

**UNIVERSIDADE DO ESTADO DE SANTA CATARINA – UDESC
CENTRO DE CIÊNCIAS AGROVETERINÁRIAS – CAV
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS
MESTRADO EM MANEJO DO SOLO**

ALESSANDRA APARECIDA DE SÁ

**INFLUÊNCIA DA APLICAÇÃO DE BORO NA QUALIDADE E NO
RENDIMENTO DE MAÇÃS**

LAGES, SC

2011

ALESSANDRA APARECIDA DE SÁ

**INFLUÊNCIA DA APLICAÇÃO DE BORO NA QUALIDADE E NO
RENDIMENTO DE MAÇÃS**

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do título de mestre no Curso de Pós-Graduação em Manejo do Solo da Universidade do Estado de Santa Catarina – UDESC.

Orientador: Ph. D. Paulo Roberto Ernani

Co-orientadores:

Ph. D. Cassandro V. T. Amarante

Dr. Cristiano André Steffens

Dr. Gilberto Nava

LAGES, SC

2011

Ficha catalográfica elaborada pela Bibliotecária
Renata Weingärtner Rosa – CRB 228/14ª Região
(Biblioteca Setorial do CAV/UEDESC)

Sá, Alessandra Aparecida de
Influência da aplicação de boro na qualidade e no rendimento de maçãs
/ Alessandra Aparecida de Sá; orientador: Paulo Roberto Ernani. –
Lages, 2011.
55f.

Inclui referências.
Dissertação (mestrado) – Centro de Ciências Agroveterinárias /
UEDESC.

1. Adubação foliar. 2. Qualidade de frutos. 3. Cultivares de macieira.
I. Título.

CDD – 634.11

ALESSANDRA APARECIDA DE SÁ

**INFLUÊNCIA DA APLICAÇÃO DE BORO NA QUALIDADE E NO
RENDIMENTO DE MAÇÃS**

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do título de mestre no Curso de Pós-Graduação em Manejo do Solo da Universidade do Estado de Santa Catarina – UDESC.

Aprovada em: ____/____/____

Homologada em: ____/____/____

Banca Examinadora:

Orientador/presidente: Ph. D. Paulo Roberto Ernani (UDESC/Lages – SC)

Dr. Luciano Colpo Gatiboni
Coordenador Técnico do Curso de Mestrado em Manejo do Solo

Co-orientador/membro: Ph. D. Cassandro Vidal Talamini do Amarante (UDESC/Lages – SC)

Dr. Leo Rufato
Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias – UDESC/Lages – SC

Co-orientador/membro: Dr. Gilberto Nava (EPAGRI/São Joaquim – SC)

Dr. Cleimon Eduardo do Amaral Dias
Diretor Geral do Centro de Ciências Agroveterinárias – UDESC/Lages - SC

Lages, Santa Catarina, 16 de agosto de 2011

Aos meus pais Aurea Terezinha Souza de Sá (em memória) e Alfeu Souza de Sá, por todo amor, confiança e incentivo.

Dedico...

AGRADECIMENTOS

À minha mãe, que mesmo ausente nesse momento, me encorajou quando tomei a decisão de fazer o mestrado há alguns anos. Ao meu pai, pela contribuição em todos os momentos dessa jornada e apoio incondicional.

Aos meus irmãos, João Paulo de Sá e Luiz Henrique de Sá, pelo carinho e amparo, por compreenderem a ausência temporária, pela nossa união, por tornarem vivo o significado da palavra família. À Daiany Rodrigues, por todo apoio e estímulo.

Ao meu namorado, Gustavo Simoneti Nunes, por estar sempre ao meu lado, vivendo comigo todos os momentos de angústias e alegrias.

À UDESC, pela oportunidade de cursar o Mestrado, e à CAPES, pela concessão da bolsa.

Ao orientador e professor Paulo Roberto Ernani, pela dedicação, paciência, ensinamento e incentivo durante todas as fases do curso.

Ao pesquisador Gilberto Nava, pela orientação, acompanhamento e confiança em mim dedicada.

Ao professor Cassandro Vidal Talamini do Amarante, pela disponibilidade que sempre manifestou, esclarecendo meus questionamentos e pelas sugestões.

À Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina (EPAGRI), por disponibilizar a área experimental e as instalações para realizações das análises, assim como a ajuda de seus funcionários Miguel de Rocco, Marcelo Padilha e Maria Adriana Pereira.

Aos colegas de Mestrado e laboratório de Fertilidade do Solo, pela convivência, companheirismo e auxílio. Aos bolsistas do laboratório de Fisiologia e Pós-Colheita, pela ajuda prestada na execução das análises.

Aos queridos amigos, Janaina, Paula, Cintia e Juliano, pelos ótimos momentos durante esse período, pela verdadeira amizade.

A todos aqueles que contribuíram para a realização dessa dissertação, deixo aqui meus sinceros agradecimentos.

RESUMO

SÁ, Alessandra Aparecida. **Influência da aplicação de boro na qualidade e no rendimento de maçãs**. 2011. 55f. Dissertação (Mestrado em Manejo do Solo) – Universidade do Estado de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias, Lages, SC. 2011.

O boro (B) é um micronutriente normalmente aplicado aos pomares de macieira em quase todas as regiões produtoras. No Brasil, entretanto, inexistem trabalhos de campo avaliando a necessidade ou não da adição deste elemento. O objetivo do trabalho foi avaliar o efeito da aplicação foliar de B em diferentes estágios do ciclo de crescimento da macieira, e sua associação com a aplicação desse nutriente via solo, no rendimento de frutos e na qualidade de maçãs. O experimento foi conduzido em São Joaquim/SC, durante as safras de 2010 e 2011, com as cultivares Imperial Gala e Fuji Suprema. Os tratamentos consistiram de um fatorial envolvendo doses de B aplicadas no solo e épocas de pulverização na planta. O delineamento experimental foi o de blocos ao acaso, com os tratamentos arranjos em parcelas subdivididas, sendo que a parcela principal abrigou as épocas de aplicação foliar de B [sem aplicação, na fase de botão rosado (0,3% ácido bórico) e em pós-colheita (0,6% ácido bórico)], e nas subparcelas foram alocadas as doses de B no solo (0; 2,5 e 5,0 kg ha⁻¹ de bórax). Foi determinado a germinação do grão de pólen, a frutificação efetiva e o rendimento de frutos. Na polpa e na folha foram determinados os teores de Ca e B, e no solo somente a concentração de B. Após a colheita, os frutos foram avaliados quanto às taxas respiratórias e de produção de etileno, índice iodo-amido, sólidos solúveis, acidez titulável, coloração da epiderme e atributos de textura. A média dos resultados obtidos nas duas safras foi submetida à análise de variância e a diferença entre as médias dos tratamentos foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de significância. A aplicação de B no solo foi mais eficiente do que a aplicação foliar para aumentar o teor de B na polpa, na folha e no solo, no entanto, não afetou nenhum dos atributos relacionados com a qualidade fisiológica dos frutos, em nenhuma das cultivares. A aplicação foliar de B, por outro lado, antecipou a maturação dos frutos, diminuiu a acidez, e não afetou o teor de sólidos solúveis e a firmeza de polpa. A coloração, a taxa respiratória e a produção de etileno, em ambas cultivares, não foram alteradas pela aplicação de B, independente da forma ou da dose utilizada. A germinação do grão de pólen reduziu com a aplicação foliar de B realizada na florada, somente na 'Imperial Gala'. A pulverização foliar com B realizada na floração diminuiu a frutificação efetiva da 'Fuji Suprema'. O rendimento de frutos não foi afetado pela aplicação de B, independente da época ou dose, em nenhuma cultivar. Os resultados preliminares indicam não haver necessidade da aplicação de B em pomares de macieira do Sul do Brasil com o objetivo de incrementar a produção e a qualidade dos frutos.

Palavras-chave: Adubação foliar. Qualidade de frutos. Cultivares de macieira.

ABSTRACT

SA, Alessandra Aparecida. **Influence of boron application on quality and yield of apples**. 2011. 55f. Dissertation (Mestrado em Manejo do Solo) – Universidade do Estado de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias, Lages, SC. 2011.

Boron (B) is normally applied in apples orchards all around the world. In Brazil, however, there are no field trials evaluating the necessity of B addition to this specie. The aim of this study was to evaluate the effect of foliar application of B at different stages of the growth cycle of the apple tree, and its association with the application of this nutrient in the soil, the fruit yield and quality nutritional and physiological apples. The experiment was carried out in São Joaquim / SC, during the growing seasons of 2010 and 2011, with the cultivars Imperial Gala and Fuji Suprema. Treatments consisted of a factorial design involving doses of B applied to the soil and times of B spraying to the plant. The experimental design was a complete randomized block with treatments arranged in a split-plot. In the main plot was allocated the times of foliar application [no application, application at the pink stage (0.3% boric acid) and at post-harvest (0.6% boric acid)]; in the subplots were allocated the rates of B in the soil (0, 2.5 and 5.0 kg ha⁻¹ borax). It was determined the germination of the pollen grain, fruit set and fruit yield. In the pulp and in the leaves were determined the contents of Ca and B; in the soil, it was quantified the concentration of B. After harvesting, the fruits were evaluated for respiratory rates and ethylene production, maturity, soluble solids, acidity, skin coloration and texture attributes. The average results obtained in the two growing seasons (2010 and 2011) was subjected to analysis of variance and differences between treatment means were compared by Tukey test at 5% significance level. The application of B in the soil was more efficient than that sprayed in the plants to increase B content in the pulp, leaf and in the soil, however, it did not affect any of the physiological attributes related to quality of fruits in any of the cultivars. The foliar application of B increased fruit maturity, decreased the acidity, but did not affect the soluble solids and firmness. The color, the respiration rate and ethylene production in fruits of both cultivars were not affected by the application of B, regardless of form or rate. The germination of the pollen grain was affected only in the 'Imperial Gala', which reduced with foliar application of B during bloom. The fruit set in 'Imperial Gala' was not affected by B application, however, in the 'Fuji Suprema' it decreased the fruit set when applied at flowering. The fruit yield was not affected by the application of B, regardless of time, form or rate in any cultivar. Preliminary results indicate no need to use B in apple orchards in Southern Brazil with the objective of increasing fruit yield.

Keywords: Foliar fertilization. Fruit quality. Apple cultivars

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 -	Concentrações médias de B no solo das cultivares Imperial Gala e Fuji Suprema em função das doses de B aplicadas no solo. Médias de três repetições.....	27
Figura 2 -	Concentrações médias de B no solo das cultivares Imperial Gala e Fuji Suprema em função das épocas de aplicação foliar de B. Barras seguidas de mesma letra não diferem pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). Médias de três repetições.....	28
Figura 3 -	Teores médios de Ca na folha da cultivar Fuji Suprema em função das doses de B aplicadas no solo e das épocas de aplicação foliar de B. Barras seguidas de mesma letra não diferem pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). Médias de três repetições.....	29
Figura 4 -	Teores médios de B na folha da cultivar Imperial Gala em função das doses de B aplicadas no solo. Médias de três repetições.....	31
Figura 5 -	Teores médios de B na folha da cultivar Fuji Suprema em função das doses de B aplicadas no solo. Médias de três repetições.....	31
Figura 6 -	Teores médios de B na folha da cultivar Imperial Gala em função das épocas de aplicação foliar de B. Barras seguidas de mesma letra não diferem pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). Médias de três repetições.....	32
Figura 7 -	Teores médios de B na folha da cultivar Fuji Suprema em função das épocas de aplicação foliar de B. Barras seguidas de mesma letra não diferem pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). Médias de três repetições.....	33
Figura 8 -	Teores médios de B na polpa fresca da cultivar Imperial Gala em função das doses de B aplicadas no solo. Médias de três repetições.....	37

Figura 9 - Teores médios de B na polpa fresca da cultivar Imperial Gala em função das épocas de aplicação foliar de B. Barras seguidas de mesma letra não diferem pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). Médias de três repetições.....

