricional da laranjeira teve influência marcante na quantidade de B redistribuído dos órgãos velhos para os órgãos novos. Quando a laranjeira estava bem nutrida em B, cerca de 40% do micronutriente presente nos órgãos novos foi proveniente das reservas da planta, mas quando a laranjeira estava deficiente, apenas 20% do B presente nos órgãos novos foi proveniente da reserva da planta.
- 5) O B pulverizado na laranjeira permaneceu principalmente nas folhas que receberam a adubação com o nutriente (cerca de 97%), e a quantidade que foi redistribuída para as partes novas da planta, nascidas após a adubação foliar, foi de aproximadamente 3% do total absorvido. A adubação foliar aumentou o teor de B nas folhas já existentes no momento da adubação foliar, entretanto, praticamente não alterou a concentração de B nas folhas dos fluxos de crescimento desenvolvidos após a pulverização. O B absorvido pelas folhas foi redistribuído na planta em menor porcentagem do que o B presente na reserva da planta.
- 6) O efeito residual da adubação com B foi influenciado pelo método de aplicação do nutriente. O B aplicado no solo apresentou um efeito residual 5 vezes maior que o B aplicado nas folhas, quando foram analisados os órgãos das laranjeiras desenvolvidos no ano seguinte à adubação.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DOS EXPORTADORES DE CÍTRICOS - ABECITRUS. Informativo Abecitrus. Disponível em: <<http://www.abecitrus.com.br>>. Acesso em: 9 dez. 2005.

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. 71 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1999.

BELLATO, A. C. D. S. **Determinação de boro e molibdênio em amostras biológicas por espectrometria de massas com fonte de plasma (ICP-MS)**. 2004. 105 f. Tese (Doutorado em Ciências) – Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2004.

BENTON, H. H. Boron group elements and their compounds. In: BENTON, H. H. **The New Encyclopaedia Britannica Macropaedia**. 15. ed. Chicago: University of Chicago, 1974a. v. 3, p. 44-50.

BENTON, H. H. Boron. In: BENTON, H. H. **The New Encyclopaedia Britannica Micropaedia**. 15. ed. Chicago: University of Chicago, 1974b. v. 2, p. 171.

BERGMAN, 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.; ROSOLEM, C. A. Adubação foliar: Conceituação e prática. In: BOARETTO; A. E.; ROSOLEM, C. A. **Adubação foliar**. Campinas: Fundação Cargill, 1989. v. 2, p 301-320.

BOARETTO, A. E.; TIRITAN, C. S.; MURAOKA, T. Effects of foliar applications of boron on citrus fruit and on foliage and soil boron concentration. In: BELL, R.W.; RERKASEM, B. **Boron in soils and plants**. Dordrecht: Kluwer Academic, 1997. p. 121-123.

BOARETTO, A. E.; MURAOKA, T.; NASCIMENTO F, V. F.; BOARETTO, R. M.; LUCCA, E. F. Foliar absorption of ^{54}Mn and its translocation in orange and corn plants. In: INTERNATIONAL COLLOQUIUM FOR THE OPTIMIZATION OF PLANT NUTRITION, 10., 2000, Cairo - Egypt, 2000. p. 230-231.

BOARETTO, A. E.; TIRITAN, C. S.; BOARETTO, R. M.; MURAOKA, T.; NASCIMENTO F, V. F.; MOURÃO F, F. A. A. Foliar micronutrient application effects on citrus fruit yield and on soil and foliage Zn concentrations and ^{65}Zn mobilization within the plant. **Acta Horticulturae**, Merano, n. 594, p. 203-209, 2002.

BOARETTO, A. E.; MURAOKA, T.; BOARETTO, R. M. Absorção e translocação de micronutrientes, aplicado via foliar, pelos citros. **Laranja**, Cordeirópolis, v. 24, n. 1, p. 177-197, 2003.