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 -	Teor de Ca na folha da cultivar Imperial Gala de acordo com a adição de B no solo e das épocas de aplicação foliar desse nutriente. Média de três repetições.....	29
Tabela 2 -	Teor de Ca na polpa fresca da cultivar Imperial Gala em função da adição de B no solo e das épocas de aplicação foliar desse nutriente. Médias de três repetições.....	34
Tabela 3 -	Teor de Ca na polpa fresca da cultivar Fuji Suprema em função da adição de B no solo e das épocas de aplicação foliar desse nutriente. Médias de três repetições.....	35
Tabela 4 -	Teor de B na polpa fresca da cultivar Fuji Suprema em função da adição de B no solo e das épocas de aplicação foliar desse nutriente. Médias de três repetições.....	36
Tabela 5 -	Índice iodo-amido, acidez titulável, sólidos solúveis, firmeza de polpa e atributos de textura em maçãs das cultivares Imperial Gala e Fuji Suprema, em função das épocas de aplicação foliar de B. Médias de três repetições.....	39
Tabela 6 -	Índice iodo-amido, acidez titulável, sólidos solúveis, firmeza de polpa e atributos de textura em maçãs das cultivares Imperial Gala e Fuji Suprema, em função da adição de B no solo. Médias de três repetições.....	40
Tabela 7 -	Cor da epiderme em maçãs das cultivares Imperial Gala e Fuji Suprema, em função das épocas de aplicação foliar de B. Médias de três repetições.....	41
Tabela 8 -	Cor da epiderme em maçãs das cultivares Imperial Gala e Fuji Suprema, em função da adição de B no solo. Médias de três repetições.....	42

Tabela 9 - Taxa respiratória (após sete dias de exposição dos frutos a 20°C) e produção de etileno em maçãs das cultivares Imperial Gala e Fuji Suprema, em função das épocas de aplicação foliar de B. Médias de três repetições.....	43
Tabela 10 - Taxa respiratória (após sete dias de exposição dos frutos a 20°C) e produção de etileno em maçãs das cultivares Imperial Gala e Fuji Suprema, em função da adição de B no solo. Médias de três repetições.....	43
Tabela 11 - Germinação do grão de pólen, frutificação efetiva e rendimento de maçãs das cultivares Imperial Gala e Fuji Suprema, em função das épocas de aplicação foliar de B. Médias de três repetições.....	46
Tabela 12 - Germinação do grão de pólen, frutificação efetiva e rendimento de maçãs das cultivares Imperial Gala e Fuji Suprema, em função da adição de B no solo. Médias de três repetições.....	47

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO GERAL	12
2	REFERENCIAL TEÓRICO	14
2.1	A CULTURA DA MACIEIRA	14
2.2	BORO	14
2.2.1	Disponibilidade de B no solo	14
2.2.2	Absorção de B pelas plantas	15
2.2.3	Mobilidade do B nas plantas	17
2.2.4	Importância do B	18
3	MATERIAL E MÉTODOS	21
3.1	DESCRIÇÃO DO LOCAL.....	21
3.2	CARACTERÍSTICA DOS TRATAMENTOS	21
3.3	ANÁLISE QUÍMICA DO SOLO	22
3.4	GERMINAÇÃO DO GRÃO DE PÓLEN.....	22
3.5	FRUTIFICAÇÃO EFETIVA	22
3.6	ANÁLISE QUÍMICA DAS FOLHAS	23
3.7	RENDIMENTO DE FRUTOS	23
3.8	ANÁLISE FISIOLÓGICA DOS FRUTOS	23
3.9	ANÁLISE QUÍMICA DA POLPA	25
3.10	ANÁLISE ESTATÍSTICA	25
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	26
4.1	EFEITO DA APLICAÇÃO DE B	26
4.1.1	No solo	26
4.1.2	Nas folhas	28
4.1.3	Na polpa	33
4.2	EFEITO DA APLICAÇÃO DE B NAS PROPRIEDADES FISIOLÓGICAS DOS FRUTOS	38
4.3	EFEITO DA APLICAÇÃO DE B NOS ATRIBUTOS DE PRODUTIVIDADE ..	44
5	CONCLUSÕES	48
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	49

1 INTRODUÇÃO GERAL

O Brasil é responsável por uma produção média de 1,2 milhões de toneladas de maçãs por ano, o que posiciona o país como 12º no ranking dos países produtores de maçã de acordo com a FAO (2010).

O desenvolvimento vegetativo e produtivo do pomar de macieira, a incidência de pragas e doenças e a qualidade de fruto são reflexos também de estado nutricional das plantas, o que define a importância do conhecimento do estado nutricional do pomar, tanto para minimizar estes efeitos como para racionalizar a aplicação de fertilizantes. Entre os micronutrientes, o boro (B) merece destaque na nutrição da macieira, uma vez que tem sido observado a ocorrência de deficiência desse nutriente. O B é indispensável no crescimento vegetativo, na evolução dos botões florais, na floração e na frutificação efetiva. Na macieira, a presença do B relaciona-se com a frutificação efetiva: quando seu teor é insuficiente, as flores murcham, morrem, mas ficam na árvore, num fenômeno denominado de aborto floral. As carências em B manifestam-se, sobretudo durante o crescimento e a floração (polinização e frutificação efetiva dos frutos), aumentando os riscos de “bitter pit”.

Alguns distúrbios fisiológicos provocados pela deficiência de cálcio (Ca) podem ser intensificados ainda mais pela falta de B. Segundo Marschner (1995), isto acontece devido ao efeito sinérgico existente entre os dois elementos na realização de funções, tais como: integridade da membrana celular, estrutura da parede celular e absorção e translocação do Ca para a parte aérea. O B, por atuar sobre o desenvolvimento do tubo polínico e germinação do grão de pólen, pode melhorar a frutificação efetiva.

Os sintomas de deficiência de B refletem no crescimento da planta e na qualidade dos frutos (BRAMLAGE & THOMPSON, 1962), os quais, em condições severas de deficiência, podem apresentar rachaduras.

O B está presente na solução do solo, sob condições de acidez ($\text{pH} < 7$), principalmente na forma de ácido bórico não dissociado, altamente solúvel e facilmente permeável na membrana das células (MENGEL e KIRKBY, 1987). Os principais fatores que afetam a disponibilidade de B às plantas são a textura, o teor de matéria orgânica, o pH e a umidade do solo.

O B é aplicado em quase todas as regiões produtoras de maçã no mundo. No Brasil, inexistem trabalhos de campo avaliando a real necessidade da aplicação desse nutriente aos pomares. Como o excesso de B pode comprometer a qualidade dos frutos, o manejo adequado desse nutriente nos pomares brasileiros deve ser melhor conhecido. Não há dados mostrando a necessidade da aplicação do nutriente nas condições de solo e clima da região Sul do Brasil, nem tampouco informações suficientes sobre épocas, doses e formas de aplicação de B para a macieira.

O presente trabalho, portanto, teve por objetivo avaliar a eficiência da aplicação foliar de B em diferentes estágios do ciclo de crescimento da macieira, e sua associação com a aplicação desse nutriente via solo, no rendimento de frutos e na qualidade nutricional e fisiológica de maçãs da cultivar Imperial Gala e Fuji Suprema.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 A CULTURA DA MACIEIRA

A macieira (*Malus domestica* Borkh) pertence à família Rosaceae. Originária da Europa e da Ásia, sua exploração comercial no Brasil teve início na década de 60, através de grandes empresas atraídas por incentivos de políticas públicas. A produção nacional de maçã concentra-se nos Estados da região Sul, principalmente em Santa Catarina e Rio Grande do Sul. Esses dois Estados são responsáveis por mais de 95% da produção de maçãs do país.

Nos últimos anos, têm-se realizado esforços para melhorar a qualidade dos frutos comercializados e assim atender as exigências do mercado consumidor. Fatores como tipo de solo, local de produção, poda e nutrição mineral, influenciam na qualidade pós-colheita dos frutos.

2.2 BORO

Os micronutrientes são elementos essenciais para o crescimento das plantas e se caracterizam por serem absorvidos em pequenas quantidades, da ordem de alguns miligramas por quilograma de matéria seca da planta. Nas culturas, de forma geral, entre os micronutrientes, as deficiências de B e de zinco são as que ocorrem em maior frequência (GUPTA, 1979; BLEVINS & LUKASZEWSKI, 1998). Bennett (1996) observou que em macieiras, ameixeiras e pereiras, as deficiências de B são mais frequentes.

2.2.1 Disponibilidade de B no solo

Diversos fatores influenciam a disponibilidade de B do solo. Sua fixação pelo solo depende do pH, sendo máxima em valores de pH entre 8 e 9. O B pode existir no solo na forma de ânion ou de ácido bórico, apresentando o mesmo comportamento que os cátions em relação à acidez, pois sua concentração na solução diminui com o aumento do pH do solo (ERNANI, 2008). A textura do solo também tem influência, já que em solos de textura arenosa o B pode ser facilmente lixiviado, enquanto naqueles de textura argilosa sua mobilidade é praticamente nula

(DECHEN, 2006). A matéria orgânica do solo é a principal fonte de B para as plantas. Assim, solos com baixo teor de matéria orgânica e/ou com baixa taxa de mineralização da matéria orgânica podem apresentar concentração de B na solução do solo insuficiente para as plantas (PRADO, 2008). A taxa de decomposição orgânica é afetada pelos parâmetros que influenciam a atividade microbiana, dentre os quais se destacam o pH, a temperatura, o suprimento de oxigênio, a disponibilidade de nutrientes e a umidade do solo. Os microrganismos são beneficiados pela inexistência de Al tóxico, por temperaturas entre 25 e 35°C, e por umidade entre 60 e 80% do teor de água retido na capacidade de campo (ERNANI, 2008).

2.2.2 Absorção de B pelas plantas

A absorção de B pelas plantas pode ocorrer tanto pelo sistema radicular quanto pelas folhas. Entretanto, a raiz é o principal órgão da planta para a absorção de nutrientes. No entanto, para que o nutriente seja absorvido pela raiz é necessário que ele entre em contato com a mesma. O contato B-raiz ocorre basicamente em razão do fluxo de massa, que é afetado pela taxa transpiratória da planta. O B é absorvido via raízes nas formas H_3BO_3 , $H_2BO_3^-$ e $B(OH)_4^-$, contudo, a maior absorção ocorre na forma de H_3BO_3 (OERTLI & GRGUREVIC, 1975) e como a absorção independe da temperatura e não é afetada por inibidores da respiração, infere-se que o B seja absorvido por um processo passivo (PRADO, 2008). 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 fatores relacionados ao solo, o pH é o que tem maior influência na absorção do B pelas plantas (HU & BROWN, 1997).

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.

Da mesma forma que as células das raízes, as células das folhas absorvem os elementos minerais do apoplasto e da membrana plasmática, estando sujeito aos mesmos fatores externos, como concentração do nutriente, valência do íon e fatores internos, como atividade metabólica (MATTOS JUNIOR et al., 2005). 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 entrada dos nutrientes pelas folhas é influenciada por inúmeros fatores, alguns relacionados com a planta (superfície foliar, presença de pêlos, hidratação da cutícula, idade da folha, espécie e variedade), e outros com a composição da solução (pH, concentração do nutriente, íons acompanhantes e molhantes), e ainda com fatores ambientais (umidade do solo, umidade atmosférica, temperatura e luminosidade) (MALAVOLTA et al., 1997).

A quantidade do nutriente absorvida pode ser afetada pelo local de aplicação do B. Nesse sentido, Boaretto (2007) estudou a aplicação de $1,0 \text{ kg ha}^{-1}$ de B no solo e na folha de plantas de citrus em produção e verificou que a quantidade absorvida foi de 65 e 17 g ha^{-1} de B, para aplicação no solo e na folha, respectivamente. Nesse mesmo sentido, Pavan (1997) trabalhou com macieira, cultivar Gala, e constatou que o aumento do teor de B no solo depende do tipo de fertilizante e da época de amostragem após a aplicação. Os máximos aumentos de B nas folhas ocorreram durante os dois primeiros anos, diminuindo nos anos seguintes. Como esperado, devido à sua maior solubilidade, o ácido bórico foi mais efetivo que o bórax no primeiro ano, com tendências de igualarem-se a partir do segundo ano.

Para diversas culturas perenes, a pulverização foliar com micronutrientes é uma rotina, aproveitando-se a aplicação de pesticidas (ABREU & RAIJ, 1997). Vários fatores contribuíram para o interesse e uso da adubação foliar com micronutrientes, sendo as necessidades totais de algumas culturas frequentemente atendidas com apenas uma aplicação (LOPES & SOUZA, 2001). Em aplicações foliares, a fonte de B mais recomendada é o ácido bórico, que, devido à reação ácida, é compatível com a maioria dos defensivos agrícolas (QUAGGIO & PIZA JUNIOR, 2001).

2.2.3 Mobilidade do B nas plantas

O conhecimento do processo de redistribuição de nutrientes é útil para o manejo adequado de uma determinada cultura agrícola, pois a mobilidade de nutrientes no floema influencia os processos de diagnóstico e de amostragem exigidos para a avaliação do estado nutricional e a expressão de deficiência e de toxicidade. Por muitos anos foi consensual que o B era praticamente imóvel em plantas, por ser frequentemente encontrado em concentrações mais elevadas em partes velhas das mesmas e porque os sintomas de carência se manifestavam primeiro nas partes mais novas. Entretanto, trabalhos recentes mostram que a distribuição do B ocorre em algumas espécies de plantas.

Brown e Hu (1996) obtiveram resultados contrários ao conceito da imobilidade de B no floema das plantas. Eles estudaram seis espécies de árvores em campo, com folhas tratadas com ^{10}B , e verificaram que o B é móvel no floema de espécies que utilizam polióis tais como sorbitol, dulcitol e manitol (açúcares simples de baixo peso molecular) como metabolitos secundários. Nestas espécies, o complexo poliol-B-poliol é formado nos tecidos fotossintéticos e é transportado no floema para drenos ativos, como meristemas vegetativos ou reprodutivos, suprindo a necessidade de nutrientes em áreas de crescimento tais como folhas jovens, frutos e sementes. Em espécies ricas em sorbitol, o ^{10}B foi transportado das folhas tratadas aos frutos adjacentes, especificamente para os tecidos de frutos que se desenvolveram durante o período experimental. Nessas espécies, as concentrações de B foram similares em folhas jovens e velhas, e o tecido dos frutos apresentou as maiores concentrações. Já nas espécies pobres em sorbitol, as concentrações de B foram maiores nas folhas velhas do que nas novas, sendo a ocorrência deste nutriente menor nos frutos, comprovando que em espécies que não produzem poliol, o B é imóvel. Segundo Brown e Shelp (1997) a mobilidade do B no floema apresenta bastante variação entre as espécies de plantas. Esses autores comentam que o sorbitol é característico de espécies da família Rosaceae e dos gêneros *Prunus*, *Malus* e *Pyrus*, respondendo por 60-90% do carbono exportado da folha.

Como a redistribuição ocorre como complexo B-poliol, o movimento desse nutriente nas espécies produtoras do sorbitol é regulado pelo movimento dos carboidratos e não pelo suprimento de B (BELLALOUÏ et al., 1999). Por outro lado, isso pode ser prejudicial com respeito à toxicidade, uma vez que altas

concentrações serão levadas ao meristema através do co-transporte do complexo B-poliol.

2.2.4 Importância do B

O B é o único nutriente que teve sua essencialidade determinada pelo método indireto (MARSCHNER, 1997). Entretanto, atualmente é aceito que o B também satisfaz o critério direto, pois é ativador de várias enzimas e atua como constituinte da parede celular. Segundo Epstein & Bloom (2006), as principais funções do B estão associadas com a estrutura da parede celular e com substâncias pécticas associadas a ela, especialmente a lamela média.

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, metabolismo de carboidratos, metabolismo de RNA, metabolismo de ácido indolacético, metabolismo de compostos fenólicos, metabolismo de ascorbato, fixação de nitrogênio, e diminuição da toxicidade de alumínio (Marschner, 1995). No entanto, 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”.

Ruiz et al. (2006) observaram que a toxidez de Al pode ser minimizada pelo efeito de B nas enzimas relacionadas ao metabolismo da glutathione (GSH), que é considerado mecanismo importante das plantas em aliviar estresse. Dessa forma, o B estimula a biossíntese do GSH nas folhas, e esse é transportado para as raízes, reduzindo a ação do oxigênio ativo, normalmente produzido pela toxidez de Al. Sotiropoulos et al. (2006) acrescentaram ainda que o aumento da concentração de B no meio de cultura proporcionou incremento na atividade de enzimas (peroxidase, catalase, e dismutase do superóxido) nas folhas de maçã.

Matoh (1997) constatou que o B pode ocorrer nas plantas superiores tanto em formas solúveis em água (localizado na região apoplástica na forma de ácido bórico) quanto em formas insolúveis. Sob condições fisiológicas normais, e na ausência de interações com biomoléculas, o B existe como ácido bórico ou ânion borato (POWER e WOODS, 1997). Kobayashi et al. (1997) propuseram que a localização do B na célula parece ser um pré-requisito para a identificação das suas funções.

O B desempenha um papel importante, embora pouco compreendido, na fase reprodutiva, e assim, o suprimento adequado nessa fase é crucial para a produtividade das culturas. Evidências sugerem que o B exerce um papel crítico no florescimento e produção de sementes, e que sua deficiência em curto prazo (como resultado de secas, baixa transpiração ou a um rápido crescimento da planta) pode resultar numa diminuição na produção (BROWN e HU, 1996). Alguns pesquisadores têm demonstrado que aplicação foliar imediatamente antes do florescimento aumenta a concentração na inflorescência e estabelecimento subsequente de frutos em espécies de árvores, em condições de campo (NYOMORA et al., 1999).

A deficiência de B causa muitas mudanças fisiológicas e bioquímicas, incluindo alterações na estrutura da parede celular, o funcionamento e integridade da membrana, mudanças na atividade enzimática e produção alterada de uma série de metabólitos da planta (GOLDBACH, 1997). Moraes et al. (2002) demonstraram que a carência de B promove alterações na síntese dos elementos que compõe a parede celular (pectina, hemicelulose e precursores da lignina). Assim, nas plantas deficientes em B, há irregularidades na deposição das substâncias cimentantes nas células do câmbio, podendo causar colapso do caule.

Malavolta et al. (1997) observaram que a produção de calose, obstruindo os tubos crivados, com conseqüente efeito adverso no transporte da seiva elaborada, pode ser decorrente da deficiência de B. Sintomas de carência, tais como menor germinação do grão de pólen e diminuição no crescimento do tubo polínico, encurtamento dos internódios, frutos e folhas menores e deformadas, entre outros, mostram o importante papel do B na vida das plantas. A insuficiência de B nas plantas ocasiona uma série de sintomas anatômicos incluindo a inibição do crescimento em extensão e crescimento apical, necrose dos brotos terminais, rachadura e quebra de caules e pecíolos, abortamento dos botões florais e queda dos frutos (GOLDBACH, 1997).

Hu e Brown (1994) verificaram que o B está principalmente localizado na parede celular e a participação do nutriente é fortemente dependente da disponibilidade do B celular. Em condições limitantes de B, a quantidade do nutriente presente na parede celular varia de 95 a 96% da quantidade de B da 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 monocotiledôneas 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.

De todos os nutrientes minerais presentes no reino vegetal, o papel do B é o menos entendido. 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 na planta (MARSCHNER, 1997).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 DESCRIÇÃO DO LOCAL

O experimento localizou-se no município de São Joaquim-SC (28° 11' 21,64" S, 49° 59' 34,32" W – altitude de aproximadamente de 1215 metros). O município apresenta Clima Subtropical com verões brandos (Cfb) segundo a classificação de Köppen (EMBRAPA, 2004), com uma temperatura média anual de 13,2°C e precipitação média anual de 1713 mm. O experimento foi conduzido durante as safras de 2010 e 2011, em um pomar comercial com as cultivares Imperial Gala e Fuji Suprema sobre porta enxerto Marubakaido com filtro EM-9, implantado em 1999 em um Cambissolo Húmico. Por ocasião da implantação do pomar, foi aplicado 30 t ha⁻¹ de calcário, visando aumentar o pH para 6,5, e 30 kg ha⁻¹ de B, assim como os demais nutrientes exigidos, de acordo com a necessidade da cultura. O solo apresentava as seguintes características iniciais: pH em água: 6,3; matéria orgânica = 6,3%; B = 0,4 mg kg⁻¹; Ca = 21,5 cmol_c kg⁻¹; Mg = 11 cmol_c kg⁻¹; P = 9 mg dm⁻³ e K = 166 mg dm⁻³. As áreas experimentais receberam o mesmo manejo recomendado para pomares comerciais (EPAGRI, 2002).

3.2 CARACTERÍSTICA DOS TRATAMENTOS

O delineamento experimental foi de blocos ao acaso, com tratamentos arranjados em parcelas subdivididas, com três repetições, sendo que cada parcela continha cinco plantas úteis, espaçadas em 1,5 m na fila e 5 m entre as filas. Os tratamentos consistiram de uma combinação fatorial de aplicações de B no solo e nas folhas. A parcela principal abrigou as épocas de aplicação foliar de B: pulverizações anuais na fase de botão rosado e em pós-colheita, nas concentrações, respectivamente de 0,3% e 0,6% de ácido bórico, além de uma testemunha, onde não foi aplicado B. Na sub-parcela, foram distribuídas as doses de B aplicadas no solo: 0; 2,5 e 5,0 kg ha⁻¹ de bórax. Estas foram aplicadas a cada dois anos, sempre na faixa de projeção da copa das plantas. Os tratamentos foram aplicados desde 2002. No entanto, as avaliações foram realizadas somente nas safras 2010 e 2011.

3.3 ANÁLISE QUÍMICA DO SOLO

A coleta de amostras de solo foi realizada em 2010, através da utilização de trado holandês, numa profundidade de 0 a 20 cm, em quatro pontos distintos dentro de cada parcela experimental. Após a coleta, as amostras foram imediatamente secadas ao ar, destorroadas, moídas e passadas em peneira com malha de 2 mm de diâmetro e acondicionadas em recipientes plásticos. Foram armazenadas à sombra e à temperatura ambiente até a realização das análises. Foi determinado a concentração de B seguindo a metodologia descrita por Tedesco et al. (1995).

3.4 GERMINAÇÃO DO GRÃO DE PÓLEN

Os grãos de pólen foram obtidos a partir de anteras de 50 flores de cada cultivar avaliada, coletadas a campo, em estágio de balão. As anteras foram depositadas em pequenas bandejas de papel, em estufa, cuja temperatura permaneceu em torno de 23°C, durante 72 horas.

O meio de cultura utilizado constituiu-se de 10g de sacarose e 1g de ágar para 100 ml de água destilada, a qual foi aquecida para total diluição do ágar. Ainda quente, o meio foi distribuído em lâminas adaptadas com um anel de PVC, de 21 mm de diâmetro e 3 mm de altura. O pólen foi polvilhado sobre o meio frio, com um pincel. A seguir as lâminas foram colocadas em estufa tipo BOD, com temperatura controlada de 24°C. Após três horas, foi realizada a contagem de grãos de pólen germinados, através da utilização de um microscópio, sendo considerados como germinados aqueles que apresentassem tubo polínico de comprimento igual ou superior ao diâmetro do próprio pólen. Foram utilizadas três repetições, sendo as parcelas constituídas de contagens de 100 grãos de pólen.

3.5 FRUTIFICAÇÃO EFETIVA

A frutificação efetiva foi determinada em duas etapas. Primeiramente, determinou-se o número de cachos florais logo após a plena florada, em ramos pré-selecionados e marcados de cada planta útil da parcela experimental. Após 15 dias, foi contado o número de frutos nos mesmos ramos que haviam sido contados

anteriormente. Dessa maneira, determinou-se a frutificação efetiva através da seguinte fórmula: frutificação efetiva (%) = (nº de frutos / nº de cachos florais) x 100.

3.6 ANÁLISE QUÍMICA DAS FOLHAS

Para a determinação da composição mineral (Ca e B), as folhas foram amostradas no período de 15 de janeiro a 15 de fevereiro de cada safra, conforme recomendado para a cultura da macieira nos Estados de Santa Catarina e Rio Grande do Sul (Comissão de Química e Fertilidade do Solo, 2004).

Após a coleta, as folhas foram enxaguadas com água destilada, secadas em estufa a 65°C e moídas. Uma subamostra foi submetida à digestão úmida na presença de ácido sulfúrico concentrado e água oxigenada, conforme descrito por Tedesco et al (1995). Neste extrato determinou-se Ca por espectrofotometria de absorção atômica. Determinou-se B pelo método de azometina H, após incineração de 0,3 g de amostra em forno mufla, a 550°C.

3.7 RENDIMENTO DE FRUTOS

Avaliou-se o rendimento a partir da contagem do número total de frutos por planta, o qual foi multiplicado pelo peso médio de 50 frutos amostrados aleatoriamente por parcela.

3.8 ANÁLISE FISIOLÓGICA DOS FRUTOS

Para a análise fisiológica dos frutos, 15 frutos de cada tratamento foram colhidos e avaliados primeiramente quanto a taxas respiratórias e de produção de etileno, após sete dias. Além dessas avaliações, foram também quantificados a acidez titulável (AT), sólidos solúveis (SS), atributos de textura (firmeza de polpa, força para penetração de casca e da polpa), cor da epiderme (h^o e "lightness") e estágio de maturação dos frutos.

As taxas respiratórias e de produção de etileno foram quantificadas colocando-se sete frutos de cada amostra em um recipiente hermético, com o volume de 2.300 mL. A taxa respiratória foi obtida pela diferença de concentração de CO₂ no interior do recipiente, imediatamente após o seu fechamento e depois de 90

minutos. Alíquotas de gás (1 mL) foram retiradas dos recipientes através de um septo de borracha e injetadas em um cromatógrafo à gás, equipado com uma coluna Porapak N[®] de 3m de comprimento (80-100 mesh), metanador e detector de ionização de chama. As temperaturas da coluna, detector, metanador e injetor foram de 45°C, 120°C, 300°C e 110°C, respectivamente. Os fluxos de nitrogênio, hidrogênio e ar sintético foram de 70, 30 e 300 mL min⁻¹, respectivamente. Os valores da atividade respiratória (nmol de CO₂ kg⁻¹ s⁻¹) e da taxa de produção de etileno (µL de C₂H₄ kg⁻¹ h⁻¹) foram calculados através da fórmula descrita por Banks et al. (1995).

Uma amostra de 10 mL de suco foi extraída de 10 frutos para determinação do teor de SS (°Brix) através de um refratômetro. Para determinação da acidez titulável, o suco foi diluído com água destilada na proporção de 1:9 e titulado com solução NaOH 0,1 N até pH 8,1.

A firmeza de polpa (N) foi determinada usando-se um penetrômetro manual, o qual mediu a resistência da polpa à inserção de um êmbolo com diâmetro de 11 mm, na região equatorial dos frutos, em dois lados opostos, após remoção de uma pequena porção da epiderme.

Os atributos de textura foram analisados com um texturômetro eletrônico TAXT-plus[®], em termos de forças necessárias para a penetração da epiderme e da polpa. Para a quantificação da força necessária para o rompimento da epiderme e para a penetração na polpa, foi utilizada ponteira modelo PS2, com 2 mm de diâmetro, a qual foi introduzida na polpa a uma profundidade de 10 mm com velocidades pré-teste, teste e pós-teste de 30, 5 e 30 mm s⁻¹, respectivamente.