BOARETTO, A. E., UETA, F. Z.; MATTOS JUNIOR, D., BOARETTO, R. M. Acúmulo de nutrientes em laranjeira 'Pêra'/'Cravo' em início de produção. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE FRUTICULTURA, 18, 2004, Florianópolis. **Anais do Congresso Brasileiro de Fruticultura**. Florianópolis : SBF, 2004. 1 CD-ROM.

BROWN, P. H.; PICCHIONI, G.; JENKIN, M.; HU, H. Use of ICP-MS and ^{10}B to trace the movement of boron in plants and soil. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v. 23, n. 17-20, p. 2781-2807, 1992.

BROWN, P. H.; HU, H. Phloem mobility of boron in species dependent: evidence of boron mobility in sorbitol-rich species. **Annals of Botany**, London, v. 77, n. 5, p. 497-505, 1996.

BROWN, P. H.; HU, H. Does boron play only a structural role in the growing tissues of higher plants?. **Plant and Soil**, The Hague, v. 196, p. 211-215, 1997.

BROWN, P. H.; SHELP, B. J. Boron mobility in plants. In: DELL, B.; BROWN, P. H.; BELL, R. W. **Boron in soils and plants: Reviews**. Dordrecht: Kluwer Academic, 1977. p. 85-101.

BROWN, P. H.; HU, H. Phloem boron mobility in diverse plant species. **Botanica Acta**, Stuttgart, v. 111, p. 331-335, 1998.

BROWN, P. H.; BELLALLOUI, WIMMER, M. A.; BASSIL, E.; RUIZ, J.; HU, H.; PFEFFER, H.; DANDEL, F.; ROMHELD, V. Boron in plant biology. **Plant Biology**, Stuttgart, v. 4, n. 2, p. 205-223, 2002a.

BROWN, P. H.; BELLALLOUI, N.; SAH, R. N.; BASSIL, E.; HU, H. Uptake and transport of boron. In: GOLDBACH, H. E. et al. **Boron in plant and animal nutrition**. New York: Kluwer Academic, 2002b. p. 87-103.

BRYAN, O. C. Deficiency Symptom patterns in citrus. **The Citrus Industry**, Bartow: v. 19, n. 3, p. 11-15, 1938.

BUKOVAC, M. J.; WITTEWER, S. H. Absorption and mobility of foliar applied nutrients. **Plant Physiology**, Rockville, v. 32, p. 428-435, 1957.

CAETANO, A. A. **Estudo da eficiência de várias fontes dos micronutrientes zinco, manganês e boro aplicados em pulverização na laranjeira Valência (*Citrus sinensis* (L.) OSBECK)**. 1982. 46 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1982.

CAETANO, A. A.; MOREIRA, C. S.; NEGRI, J. D.; FIGUEIREDO, J. O.; TEÓFILO SOBRINHO, J.; HIROCE, R. Estudo da eficiência de várias fontes dos micronutrientes zinco, manganês e boro aplicados em pulverização na laranjeira Valência *Citrus sinensis* (L.) OSBECK. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE FRUTICULTURA , 7., 1983, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis, 1983. p. 175-182.

CASTRO, P. R. C.; MARINHO, C. S.; PAIVA, R.; MENEGUCCI, J. L. P. Fisiologia da produção dos citros. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 22, n. 209, p. 26-38, 2001.

CERDA, A.; CARO, M.; SANTA CRUZ, F. Redistribuição de nutrientes en limonero verna determinados por um metodo indireto. **Anales de Edafología y Agrobiología**, Madrid, v. 41, n. 3, p. 697-704, 1982.

CHAMEL, A. R.; ANDREANI, A. M.; ELOY, J. Distribution of foliar applied boron measured by spark-source mass spectrometry and laser-probe mass spectrography. **Plant Physiology**, Rockville, v. 67, p. 457-459, 1981.

CHAMEL, A. R.; ANDREANI, A. M. Demonstration of the penetration of boron in apple fruit using an enriched stable isotope. **Hortscience**, Alexandria, v. 20, n. 5, p. 907-908, 1985.