O valor do ângulo 'hue' (h°) e 'lightness' (L) da epiderme foi determinado com um colorímetro Minolta CR300, sendo que as leituras foram realizadas nos dois lados do fruto. O h° expressa a intensidade da cor vermelha e define a coloração básica, sendo que 0° = vermelho, 90° = amarelo e 180° = verde, ou seja, quanto maior o valor menor a intensidade de cor vermelha da epiderme. O valor de ' L ' expressa o brilho da coloração, variando de 0° = preto a 100° = branco.

A maturidade dos frutos foi determinada através do teste de iodo-amido, por meio da comparação do escurecimento da metade peduncular dos frutos, tratada com uma solução de iodo, em escala de 1 a 5. Onde 1 indica o teor máximo de amido e 5 representa o amido totalmente hidrolisado.

3.9 ANÁLISE QUÍMICA DA POLPA

Para a análise química, amostras de 10 frutos por parcela foram coletadas no momento da colheita comercial dos mesmos. No laboratório, os frutos foram lavados com água destilada. As sub-amostras foram constituídas de duas frações longitudinais triangulares, na forma de cunha, com aproximadamente 1 cm de largura na parte externa do fruto, incluindo a epiderme, que foram processadas em uma multiprocessadora, coletando-se o suco. Em seguida, polpa, casca e suco foram homogeneizados em um misturador elétrico. Para determinação de Ca, pesou-se 5 g da amostra em cadinho de porcelana com posterior digestão em mufla ajustada a 600°C, por 4 horas. Posteriormente, adicionou-se 15 mL de ácido clorídrico (1,8 N), formando o extrato original. O Ca foi determinado através de espectrofotometria de absorção atômica. O B foi determinado pelo método de azometina H, após incineração de 20 g de polpa fresca em forno mufla a 550°C.

3.10 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Os dados médios das duas safras foram submetidos à análise de variância, utilizando o programa SAS. Quando houve significância estatística, as médias dos tratamentos foram comparadas pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 EFEITO DA APLICAÇÃO DE B

4.1.1 No solo

A concentração de B no solo aumentou com o aumento da dose aplicada do nutriente, tanto na 'Imperial Gala' quanto na 'Fuji Suprema' (Figura 1). A adição de 5 kg ha⁻¹ de B incrementou a concentração de B no solo em aproximadamente 260% em relação à testemunha, no pomar de 'Gala', passando de 0,5 para 1,8 mg kg⁻¹. No pomar de 'Fuji Suprema', a concentração de B no solo aumentou de 0,5 mg kg⁻¹ na testemunha para 1,5 mg kg⁻¹ na maior dose adicionada (5 kg ha⁻¹).

Pavan (1997) avaliou o efeito da adição de fontes de B a um pomar de macieira implantado sobre um Cambissolo do Estado do Paraná. Ele verificou que a aplicação de 9 g de B por árvore aumentou o B do solo de 0,2 mg kg⁻¹, na testemunha, para 0,45 mg kg⁻¹ pela aplicação de bórax e para 0,9 mg kg⁻¹ pela aplicação de ácido bórico. A diferença nos valores encontrados entre as fontes de B deve-se principalmente a maior solubilidade do ácido bórico em relação ao bórax. Quaggio et al. (2003) demonstraram que a adição de 6 kg ha⁻¹ de ácido bórico, parcelado em três aplicações anuais, num Latossolo Vermelho-Escuro de textura média, elevou a concentração de B no solo de 0,3 mg kg⁻¹ na testemunha para 1,7 mg kg⁻¹, com reflexos significativos também no incremento do teor do nutriente nas folhas de laranjeira Pêra. Para a macieira, estima-se que a mínima concentração de B no solo para uma ótima produção deve estar entre 0,5 e 1,0 mg kg⁻¹.

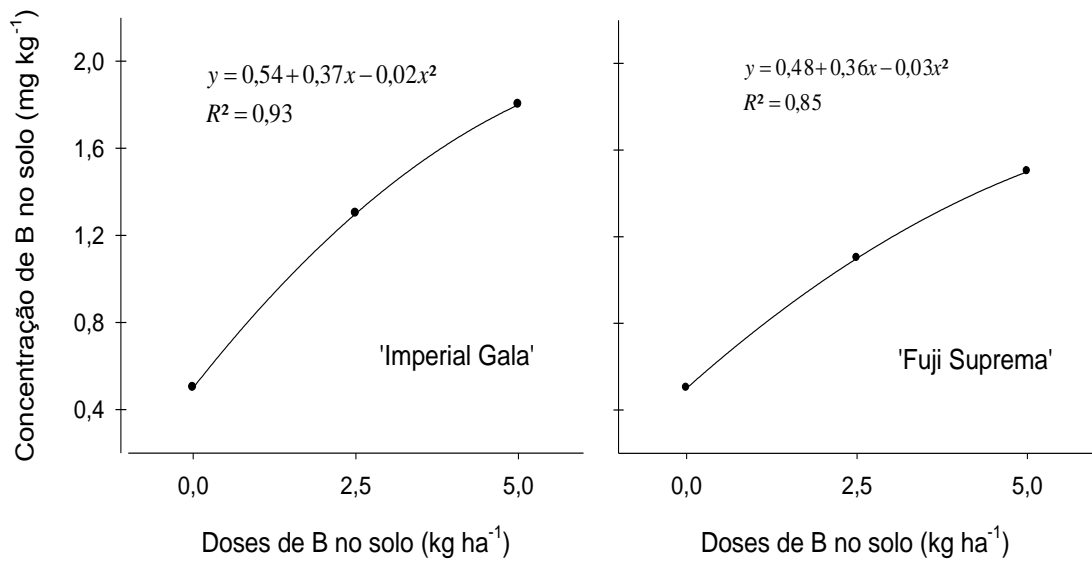


Figura 1: Concentrações médias de B no solo das cultivares Imperial Gala e Fuji Suprema em função das doses de B aplicadas no solo. Médias de três repetições.

Dentre os micronutrientes, o B (H_3BO_3 e H_4BO_4^-) é um dos elementos que fica retido muito fracamente nos pontos de troca, adsorção eletrostática e, em geral, não formam compostos no solo sob condição de baixo pH. Logo, grande parte do que se aplica no solo fica na solução e disponível de imediato às plantas, apresentando alta mobilidade no perfil, estando mais sujeito a lixiviação (MOTTA et al., 2007).

A concentração de B no solo não foi afetada pela aplicação foliar de B, independente da época em que foi aplicado, em ambas cultivares (Figura 2). Isto ocorreu porque a quantidade aplicada é muito pequena, e o que cai no solo não é suficiente para afetar significativamente a concentração de B no solo.

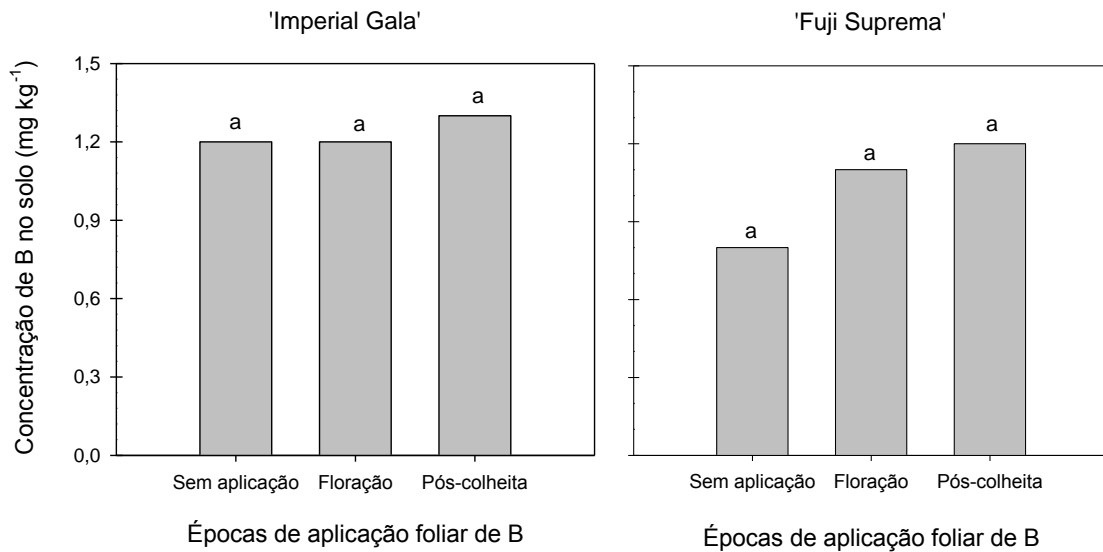


Figura 2: Concentrações médias de B no solo das cultivares Imperial Gala e Fuji Suprema em função das épocas de aplicação foliar de B. Barras seguidas de mesma letra não diferem pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). Médias de três repetições.

4.1.2 Nas folhas

Houve interação entre a aplicação de B no solo e foliar para o teor de Ca na folha da cultivar Imperial Gala (Tabela 1). Quando a dose de 5 kg ha^{-1} de B no solo foi aplicada na ausência da pulverização foliar do mesmo nutriente, o teor de Ca na folha foi maior se comparado a testemunha (ausência de aplicação de B). No entanto, quando essa mesma dose (5 kg ha^{-1}) foi aplicada associada à pulverização foliar realizada na pós-colheita, o teor de Ca na folha foi menor se comparado ao teor encontrado quando não houve aplicação foliar de B. Apesar disso, todos os teores foliares de Ca encontrados nesse experimento estão dentro da faixa tida como adequada para a cultura da macieira (entre 1,1 e 1,7%).

Tabela 1: Teor de Ca na folha da cultivar Imperial Gala de acordo com a adição de B no solo e das épocas de aplicação foliar desse nutriente. Média de três repetições.

Época de aplicação foliar de B	Doses de B no solo (kg ha ⁻¹)			Média
	0	2,5	5,0	
----- Ca na folha (%) -----				
Sem aplicação	1,3 B a	1,3 B a	1,5 A a	1,4
Floração	1,4 A a	1,3 A a	1,4 A ab	1,4
Pós-colheita	1,4 A a	1,4 A a	1,3 A b	1,3
Média	1,3	1,3	1,4	1,4
C.V. (%)	4,0	5,9	7,4	6,4

Médias seguidas de mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

A aplicação de B, independente da dose e da forma aplicada (ao solo ou por meio de pulverizações foliares), não influenciou o teor de Ca na folha da cultivar Fuji Suprema (Figura 3), cujo valor médio permaneceu em torno de 1,4%.

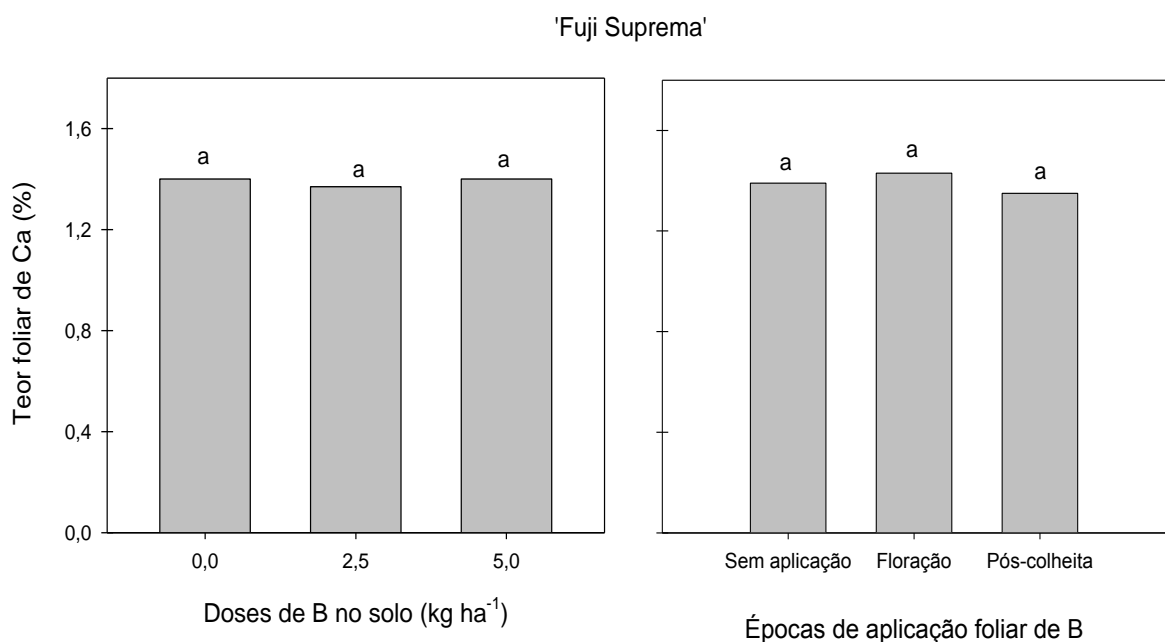


Figura 3: Teores médios de Ca na folha da cultivar Fuji Suprema em função das doses de B aplicadas no solo e das épocas de aplicação foliar de B. Barras seguidas de mesma letra não diferem pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). Médias de três repetições.

A concentração de B nas folhas das cultivares 'Imperial Gala' e 'Fuji Suprema' aumentou à medida que se aumentou a dose de B adicionada ao solo (Figuras 4 e 5). No entanto, não houve interação entre a época de aplicação foliar de B e sua adição no solo.

Na 'Imperial Gala', a adição de 5 kg ha^{-1} de ácido bórico no solo incrementou 20% o teor foliar de B em relação à testemunha, aumentando de 20,0 para $24,0 \text{ mg kg}^{-1}$ (Figura 4). Esse mesmo comportamento foi encontrado na 'Fuji Suprema', onde, o teor foliar de B passou de $25,5 \text{ mg kg}^{-1}$ na testemunha para $30,0 \text{ mg kg}^{-1}$ com a aplicação de 5 kg ha^{-1} de ácido bórico no solo, representando um aumento de 13% no teor inicial de B (Figura 5). Resultados semelhantes aos deste experimento foram obtidos por Pavan (1997) em Palmas - PR, qual verificou que a aplicação anual de ácido bórico no solo aumentou os teores deste elemento nas folhas de macieira cultivar 'Gala', variando de 21 mg kg^{-1} na testemunha para 53 mg kg^{-1} na maior dose (9 g de B/árvore). O maior incremento de B nas folhas no estudo conduzido por Pavan em relação ao nosso trabalho se deve, provavelmente, ao baixo teor de B disponível no solo paranaense no início do experimento ($0,2 \text{ mg kg}^{-1}$) relativamente ao B no solo do presente estudo, que era maior do que $0,5 \text{ mg kg}^{-1}$.

De acordo com Suzuki & Basso (2002) para que seja considerado um bom estado nutricional, as macieiras devem ter de 25 a 50 mg kg^{-1} de B nas folhas. Segundo essa recomendação, há deficiência de B na cultivar Imperial Gala, no entanto, no presente estudo não se observou sintomas visuais de deficiência de B, mesmo em concentrações inferiores a 25 mg kg^{-1} , dessa forma, podemos considerar que as plantas apresentavam em bom estado nutricional mesmo na ausência de adubação foliar, resultado que pode ser atribuído à adubação de implantação conforme as recomendações técnicas para essa cultura e ao alto teor de matéria orgânica do solo na região Sul do Brasil. De acordo com Basso & Suzuki (2001), em solos bem providos de matéria orgânica e com pH inferior a 7, normalmente não há problemas com a falta de B.

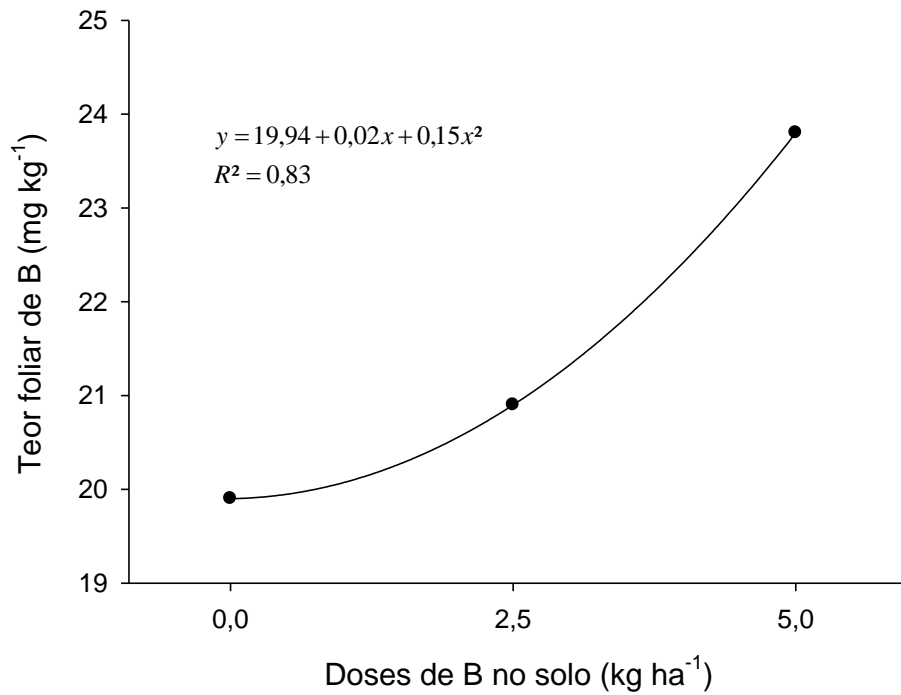


Figura 4: Teores médios de B na folha da cultivar Imperial Gala em função das doses de B aplicadas no solo. Médias de três repetições.

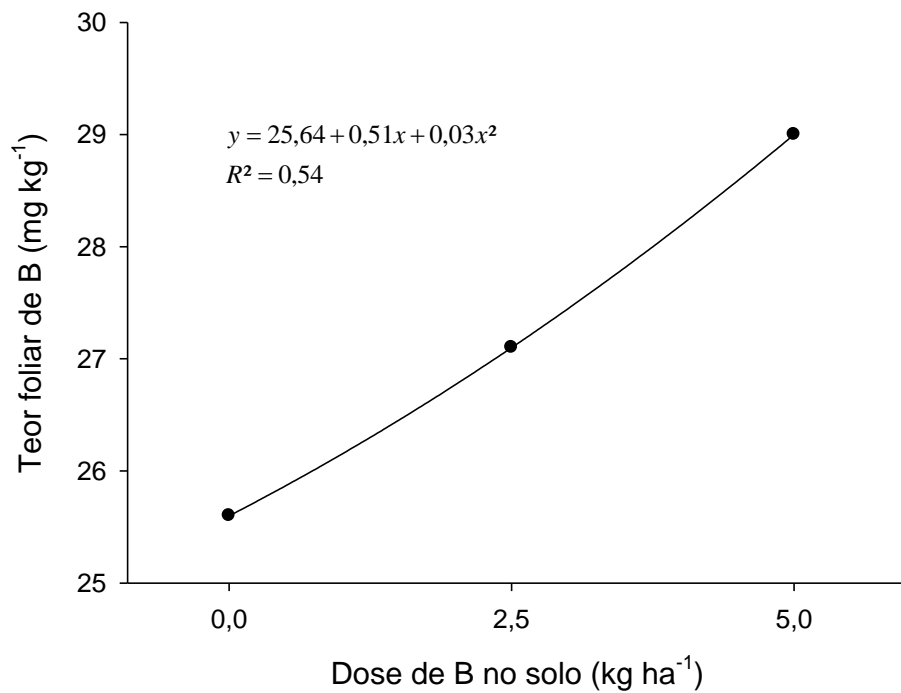


Figura 5: Teores médios de B na folha da cultivar Fuji Suprema em função das doses de B aplicadas no solo. Médias de três repetições.

A aplicação foliar de B aumentou o teor de B na folha da cultivar Imperial Gala, que passou de 20,0 para 22,0 mg kg⁻¹, independente da época aplicada (Figura 6). Khalifa et al. (2009) verificaram que duas pulverizações anuais de ácido bórico, na concentração de 0,1%, incrementaram os teores foliares de B em maçãs 'Anna' de 23 para 57 mg kg⁻¹. Porém, o experimento realizado por Khalifa foi conduzido num sistema de irrigação por gotejamento, o que favorece a absorção de B. Siebeneichler et al. (2002) verificaram que seis aplicações foliares de 0,3% de bórax foram suficientes para elevar os teores de B nas folhas de abacaxizeiro 'Pérola'. Canesin & Buzetti (2007) constataram que quatro pulverizações foliares de ácido bórico na dose de 110 g ha⁻¹ de B foram eficientes para elevar os teores de B nas folhas de pereira, o mesmo não ocorrendo em pinheira (*Annona squamosa* L.).

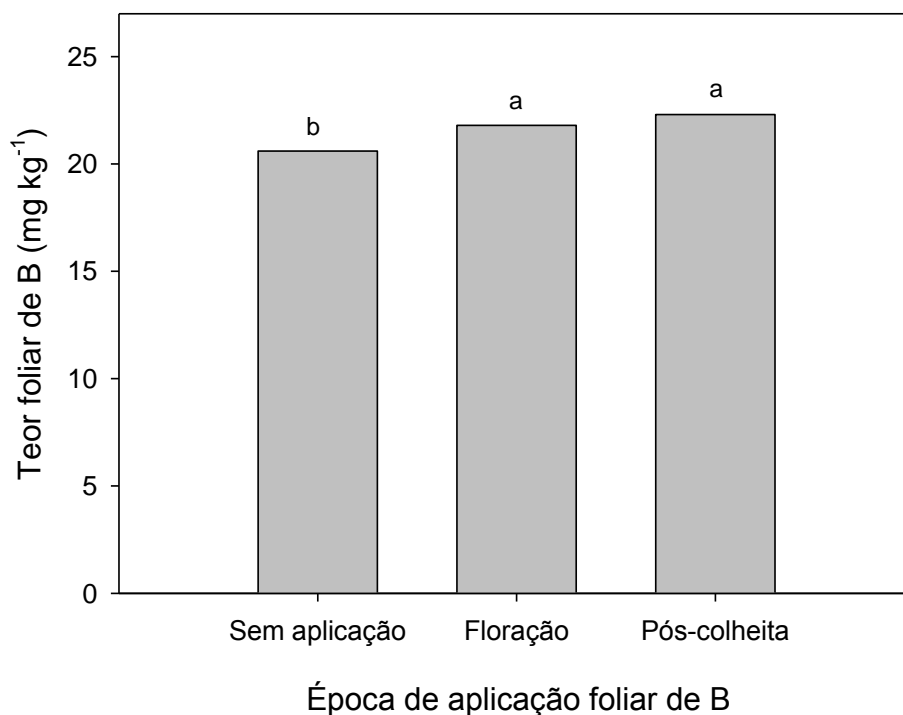


Figura 6: Teores médios de B na folha da cultivar Imperial Gala em função das épocas de aplicação foliar de B. Barras seguidas de mesma letra não diferem pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). Médias de três repetições.

Dentre as aplicações foliares de B, somente aquela realizada na pós-colheita foi eficiente para aumentar o teor de B nas folhas da 'Fuji Suprema', tendo aumentado de 26,0 mg kg⁻¹, na testemunha, para 30,0 mg kg⁻¹ pela pulverização em pós-colheita (Figura 7).

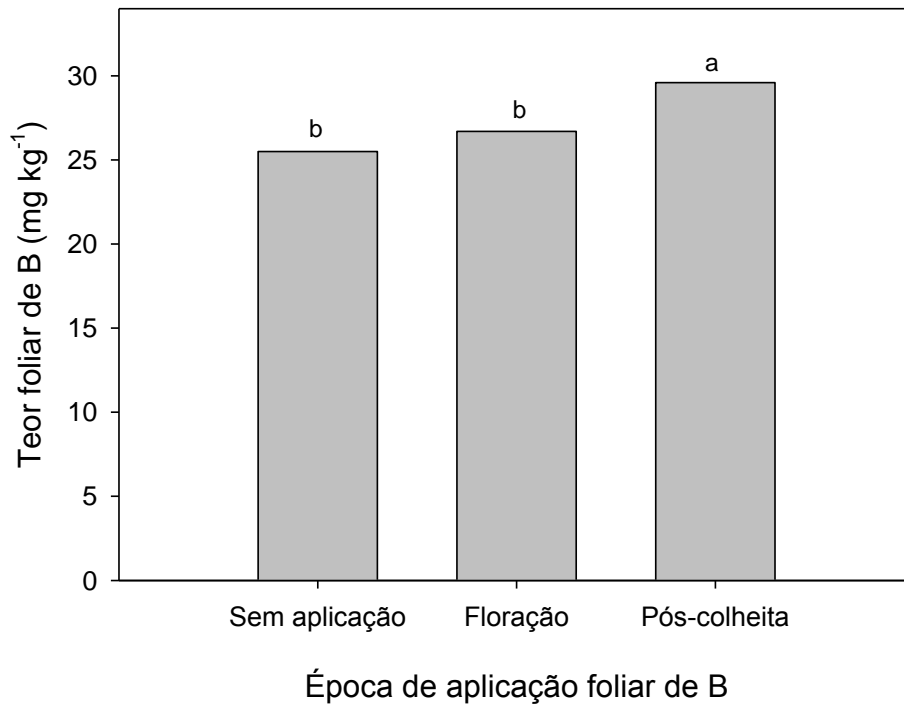


Figura 7: Teores médios de B na folha da cultivar Fuji Suprema em função das épocas de aplicação foliar de B. Barras seguidas de mesma letra não diferem pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). Médias de três repetições.

4.1.3 Na polpa

O teor de Ca na polpa dos frutos de maçã da cultivar 'Imperial Gala' foi influenciado pela aplicação de B, tendo ocorrido interação entre a aplicação de B no solo e a aplicação foliar desse nutriente (Tabela 2). Quando foram aplicados $2,5 \text{ kg ha}^{-1}$ de B no solo associado à pulverização foliar na pós-colheita, o teor de Ca na polpa da 'Imperial Gala' foi maior em relação à ausência de aplicação foliar nessa mesma dose de B aplicado no solo. No entanto, todos os teores de Ca encontrados na polpa da 'Imperial Gala' estão acima daqueles considerados adequadas na polpa fresca de maçãs (maior que $40,0 \text{ mg kg}^{-1}$), de acordo com Nava et al. (2002).