CHAMEL, A. R. Foliar uptake of chemicals studied with whole plants and isolated cuticles. In: NEUMANN, P. M. **Plant growth and leaf-applied chemicals**. Boca Raton: CRC Press, 1988. p. 27-50.

CHAPOT, H. The citrus plant. In: HÄFLIGER, E. **Citrus**. Basel: Ciba-Geigy Agrochemicals, 1975. p. 7-13. (Technical Monography, 4).

CLARK, R. B. Nutrient solution growth of sorghum and corn in mineral nutrition studies. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v. 5, p. 1039-1057, 1982.

COOPER, W. C.; GORTON, B. S.; OLSON, E. O. Ionic accumulation in citrus as influenced by rootstock and scion and concentration of salts and boron in the substrate. **Plant Physiology**, Rockville, v. 27, n. 1, p. 191-203, 1952.

DAVIES; F. S.; ALBRIGO, L. G. Environmental constraints on growth, development and physiology of citrus. In: DAVIES; F. S.; ALBRIGO, L. G. **Citrus**. Wallingford: CAB International, 1994, p. 52-82.

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.

DORDAS, C.; CHRISPEELS, M. J.; BROWN, P. H. Permeability and channel-mediated transport of boric acid across membrane vesicles isolated from squash roots. **Plant Physiology**, Rockville, v. 124, n. 3, p. 1349-1361, 2000.

EATON, F. M.; BLAIR, G. Y. Accumulation of boron by reciprocally grafted plants. **Plant Physiology**, Rockville, v. 10, n. 3, p. 411-424, 1935.

EPSTEIN, E.; BLOOM, A. J. Nutrition and growth. In: EPSTEIN, E.; BLOOM, A. J. **Mineral nutrition of plants: principles and perspectives**. 2. ed. Sunderland: Sinauer Associates, 2005. p. 243-273.

FAO. **Agriculture** – Agricultural Production. Disponível em: <<http://faostat.fao.org>>. Acesso em: 7 dez. 2005.

FURLANI, A. M. C. Nutrição mineral. In: KERBAUY, G. B. **Fisiologia vegetal**. 1. ed. Rio de Janeiro: Editora Guanabara Koogan, 2004. p. 40-75.

GASSERT, B.; SPRICH, E.; PFEFFER, H.; DANDEL, F.; WIRÉN, N.; ROMHELD, V. Characterization of boron uptake in higher plants. In: GOLDBACH, H. E. et al. **Boron in plant and animal nutrition**. New York: Kluwer Academic, 2002. p. 119-126.

GINÉ, M. F.; MENEGÁRIO, A. A.; BELLATO, A. C. D.; PACKER, A. P. MIRANDA, C. E. S.; ALMEIDA, C. R. O sistema ICP-MS. In: _____. **Espectrometria de massas com fonte de plasma**. 1. ed. Piracicaba: Centro de Energia Nuclear na Agricultura – Universidade de São Paulo, Série didática, 1999. p. 41-53.

GOEPFERT, C. F.; SALDANHA, E. L. S.; PORTO, O. M. Resposta da laranjeira 'Valência' (*Citrus sinensis*, Obs.) A níveis de fertilizantes, médias de oito safras. **Agronomia Sulriograndense**, Porto Alegre, v. 23, n. 2, p. 203-217, 1987.

GOLDSCHMIDT, E. E.; KOCH, K. E. Citrus. In: ZAMSKI, E.; SCHAFFER, A. A. **Photoassimilate distribution in plants and crops**. New York: Marcel Dekker, 1996. p. 797-823.

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, 1997. p. 35-48.

GRUPO PAULISTA DE ADUBAÇÃO DE CITROS - GPAC. Frutíferas. In: RAIJ, B.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2. ed. Campinas: IAC, 1997. p. 121-134. (Boletim Técnico, 100).