Tabela 2: Teor de Ca na polpa fresca da cultivar Imperial Gala em função da adição de B no solo e das épocas de aplicação foliar desse nutriente. Médias de três repetições.

Época de aplicação foliar de B	Doses de B no solo (kg ha ⁻¹)			Média
	0	2,5	5,0	
	----- Ca na polpa (mg kg ⁻¹) -----			
Sem aplicação	44,5 A a	43,7 A b	53,0 A a	47,1
Floração	47,6 A a	45,6 A ab	50,0 A a	47,8
Pós-colheita	51,6 A a	53,4 A a	48,8 A a	51,3
Média	47,9	47,6	50,6	48,7
C.V. (%)	7,2	10,6	8,9	9,1

Médias seguidas de mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Houve interação entre a época de aplicação foliar de B e a adição no solo desse micronutriente para os teores de Ca na polpa da cultivar Fuji Suprema (Tabela 3). Quando a pulverização foliar foi realizada na pós-colheita, na ausência de adição de B no solo, o teor de Ca na polpa foi menor se comparado com a testemunha (sem aplicação de B na folha e no solo). Na maior dose de B aplicado no solo (5 kg ha⁻¹) associado à pulverização foliar realizada na pós-colheita, o teor de Ca na polpa (37,3 mg kg⁻¹) foi menor que nas demais épocas de aplicação foliar dentro dessa mesma dose. Quando a aplicação foliar de B foi realizada na pós-colheita, juntamente com a ausência de adição de B no solo e a aplicação de 5 kg ha⁻¹ de bórax no solo, os teores de Ca na polpa da cultivar Fuji Suprema apresentaram os menores valores em relação à testemunha, porém mesmo com essa redução, os teores observados encontram-se muito próximos da faixa adequada para a cultura da macieira (maior que 40,0 mg kg⁻¹).

Tabela 3: Teor de Ca na polpa fresca da cultivar Fuji Suprema em função da adição de B no solo e das épocas de aplicação foliar desse nutriente. Médias de três repetições.

Época de aplicação foliar de B	Doses de B no solo (kg ha ⁻¹)			Média
	0	2,5	5,0	
	----- Ca na polpa (mg kg ⁻¹) -----			
Sem aplicação	47,9 A a	45,4 A a	47,4 A a	46,9
Floração	40,1 B ab	48,0 A a	47,5 A a	45,2
Pós-colheita	37,3 A b	41,4 A a	37,3 A b	38,7
Média	41,8	44,9	44,1	43,6
C.V. (%)	12,8	8,4	12,6	11,3

Médias seguidas de mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

O teor de B na polpa da 'Fuji Suprema' foi influenciado pela interação entre a aplicação foliar de B e a adição de B no solo (Tabela 4). Na ausência de aplicação foliar, o teor de B na polpa foi maior quando se aplicou 5 kg ha⁻¹ de B no solo, passando de 2,9 mg kg⁻¹ na testemunha para 4,0 mg kg⁻¹ na maior dose. Esse mesmo comportamento foi encontrado quando a aplicação foliar ocorreu na pós-colheita, neste caso, o teor de B na polpa passou de 3,4 mg kg⁻¹ na ausência de adição de B no solo para 4,6 mg kg⁻¹ quando houve a adição de 5 kg ha⁻¹ de B no solo.

Tabela 4: Teor de B na polpa fresca da cultivar Fuji Suprema em função da adição de B no solo e das épocas de aplicação foliar desse nutriente. Médias de três repetições.

Época de aplicação foliar de B	Doses de B no solo (kg ha ⁻¹)			Média
	0	2,5	5,0	
	----- B na polpa (mg kg ⁻¹) -----			
Sem aplicação	2,9 B a	3,1 B a	4,0 A ab	3,3
Floração	2,9 A a	3,3 A a	3,4 A b	3,2
Pós-colheita	3,4 B a	3,4 B a	4,6 A a	3,8
Média	3,0	3,3	4,0	3,4
C.V. (%)	10,5	9,0	13,5	16,3

Médias seguidas de mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Não ocorreu interação entre a aplicação de B no solo e a pulverização foliar no teor de B da polpa fresca da 'Imperial Gala'. O teor de B na polpa aumentou significativamente à medida que foi aumentada a dose de B adicionada ao solo, sendo que a maior concentração (4,0 mg kg⁻¹) foi encontrada na dose de 5 kg ha⁻¹ B no solo (Figura 8). Isso significa que a adição de 5 kg ha⁻¹ de bórax no solo foi mais eficiente para aumentar o teor de B na polpa da 'Imperial Gala' em relação à testemunha. No entanto, a aplicação foliar de B não afetou o teor desse nutriente na polpa da 'Imperial Gala', independente da época em que o nutriente foi aplicado (Figura 9).

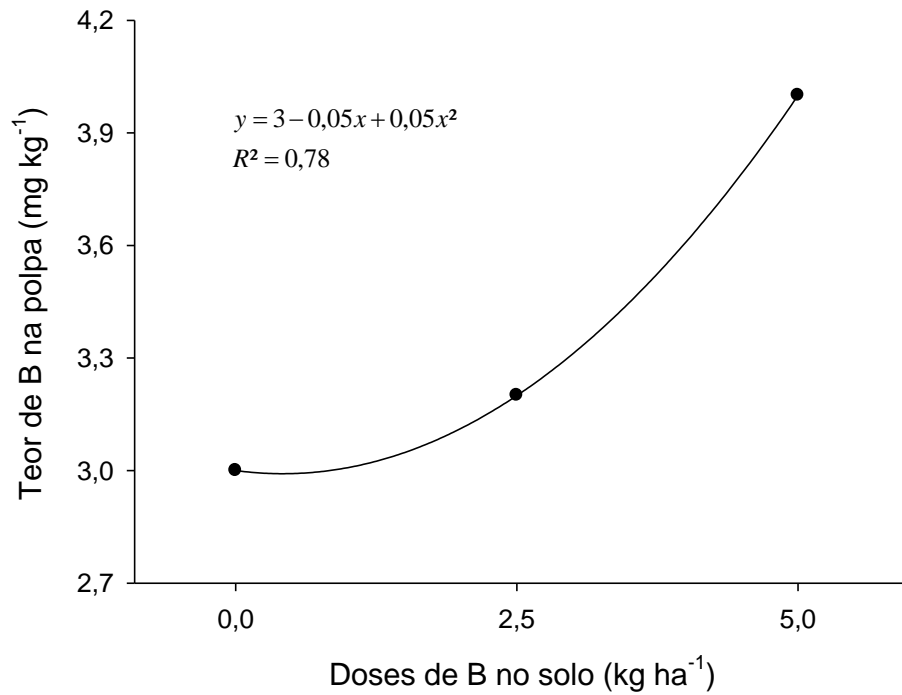


Figura 8: Teores médios de B na polpa fresca da cultivar Imperial Gala em função das doses de B aplicadas no solo. Médias de três repetições.

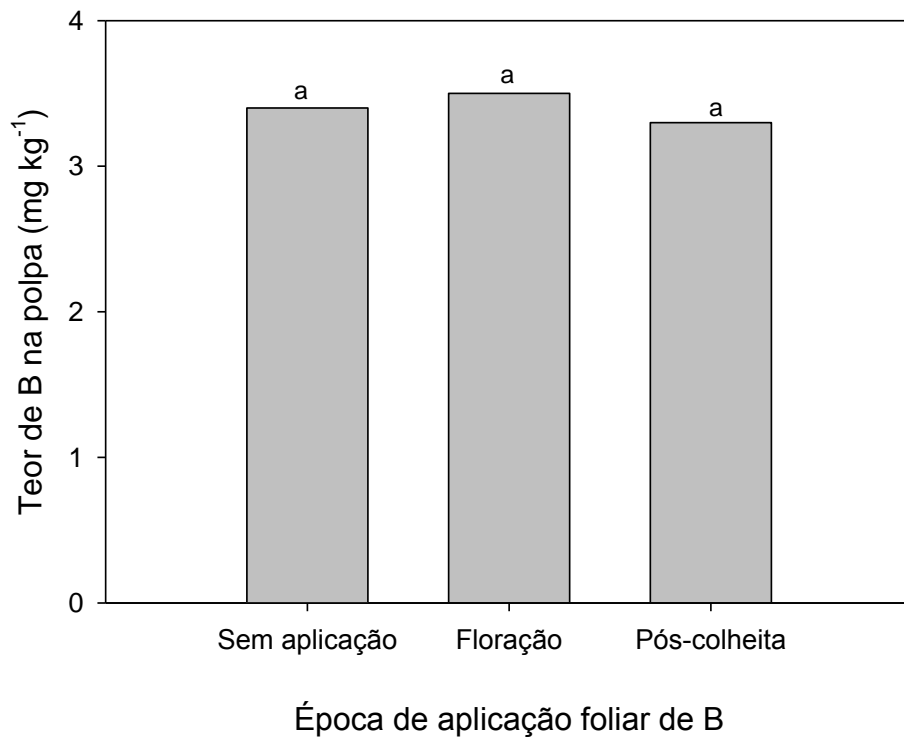


Figura 9: Teores médios de B na polpa fresca da cultivar Imperial Gala em função das épocas de aplicação foliar de B. Barras seguidas de mesma letra não diferem pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). Médias de três repetições.

4.2 EFEITO DA APLICAÇÃO DE B NAS PROPRIEDADES FISIOLÓGICAS DOS FRUTOS

Não houve interação entre a aplicação foliar de B e sua adição ao solo para todos os atributos fisiológicos avaliados, independente da cultivar (Imperial Gala ou Fuji Suprema).

A aplicação de B foliar aumentou o índice iodo-amido em 35% em relação à ausência de pulverização foliar com B na 'Imperial Gala', variando de 3,0 quando não houve aplicação foliar de B para 4,1 quando a pulverização foliar ocorreu na pós-colheita; ou seja, a aplicação foliar de B promoveu maior degradação do amido em açúcar e, conseqüentemente, antecipou a maturação dos frutos (Tabela 5). Na 'Fuji Suprema' o efeito da aplicação foliar de B no índice iodo-amido foi menor, mas o suficiente para antecipar a maturação dos frutos quando a pulverização foi realizada na pós-colheita em relação à ausência de pulverização foliar com B.

A acidez titulável (AT) comportou-se de maneira idêntica tanto para a cultivar Imperial Gala quanto para a 'Fuji Suprema' (Tabela 5). A pulverização foliar de B diminuiu 19% a AT em relação à ausência de aplicação foliar de B na 'Imperial Gala' e 14% na 'Fuji Suprema' (Tabela 5), o que enfatiza a antecipação da maturação dos frutos, ou seja, frutos mais maduros apresentam menor AT. Nava et al. (2009) ressaltaram que não houve efeito da aplicação foliar isolada de ácido bórico (340 mg kg^{-1}) sobre as variáveis analisadas (frutificação efetiva, peso dos frutos, firmeza de polpa e SS), em pêssegos granadas, independente da época de aplicação. No entanto, esses autores observaram que a aplicação de 340 mg kg^{-1} de B na forma de ácido bórico, quando aplicados simultaneamente com 0,25% de cianamida hidrogenada mais 0,8% de óleo mineral, na plena floração, reduziu a AT dos frutos.

Wojcik & Treder (2006) demonstraram que aplicação de fertirrigação na dose de 0,5 g/árvore de B, em macieira 'Jonagold', aumentou o teor de SS, porém não afetou a coloração, a AT e a firmeza de polpa dos frutos.

O teor de sólidos solúveis (SS) e a firmeza de polpa não foram influenciados pela aplicação foliar de B, independente da época que foi aplicada, em nenhuma das cultivares avaliadas (Tabela 5). Canesin & Buzetti (2007) concluíram que a aplicação foliar de 110 g ha^{-1} de B (ácido bórico) não influenciou os teores de SS e AT dos frutos da pereira-japonesa, cultivar Okussankichi, e da pinheira (*Annona squamosa* L.). Wojcik (2006) estudou a aplicação foliar de B ($1,2 \text{ kg ha}^{-1}$) em pós-colheita da

maçã (três a quatro semanas antes da abscisão da folha), associado ou não com uréia, e verificou que o B não afetou a qualidade das frutas (firmeza de polpa e SS); entretanto, concluiu que a aplicação de B melhorou o desenvolvimento reprodutivo das plantas.

A força para ruptura da casca da ‘Imperial Gala’ foi menor quando a aplicação foliar de B foi realizada na floração se comparado à ausência de pulverização com B (Tabela 5). Já para a ‘Fuji Suprema’, a aplicação foliar de B reduziu a força para ruptura da casca, em relação à ausência de pulverização com B, independente da época aplicada (Tabela 5). A aplicação foliar de B, independente da época, reduziu a força para penetração da polpa em relação à ausência de pulverização foliar de B na ‘Imperial Gala’, contudo, não afetou esse atributo na ‘Fuji Suprema’ (Tabela 5).

Tabela 5: Maturidade dos frutos (índice iodo-amido), acidez titulável, sólidos solúveis, firmeza de polpa e atributos de textura em maçãs das cultivares Imperial Gala e Fuji Suprema em função das épocas de aplicação foliar de B. Médias de três repetições.

Época de aplicação foliar de B	Índice iodo – amido ¹	Acidez titulável (% Ác. Málico)	Sólidos solúveis (°Brix)	Atributos de textura (N)		
				Firmeza de polpa	Força para ruptura da casca	Força para penetração da polpa
‘Imperial Gala’						
Sem aplicação	3,0 b	4,9 a	11,3 a	83,6 a	14,5 a	3,6 a
Floração	4,1 a	4,3 b	11,0 a	80,5 a	13,7 b	3,3 b
Pós-colheita	3,7 a	4,1 b	10,8 a	81,1 a	13,9 ab	3,4 b
C.V. (%)	9,8	6,5	4,1	3,2	2,7	4,2
‘Fuji Suprema’						
Sem aplicação	4,5 b	6,6 a	14,0 a	79,6 a	13,6 a	3,2 a
Floração	4,7 ab	5,8 b	13,8 a	80,0 a	12,9 b	3,2 a
Pós-colheita	4,8 a	6,0 b	13,9 a	78,9 a	12,9 b	3,3 a
C.V. (%)	2,2	5,7	3,8	3,9	2,8	3,5

Médias seguidas pela mesma letra, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

¹ = numa escala de 1 a 5, onde 1 indica o teor máximo de amido e 5 representa o amido totalmente hidrolisado.

A adição de B ao solo não afetou o índice de iodo-amido, a AT, o teor de SS e os atributos relacionados com a textura dos frutos (firmeza de polpa, força para ruptura da casca e força para penetração da polpa) das cultivares ‘Imperial Gala’ e ‘Fuji Suprema’, independente da dose aplicada (Tabela 6).

Tabela 6: Maturidade dos frutos (índice iodo-amido), acidez titulável, sólidos solúveis, firmeza de polpa e atributos de textura em maçãs das cultivares Imperial Gala e Fuji Suprema em função da adição de B no solo. Médias de três repetições.

Doses de B no solo (kg ha ⁻¹)	Índice iodo – amido ¹	Acidez titulável (% Ác. Málico)	Sólidos solúveis (°Brix)	Atributos de textura (N)		
				Firmeza de polpa	Força para ruptura da casca	Força para penetração da polpa
‘Imperial Gala’						
0	3,6 a	4,4 a	10,9 a	81,9 a	14,0 a	3,4 a
2,5	3,6 a	4,5 a	11,1 a	81,4 a	14,0 a	3,4 a
5,0	3,7 a	4,3 a	11,0 a	81,9 a	14,0 a	3,4 a
C.V. (%)	16,8	10,4	4,6	3,6	3,5	5,6
‘Fuji Suprema’						
0	4,6 a	6,2 a	14,1 a	81,1 a	13,3 a	3,3 a
2,5	4,7 a	5,9 a	14,0 a	78,7 a	13,1 a	3,2 a
5,0	4,7 a	6,3 a	13,7 a	78,6 a	13,1 a	3,2 a
C.V. (%)	3,3	8,4	3,7	3,6	3,9	3,5

Médias seguidas pela mesma letra, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

¹ = numa escala de 1 a 5, onde 1 indica o teor máximo de amido e 5 representa o amido totalmente hidrolisado.

A cor da epiderme, tanto no lado mais vermelho quanto na cor de fundo (lado mais verde), não foi afetada pela aplicação de B, independente da forma ou dose aplicada, em nenhuma das cultivares (Tabelas 7 e 8). Resultado semelhante foi encontrado por Wojcik (2006), onde a aplicação foliar de 1,2 kg ha⁻¹ de B em pós-colheita (três a quatro semanas antes da abscisão da folha), não afetou a coloração de maçãs ‘Jonagold’. Wojcik & Treder (2006) também demonstraram que a

aplicação de fertirrigação com B em macieira 'Jonagold' não afetou a coloração dos frutos.

Tabela 7: Cor da epiderme em maçãs das cultivares Imperial Gala e Fuji Suprema em função das épocas de aplicação foliar de B. Médias de três repetições.

Época de aplicação foliar de B	Cor da epiderme			
	Lado mais vermelho		Lado mais verde	
	L^1	h^{o2}	L^1	h^{o2}
'Imperial Gala'				
Sem aplicação	45,2 a	31,3 a	73,4 a	87,2 a
Floração	45,5 a	34,2 a	72,5 a	83,7 a
Pós-colheita	44,4 a	31,5 a	72,5 a	85,3 a
C.V. (%)	2,9	7,9	1,4	4,6
'Fuji Suprema'				
Sem aplicação	38,2 a	26,2 a	63,0 a	76,8 a
Floração	38,3 a	26,4 a	63,3 a	81,7 a
Pós-colheita	39,0 a	26,8 a	62,8 a	79,5 a
C.V. (%)	1,9	4,9	1,9	4,6

Médias seguidas pela mesma letra, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

¹ = numa escala de 0° a 180°, onde 0° = vermelho, 90° = amarelo e 180° = verde.

² = numa escala de 0° a 100°, onde 0° = preto a 100° = branco.

Tabela 8: Cor da epiderme em maçãs das cultivares Imperial Gala e Fuji Suprema em função da adição de B no solo. Médias de três repetições.

Doses de B no solo (kg ha ⁻¹)	Cor da epiderme			
	Lado mais vermelho		Lado mais verde	
	L ¹	h ^{o2}	L ¹	h ^{o2}
‘Imperial Gala’				
0	45,2 a	32,4 a	73,2 a	87,4 a
2,5	45,1 a	32,2 a	72,3 a	84,2 a
5,0	44,8 a	32,4 a	72,8 a	84,5 a
C.V. (%)	3,2	9,6	1,4	4,5
‘Fuji Suprema’				
0	38,3 a	26,3 a	62,9 a	79,6 a
2,5	38,4 a	26,4 a	62,9 a	78,6 a
5,0	38,8 a	26,8 a	63,3 a	79,8 a
C.V. (%)	2,1	5,6	2,0	5,5

Médias seguidas pela mesma letra, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

¹ = numa escala de 0° a 180°, onde 0° = vermelho, 90° = amarelo e 180° = verde.

² = numa escala de 0° a 100°, onde 0° = preto a 100° = branco.

A taxa respiratória e a produção de etileno não foram influenciadas pela aplicação de B, independente da época de aplicação foliar e da dose no solo (Tabelas 9 e 10).

Tabela 9: Taxa respiratória (após sete dias de exposição dos frutos a 20°C) e produção de etileno em maçãs das cultivares Imperial Gala e Fuji Suprema, em função das épocas de aplicação foliar de B. Médias de três repetições.

Época de aplicação foliar de B	Respiração (nmol CO ₂ kg ⁻¹ s ⁻¹)	Produção de etileno (μl C ₂ H ₄ kg ⁻¹ h ⁻¹)
'Imperial Gala'		
Sem aplicação	112,6 a	1,0 a
Floração	122,5 a	3,6 a
Pós-colheita	119,4 a	2,3 a
C.V. (%)	6,6	84,9
'Fuji Suprema'		
Sem aplicação	91,9 a	1,7 a
Floração	89,8 a	4,6 a
Pós-colheita	82,7 a	2,3 a
C.V. (%)	6,8	72,9

Médias seguidas pela mesma letra, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey (p<0,05).

Tabela 10: Taxa respiratória (após sete dias de exposição dos frutos a 20°C) e produção de etileno em maçãs da cultivar Imperial Gala e Fuji Suprema, em função da adição de B no solo. Médias de três repetições.

Doses de B no solo (kg ha ⁻¹)	Respiração (nmol CO ₂ kg ⁻¹ s ⁻¹)	Produção de etileno (μl C ₂ H ₄ kg ⁻¹ h ⁻¹)
'Imperial Gala'		
0	113,4 a	1,2 a
2,5	118,2 a	3,1 a
5,0	123,0 a	2,5 a
C.V. (%)	6,6	79,3
'Fuji Suprema'		
0	89,1 a	2,4 a
2,5	86,7 a	3,5 a
5,0	88,7 a	2,7 a
C.V. (%)	8,2	87,8

Médias seguidas pela mesma letra, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey (p<0,05).

4.3 EFEITO DA APLICAÇÃO DE B NOS ATRIBUTOS DE PRODUTIVIDADE

Não houve efeito da interação entre a aplicação de B no solo e a pulverização foliar desse micronutriente para os atributos de produtividade (germinação do grão de pólen, frutificação efetiva e rendimento de frutos), tanto na 'Imperial Gala' como na 'Fuji Suprema'. Apenas a aplicação foliar de ácido bórico afetou a germinação do grão de pólen na cultivar Imperial Gala e a frutificação efetiva na 'Fuji Suprema'.

A germinação do grão de pólen da 'Imperial Gala' diminuiu de 50 para 44 % quando a pulverizou-se B na floração relativamente ao tratamento sem pulverização com B (Tabela 11). Mesma com essa redução de 12 %, a taxa de germinação do grão de pólen foi alta, não tendo afetado a frutificação efetiva. O rendimento desta cultivar também não foi influenciado pela aplicação de B devido à uniformização no raleio das frutas, no qual foi deixado, em média, um fruto por cacho floral.

Na 'Fuji Suprema', a pulverização com B realizada na florada reduziu em 14 % a frutificação efetiva relativamente à ausência de aplicação de B foliar (Tabela 11), porém não afetou a germinação do grão de pólen e o rendimento de frutos. Não há uma explicação clara sobre a relação entre causa e efeito nestes resultados. A diminuição na germinação do grão de pólen na 'Imperial Gala' e na frutificação efetiva da 'Fuji Suprema', que ocorreram onde foi pulverizado B durante a floração, provavelmente foram conseqüência de toxidez ocasionada pela solução.

O rendimento de frutos, tanto na 'Imperial Gala' como na 'Fuji Suprema' não foi afetado pela adição de B, independente da forma ou época de aplicação. Goepfert et al. (1987), em experimento de longa duração, verificaram que a aplicação de Zn, Mn e B, anualmente na primavera, em pomar de laranjeira Valência enxertada sobre Caipira, deficiente em micronutrientes, não aumentou a produtividade de frutos por oito safras consecutivas.

No entanto, estudos feitos por Nyomora et al. (2000) apontam melhoria na frutificação e produção das frutíferas através de aplicações de B pelo aumento da germinação do pólen *in vitro* ou *in vivo* e por permitir maior crescimento do tubo polínico. Wojcik & Treder (2006) observaram que a aplicação de fertirrigação com B num solo arenoso não afetou a frutificação efetiva e o rendimento de maçãs 'Jonagold' em uma das três safras avaliadas. No entanto, nas demais safras, tanto a frutificação efetiva quanto o rendimento aumentaram pela adição das seguintes

doses de B: 0,5; 1 e 1,5 g/árvore. Isto se deve ao fato de que solos arenosos apresentam baixa concentração de B, o que favorece a resposta de sua aplicação.

Perica et al. (2001b) verificaram que a aplicação de B foliar antes do florescimento aumentou a porcentagem de flores perfeitas e da frutificação em oliveira, mas o efeito sobre a germinação do pólen não foi observado em quaisquer dos dois anos de avaliações. Usha & Singh (2002) obtiveram resultado positivo na produção e qualidade de frutos de videira, cultivar Perlette, com a aplicação foliar de B, Zn, Fe e Mn, bem como Stover et al. (1999) na produção de maçã cultivar McIntosh, com aplicação foliar de B na forma de solubor, e de Zn na forma de quelato de Zn.

Khalifa et al. (2009) revelaram que a produtividade média de maçãs e o número e o peso médio de frutos aumentaram pela aplicação foliar com ácido bórico em maçãs 'Anna'. Da mesma forma, Costa et al. (2002) observaram que a aplicação de ácido bórico, tanto no solo quanto nas folhas, provocaram um aumento na produtividade e no número de frutos da pinheira, porém, as diferentes formas de aplicação não alteraram o número de flores por planta, o peso médio, o comprimento e o diâmetro dos frutos. Resultado semelhante foi encontrado por Pavan (1997), quando aplicações de B no solo também elevaram a produtividade de frutos de macieira.

Tabela 11: Germinação do grão de pólen, frutificação efetiva e rendimento de maçãs das cultivares Imperial Gala e Fuji Suprema, em função das épocas de aplicação foliar de B. Médias de três repetições.

Época de aplicação foliar de B	Germinação grão de pólen (%)	Frutificação efetiva (%)	Rendimento (t ha ⁻¹)
'Imperial Gala'			
Sem aplicação	49,4 a	260,3 a	58,3 a
Floração	44,2 b	225,0 a	54,7 a
Pós-colheita	50,5 a	271,3 a	53,4 a
C.V. (%)	8,0	12,6	7,1
'Fuji Suprema'			
Sem aplicação	69,8 a	346,3 a	58,9 a
Floração	70,9 a	297,9 b	65,4 a
Pós-colheita	71,3 a	335,7 a	67,6 a
C.V. (%)	3,3	10,2	10,7

Médias seguidas pela mesma letra, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Os atributos relacionados à produtividade (germinação do grão de pólen, frutificação efetiva e rendimento de frutas) também não foram influenciados pela aplicação de B no solo, independente da dose utilizada, em ambas cultivares (Tabela 12). Pavan et al. (1997) observaram que a produtividade de maçãs 'Gala' foi maior quando aplicou-se ácido bórico e bórax no solo nas doses de 4,5 e 9,0 g de B /árvore. A ausência de resposta da macieira à aplicação de B no solo no presente estudo pode ser explicada, em parte, pelos valores relativamente altos de matéria orgânica no solo (6,3%) e pelo valor moderado de pH do solo (6,3), que favoreceram a permanência de B na sua solução. De acordo com Basso & Suzuki (2001), em solos bem providos de matéria orgânica e com o pH inferior a 7, normalmente não há problemas com a falta de B para a macieira nos solos da região Sul do Brasil.