GRASSI FILHO, H. **Níveis de cálcio e boro e suas interações, afetando o desenvolvimento do sistema radicular, a composição mineral e o vigor do limoeiro cravo [*Citros limonia* (L.) Osbeck], em condições controladas**. 1991. 92 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1991.

GRAY, A. L. A plasma source for mass analysis. **Proceedings of the Society for Analytical Chemistry**, London, v. 11, p. 182-183, 1974.

GUPTA, U. C. Boron nutrition of crops. **Advances in Agronomy**, San Diego, v. 31, p. 273-307, 1979.

HAAS, A. R. C. Boron as an essential element for healthy growth of citrus. **Botanical Gazette**, Chicago, v. 89, n. 4, p. 410-413, 1930.

HAAS, A. R. C. Boron in citrus trees. **Plant Physiology**, Rockville, v. 20, n. 3, p. 323-343, 1945.

HANSON, E. J. Movement of boron out of tree fruit leaves. **Hortscience**, Alexandria, v. 26, n. 3, p. 271-273, 1991.

HU, H.; BROWN, P. H. Localization of boron in cell walls of squash and tobacco and its association with pectin. Evidence for a structural role of boron in the cell wall. **Plant Physiology**, Rockville, v. 105, p. 681-689, 1994.

HU, H.; BROWN, P. H. Phloem mobility of boron in species dependent: evidence of boron mobility in sorbitol-rich species. **Annals of Botany**, Oxford, v. 77, n. 5, p. 497-505, 1996.

HU, H.; BROWN, P. H.; LABAVITCH, J. M. Species variability in boron requirement is correlated with cell wall. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 47, n. 295, p. 272-282, 1996.

HU, H.; BROWN, P. H. Absorption of boron by plant roots. In: DELL, B.; BROWN, P. H.; BELL, R. W. **Boron in soils and plants: Reviews**. Dordrecht: Kluwer Academic, 1997. p. 49-58.

HU, H.; PENN, S. G.; LEBRILLA, C. B.; BROWN, P. H. Isolation and characterization of soluble boron complexes in higher plants. **Plant Physiology**, Rockville, v. 113, n. 2, p. 649-655, 1997.

HUANG, T. B.; DARNELL, R. L.; KOCH, K. E. Water and carbon budgets of developing citrus fruit. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Alexandria, v. 117, n. 2, p. 287-293, 1992.

HUANG, L.; BELL, R. W.; DELL, B. Boron supply into Wheat (*Triticum aestivum* L. cv. Wilgoyne) ears whilst enclosed within leaf sheaths. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 52, n. 361, p. 1731-1738, 2001.

JUAN, E. G. S. Fisiología –boro. In: JUAN, E. G. S. **El cultivo de los agrinos**. Madrid: Instituto Nacional de Investigaciones Agronomicas, 1960, p. 325-326.

KABATA-PENDIAS, A.; PENDIAS, H. Element of group III. In: _____. **Trace elements in soils and plants**. 1. ed. Boca Raton: CRC Press, 1984. p. 127-134.

KERRIEN, F.; CHAMEL, A.; IMBERT, J. L. Comparative study of foliar uptake and translocation of boron (^{10}B) supplied as four different products in radish plants. In: BELL, R.W.; RERKASEM, B. **Boron in soils and plants**. Dordrecht: Kluwer Academic, 1997. p. 191-195.

KOBAYASHI, M.; MATOH, T. *In vitro* reconstitution of the boron-polysaccharide complex purified from cultured tobacco BY-2 cells. In: BELL, R.W.; RERKASEM, B. **Boron in soils and plants**. Dordrecht: Kluwer Academic, 1997. p. 237-241.

LEECE, D. R., Composition and ultrastructure of leaf cuticles from fruit trees, relative to differential foliar absorption. **Australian Journal of Plant Physiology**, Melbourne, v. 3, p. 833-847, 1976.

LEITE, V. M. **Absorção e translocação do boro em cafeeiro**. 2002. 105 f. Tese (Doutor em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade do Estado de São Paulo, Botucatu, 2002.

LIMA, L. A.; MISCHAN, M. M.; SALIBE, A. A. Concentração de boro e enxofre em folhas de laranjeiras doces, determinadas por diferentes porta enxertos. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Campinas, v. 2, n. 2, p. 54-61, 1980.

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.

MACHADO, C. C. **Consumo de soluções fertilizantes por plantas adultas de lima ácida ‘Tahiti’ sobre limão ‘Cravo’ em irrigação localizada**. 2004. 139 f. Piracicaba, Tese (Doutorado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2004.

MALAVOLTA, E.; VIOLANTE NETTO, A. Adubação mineral. In: _____. **Nutrição mineral, calagem, gessagem e adubação dos citros**. 1. ed. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1989. p. 70-120.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. de. Metodologia para análise de elemento em material vegetal. In: MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. de. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2. ed. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1997. p. 231-307.

MARSCHNER, H. Functions of mineral: Micronutrients. In: MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 2. ed. San Diego: Academic Press, 1997. p. 313-404.

MARTINI, F.; THEILLIER, M. Study, with the help of the ^{10}B (n, a) ^7Li nuclear reaction, on the redistribution of boron in white clover after foliar application. **Newsletter Application Nuclear Methods in Biology and Agriculture**. v. 4, p. 26-29, 1975.

MATOH, T. Boron in plant cell walls. In: DELL, B.; BROWN, P. H.; BELL, R. W. **Boron in soils and plants: Reviews**. Dordrecht: Kluwer Academic, 1997. p. 59-70.

MATOH, T.; KOBAYASHI, M. Boron in plant cell walls. In: GOLDBACH, H. E.; et al. **Boron in plant and animal nutrition**. New York: Kluwer Academic, 2002. p. 143-155.

MATTOS JUNIOR, D.; QUAGGIO, J. A.; CANTARELLA, H. Calagem e adubação dos citros. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 22, n. 209, p. 39-46, 2001.

MATTOS JUNIOR, D.; BATAGLIA, O. C.; QUAGGIO, J. A. Nutrição dos citros. In: MATTOS JUNIOR, D. et al. **Citros**. 1. ed. Campinas: Instituto Agronômico, 2005. p. 197-219.

MAURER, M.; TRUMAN, J. **Effect of foliar boron sprays on yield and fruit quality of navel oranges in 1998 and 1999**. Citrus and Deciduous Fruit and Nut Research Report. Tucson: College of Agriculture and Life Sciences, University of Arizona, 2000.

MEDINA, L. M.; RENA, A. B.; SIQUEIRA, D. L.; MACHADO, E. C. Fisiologia dos citros. In: MATTOS JUNIOR, D. et al. **Citros**. 1. ed. Campinas: Instituto Agronômico, 2005. p. 147-195.

MENGEI, K.; KIRKBY, E. A. Boron. In: MENGEI, K.; KIRKBY, E. A. **Principles of plant nutrition**. 5. ed. Dordrecht: Kluwer Academic, 2001. p. 621-638.

MOURÃO FILHO, F. A. A. **Efeito de diferente porta-enxertos no vigor e na produtividade das plantas e nas concentrações de macro e micronutriente nas folhas de laranjeira Pera (*Citrus sinensis*, L., Osbeck)**. 1989. 189 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade do Estado de São Paulo, Botucatu, 1989.

NIELSEN, F. H. The nutritional Importance and Pharmacological Potential of Boron for higher animals and human. In: GOLDBACH, H. E. et al. **Boron in plant and animal nutrition**. New York: Kluwer Academic, 2002. p. 37-49.

OERTLI, J. J.; The distribution of normal and toxic amounts of boron in leaves of Rough lemon. **Agronomy Journal**, Madison, v. 52, p. 530-532, 1960.

PAPADAKIS, I. E.; DIMASSI, K. N.; THERIOS, I. N. Response of two citrus genotypes to six boron concentrations: concentration and distribution of nutrients, total absorption, and nutrient use efficiency. **Australian Journal of Agricultural Research**, Melbourne, v. 54, n. 6, p. 571-580, 2003.

PAPADAKIS, I. E.; DIMASSI, K. N.; BOSABALIDIS, A. M.; THERIOS, I. N.; PATAKAS, A.; GIANNAKOULA, A. Effects of B excess on some physiological and anatomical parameters of 'Navelina' orange plants grafted on two rootstocks. **Environmental and Experimental Botany**, Oxford, v. 51, n. 3, p. 247-257, 2004.

PERICA, S.; BELLALOUI, N.; GREVE, C.; HU, H.; BROWN, P. H. Boron transport and soluble carbohydrate concentrations in olive. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Alexandria, v. 126, n. 3, p. 291-296, 2001.

PFEFFER, H.; DANDEL, F.; ROMHELD, V. Are there two mechanisms for boron uptake in sunflower? **Journal of Plant Physiology**. Melbourne, v. 155, p. 34-40, 1999.

PICCHIONI, G. A.; WEINBAUM, S. A.; BROWN, P. H. Retention and the kinetics of uptake and export of foliage-applied, labeled boron by apple, pear, prune and sweet cherry leaves. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Alexandria, v. 120, n. 1, p. 28-35, 1995.

POMPEU JUNIOR, J. Porta-enxertos. In: MATTOS JUNIOR, et al. **Citros**. 1. ed. Campinas: Instituto Agronômico, 2005. p. 61-104.

QUAGGIO, J. A.; MATTOS JUNIOR, D.; CANTARELLA, H.; TANK JUNIOR, A. Fertilização com boro e zinco no solo em complementação à aplicação via foliar em laranjeira Pêra. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 38, n. 5, p. 627-634, 2003.

QUAGGIO, J. A.; MATTOS JUNIOR, D.; CANTARELLA, H. Manejo da fertilidade do solo na citricultura. In: MATTOS JUNIOR, D. et al. **Citros**. 1. ed. Campinas: Instituto Agrônômico, 2005. p. 483-507.

REICHARDT, K.; TIMM, L. C. Absorção de nutrientes pelas plantas. In: REICHARDT, K.; TIMM, L. C. **Solo planta e atmosfera** – Conceitos, processos e aplicações. 1. ed. Barueri: Manole, 2004. p. 341-361.

RIVERO, J. M. Boro. Su function. Carencia y exceso. Diagnostico. In: RIVERO, J. M. **Los estados de carencia de los agrios**. Madrid: Instituto Nacional de Investigaciones Agronomicas, 1964. p. 195-206.

SANTOS, C. H.; DUARTE FILHO, J.; MODESTO JUNIOR, C.; GRASSI FILHO, H.; FERREIRA, G. Adubos foliares quelatizados e sais na absorção de boro, manganês e zinco em laranjeira 'Pera'. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 56, n. 4, p. 999-1004, 1999.

SARRUGE, J. R. Soluções nutritivas. **Summa Phytopathologica**, Piracicaba, v. 1, n. 3, p. 231-233, 1975.

SCOFIELD, C. S.; WILCOX, L. V. The boron content of oranges. **Science**, Washington, v. 71, n. 1847, p. 542-543, 1930.

SHELP, B. J. Boron mobility and nutrition in brocoli (*Brassica oleracea* var. *italica*). **Annals of Botany**, Oxford, v. 61, p. 83-91, 1988.

SHORROCKS, V. M. The occurrence and correction of boron deficiency. In: DELL, B.; BROWN, P. H.; BELL, R. W. **Boron in soils and plants: Reviews**. Dordrecht: Kluwer Academic, 1997. p. 121-148.

SHU, Z.-H.; RUTSKE, M.; OBERLY, G. H. Boron (B) mobility in one-year-old 'Red Haven' peach trees. In: ANNUAL MEETING OF THE AMERICAN SOCIETY FOR HORTICULTURAL SCIENCE, 86., 1989, Tulsa, Oklahoma. **Program & abstract**. Alexandria: American Society for Horticultural Science, 1989. p. 105.

SHU, Z.-H.; OBERLY, G. H.; CARY, E. E. Time course study on the mobility and pattern of distribution of foliar-applied boron in peaches. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v. 16, n. 9, p. 1661-1673, 1993.

SHU, Z.-H.; OBERLY, G. H.; CARY, E. E.; RUTZKE, M. Absorption and translocation of boron applied to aerial tissues of fruiting 'Reliance' peach trees. **Hortscience**, Alexandria, v. 29, n. 1, p. 25-27, 1994.

SHU, Z.-H.; OBERLY, G. H.; CARY, E. E. Absorption, movement and distribution of boron applied to peach (*Prunus persica* L. Batsch) fruits. In: BELL, R.W.; RERKASEM, B. **Boron in soils and plants**. Dordrecht: Kluwer Academic, 1997. p. 209-212.

SILVA, D. H.; CONTIN, T. L. M.; BOARETTO, R. M.; FERNANDES, H. M. G.; BOARETTO, A. E. Variação do pH de solução nutritiva em cultivo de laranjeira 'Valência' enxertada em limoeiro 'Cravo'. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO, 10., 2002, Piracicaba. **Resumos...** São Paulo: USP, 2002. 1 CD-ROM.

SILVA, M. M. **Avaliação dos teores foliares de micronutrientes em citros em função da aplicação de fungicidas, sais e quelatizados.** 1996. 58 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1996.

TAYLOR, B. K.; DIMSEY R. T.; Rootstock and scion effects on the leaf nutrient composition of citrus trees, **Australian Journal of Experimental Agriculture**, East Melbourne, v. 33, n. 3, p. 363-371, 1993.

TIRITAN, C. S. **Aplicação foliar de micronutrientes em citros.** 1996. 64 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1996.

TRIVELIN, P. C. O. **Utilização do nitrogênio pela cana-de-açúcar: Três casos estudados com o uso do traçador ¹⁵N.** 2000. 143 f. Livre-Docência (Especialidade/Disciplina: Isótopos Estáveis) – Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2000.

VANDERPOOL, R. A.; JOHNSON, P. E. Boron isotope ratios in commercial produce and boron-10 foliar and hidroponic enriched plants. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Columbus, v. 40, n. 3, p. 462-466, 1992.

VITTI, G. C.; DONADIO, L. C.; DELARCO, R. D.; MALAVOLTA, E.; CABRITA, J. R. M. Influence of soil and leaf applications of micronutrients on yield and fruit quality of *Citrus sinensis* Osbeck, variety Pera. In: FRAGOSO, M. A. C.; BEUSICHEM, M. L. **Optimization of plant nutrition**. Dordrecht: Kluwer Academic, 1993. p. 453-456.

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.

WÓJCIK, P.; CIESLINSKI, G.; MIKA, A. Apple yield and fruit quality as influenced by boron applications. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v. 22, n. 9, p. 1365-1377, 1999.

WÓJCIK, P.; WÓJCIK, M.; TREDER, T. Boron absorption and translocation in apple rootstock under conditions of low medium boron. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v. 26, n. 5, p. 961-968, 2003.

WUTSCHER, H. K. Alteration of fruit tree nutrition through rootstocks. **Hortscience**, Alexandria, v. 24, n. 4, p. 578-584, 1989.

XU, F.; YANG, Y.; WANG, Y.; WU, L. Boron uptake and retranslocation in cultivars of *Brassica napus* differing in boron efficiency. In: GOLDBACH, H. E. et al. **Boron in plant and animal nutrition**. New York: Kluwer Academic, 2002. p. 127-135.

ZIMMERMANN, M. H.; ZIEGLER, H. List of sugars and sugar alcohols in sieve-tube exudates. In: ZIMMERMANN, M. H.; MILBURN, J. A. **Encyclopedia of Plant Physiology**. Berlin: Sp