Tabela 12: Germinação do grão de pólen, frutificação efetiva e rendimento de maçãs das cultivares Imperial Gala e Fuji Suprema, em função da adição de B no solo. Médias de três repetições.

Doses de B no solo (kg ha ⁻¹)	Germinação grão de pólen (%)	Frutificação efetiva (%)	Rendimento (t ha ⁻¹)
'Imperial Gala'			
0	46,8 a	250,2 a	54,7 a
2,5	49,4 a	250,9 a	56,3 a
5,0	48,0 a	255,6 a	55,4 a
C.V. (%)	9,6	15,9	8,1
'Fuji Suprema'			
0	70,0 a	313,8 a	64,9 a
2,5	70,9 a	337,7 a	63,9 a
5,0	71,1 a	328,4 a	63,2 a
C.V. (%)	3,4	11,8	12,1

Médias seguidas pela mesma letra, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

5 CONCLUSÕES

- 1- A aplicação de B ao solo foi mais eficiente do que a aplicação foliar para elevar o teor de B na polpa, nas folhas e no solo, entretanto, não alterou nenhum dos atributos relacionados com a qualidade fisiológica das maçãs;
- 2- A pulverização foliar com B antecipou a maturação dos frutos;
- 3- A aplicação de B, independente da dose e da forma aplicada (ao solo ou por meio de pulverizações foliares), não afetou o rendimento dos frutos das duas cultivares de macieira;
- 4- Em Cambissolos Húmicos localizados na região de São Joaquim, que apresentem pH próximo de 6,0 e alto teor de matéria orgânica, não há necessidade de aplicações anuais com B, foliares ou no solo, para incrementar a produção de maçãs, desde que o solo tenha sido fertilizado com esse nutriente em pré-plantio.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Apesar de o estudo ter sido de longa duração (nove anos), os experimentos foram conduzidos em um único tipo de solo e as avaliações foram realizadas somente nas duas últimas safras. Por isso, experimentos futuros devem ser conduzidos também em outras regiões produtoras e com outras cultivares para a obtenção de resultados mais conclusivos. Entretanto, os resultados preliminares deste estudo indicam não haver necessidade da adição de B para incrementar a produção de maçãs. Indicam ainda a possibilidade de existência de toxidez de B ocasionada por pulverizações realizadas durante a floração, que se refletiram na diminuição da germinação do grão de pólen e da frutificação efetiva, sem, contudo, terem influenciado negativamente a produção.

REFERÊNCIAS

ABREU, C.A.; RAIJ, B. van. Adubação com micronutrientes. In: RAIJ, B. Van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2.ed. Campinas: Instituto Agrônomo, 1997. p. 29 (Boletim técnico, 100).

ARGENTA, L.C.; SUZUKI, A. Relação entre teores minerais e frequência de bitter pit em maçã cv. Gala no Brasil. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Cruz das Almas, v. 16, n. 1, p. 267-277, 1994.

BANKS, N.H.; CLELAND, D.J.; CAMERON, A.C.; BEANDRY, R.M; KADER, A.A. Proposal for a rationalized system of units for postharvest research in gas exchange. **American Society for Horticultural Science**, Alexandria, v. 30, n. 6, p. 1129-1131, 1995.

BASSO, C.; SUZUKI, A. Solos e nutrição. In: EPAGRI/JICA. **Nashi, a pera-japonesa**. Florianópolis, p. 139-160, 2001.

BELLALLOUI, N.; BROWN, P.H. and DANDEKAR, A.M.; Manipulation for *in vivo* sorbitol production alters boron uptake and transport in tobacco. **Plant Physiology**, v. 119, p. 735-741, 1999.

BENNETT, W.F. Stone fruit: peaches and nectarines. In: BENETT, W.F. **Nutrient deficiencies e toxicities in crop plants**. 3. ed. Minnessota: The American Phytopathological Society, 1996. 202p.

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, R.M. Boro (^{10}B) em laranjeira: absorção e mobilidade. Piracicaba, 2006. 120p. Tese (Doutorado) – Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Cruz das Almas v. 29, p. 377-381, 2007.

BRAMLAGE, W. J. and THOMPSON, A. H.. The effects of early season sprays of boron on fruit set, color, finish and storage life of apples. **Proc. Amer. Soc. Hort. Sci**, v. 80, p. 64-72, 1962.

- BROWN, P.H. and HU, H. Phloem mobility of boron is species dependent: Evidence for phloem mobility in sorbitol rich species. **Annals of Botany**, v. 77, p. 497-505, 1996.
- BROWN, P.H. and SHELP, B.J. Boron mobility in plants. In: DELL, B.; BROWN, P.H. & BELL, R.W. eds. **Boron in Soils and Plants**. Dordrecht, Kluwer Academic Publishers, p. 85-101, 1997.
- BROWN, P.H.; PICCHIONI, G.; JENKIN, M.; HU, H. Use of ICP-MS and ¹⁰B 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.
- CANESIN, R C. F. S. & BUZETTI, S. Efeito da aplicação foliar de boro e zinco sobre a produção e os teores de SST e ATT dos frutos da Pereira- Japonesa e da pinheira. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 29, n. 2, p. 143-155, 2007.
- COSTA, S.L.; CARVALHO, A.J.; PESSANHA, P.G.O.; MONNERAT, P.H.; MARINHO, C.S. Produtividade da cultura da Pinha (*Annona squamosa* L.) em função de níveis de adubação nitrogenada e formas de aplicação de boro. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 24, n. 2, p. 543-546, 2002.
- CQFS- Comissão de Química e Fertilidade do Solo. **Manual de adubação e calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina**. 10. ed. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 400p., 2004.
- DECHEN, A.R. & NACHTIGALL, G.R. Micronutrientes. In: FERNANDES, M.S. **Nutrição mineral de plantas**. Viçosa – MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p. 327-354, 2006.
- DORDAS, C.; CHRISPPEELS, M.J. and BROWN, P.H. Permeability and channel-mediated transport of boric acid across membrane vesicles isolated from squash roots. **Plant Physiology**, v. 124, p. 1349-1361, 2000.
- EPAGRI. **A cultura da macieira**. Florianópolis: GMC/Epagri, 743 p., 2002.
- EPSTEIN, E.; BLOOM, A.J. **Nutrição mineral de plantas: princípios e perspectivas**. Tradução de M.E.T. Nunes. 2.ed. Londrina: Editora Planta, 403 p., 2006.
- ERNANI, P. R. **Química do solo e disponibilidade de nutrientes**. Lages, 230 p., 2008.

FAO. Statistics. Disponível em: <<http://www.fao.org>> Acesso em: 02 jul. 2011.

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

GOEPFERT, C.F.; SALDANHA, E.L.S.; PORTO, O.M. Resposta da laranjeira. Valência. (*Citrus sinensis* Osb.) a níveis de fertilizantes, médias de oito safras. **Agronomia Sulriograndense**, Porto Alegre, v. 23, n. 2, p. 203-215, 1987.

GOLDBACH, H.E. A critical review on current hypotheses concerning the role of boron in higher plants: Suggestions for further research and methodological requirements. **Journal Trace Microprobe Technology**, v. 15, p. 51-91, 1997.

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

HU, H. and 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**, v. 105, p. 681-689, 1994.

HU, H., BROWN, P.H. Absorption of boron by plant roots. **Plant Soil**, Dordrecht, v. 193, p. 49-58, 1997.

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. 272-232, 1996.

KHALIFA, K. R. M.; HAFEZ, O. M. and ABD-EL-KHAIR, H. Influence of foliar spraying with boron and calcium on productivity, fruit quality, nutritional status and controlling of blossom end rot disease of anna apple trees. **World Journal of Agricultural Sciences**, v. 5, p. 237-249, 2009.

KOBAYASHI, M.; OHNO, K.; MATOH, T. Boron nutrition of cultured tobacco BY-2 cells. II. Characterization of the boron-polysaccharide complex. **Plant Cell Physiology**, v. 38, p. 676-683, 1997.

LOPES, A.S.; SOUZA, E.C.A. Filosofias e eficiência da aplicação. In: FERREIRA, M.E. et al. (Eds.). **Micronutrientes e elementos tóxicos na agricultura**. Jaboticabal: CNPq, FAPESP/PATAFOS, 268 p., 2001.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2nd ed. Piracicaba: Potafos, 319 p., 1997.

MARSCHNER H. **Mineral nutrition of higher plants**. 2nd ed. New York and London: Academic Press, p. 379-396, 1995.

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

MATOH, T. Boron in plant cell walls. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 193, p. 59-70, 1997.

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.

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

MENGEL, K.; KIRKBY, E.A. **Principle of plant nutrition**. 4. Ed. Bem: International Potash Institut, 68p., 1987.

MORAES, L. A. C.; MORAES, V. H. de F. and MOREIRA, A. Relação entre a flexibilidade do caule de seringueira e a carência de boro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 37, p. 1431-1436, 2002.

MOTTA, A.C.V.; SERRAT, B.M.; REISMANN, C.B.; DIONÍSIO, J.A.. **Micronutrientes na rocha, no solo e na planta**. Curitiba, 246 p., 2007.

NAVA, G.; BASSO, C.; NUENBERG, N.; MELO, G.W.; NACHTGALL., G.R; SUZUKI, A. **Fertilidade do solo e nutrição na produção integrada de maçã**. Bento Gonçalves: EMBRAPA, 13 p., 2002 (Circular Técnico, 33).

NAVA, G.A.; DALMAGO, G.A.; BERGAMASCHI, H.; PANIZ, R.; DOS SANTOS, R.P.; MARODIN, G.A.B. Effect of high temperatures in the pre-blooming and blooming periods on ovule formation, pollen grains and yield of `Granada peach. **Scientia Horticulturae**, Amesterdan, v. 122, p. 37-44, 2009.

NYOMORA, A.M.S.; BROWN, P.H. and KRUEGER, B. Rate and time of boron application increase almond productivity and tissue boron concentration. **HortScience**, v. 34, p. 242-245, 1999.

NYOMORA, A.M.S.; BROWN, P.H.; PINNEY, K.; POLITO, V.S. Foliar application of boron to almond trees affects pollen quality. **Journal American Society for Horticultural Science**, Alexandria, v. 125, p. 265-270, 2000.

OERTLI, J. J.; GRGUREVIC, E. Effect of pH on the absorption of boron by excised barley roots. **Agronomy Journal**, Geneva, v. 67, n. 2, p. 278-280, 1975.
PAVAN, M. Respostas da macieira à aplicação de boro no solo. **Arquivo Biológico Tecnológico**, Campinas, v. 40, n. 2, p. 419-424, 1997.

PERICA, S.; BROWN, P.H.; CONNELL, J.H.; NYOMORA, A.M.S.; DORDAS, C. and HU, H. Foliar boron application improves flower fertility and fruit set of olive. **HortScience**, v. 36, p. 714-716, 2001b.

POWER, P.P. and WOODS, W.G. The chemistry of boron and its speciation in plants. In: DELL, B.; BROWN, P.H. and BELL, R.W. eds. **Boron in Soils and Plants**. Dordrecht, Kluwer Academic Publishers, p. 1-13, 1997.

PRADO, R.M. **Nutrição de plantas**. Editora UNESP, São Paulo. Capítulo 10, 213 p., 2008.

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.; PIZA JUNIOR, C.T. Fruteiras Tropicais. In: FERREIRA, M.E. et. al. (Eds.) **Micronutrientes e elementos tóxicos na agricultura**. Jaboticabal: CNPq, FAPESP/ POTAFOS, p. 459-492, 2001.

RUIZ, J.M.; RIVERO, R.M.; ROMERO, L. Boron increases synthesis of glutathione in sunflower plants subjected to aluminum stress. **Plant and Soil**, v. 279, n. 2, p. 25-30, 2006.

SIEBENEICHLER, S.C.; MONNERAT, P.H.; CARVALHO, A.J. C. de; SILVA J. A. da. MARTINS, A.O.. Mobilidade do boro em plantas de abacaxi. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 27. n. 2, p. 292-294, 2005.

SOTIROPOULOS, T.E.; MOLASSIOTIS, A.; ALMALIOTIS, D.; OUHTARIDOU, G.; DIMASSI, K.; THERIOS, I.; DIAMANTIDIS, G. Growth, nutritional status, chlorophyll content, and antioxidant responses of the apple rootstock mm 111 shoots cultured under high boron concentrations in vitro. **Journal of Plant Nutrition**, v. 29, n. 3, p. 575-583, 2006.

STOVER, E.; FARGIONE, M.; RISIO, R.; STILES, W.; IUNGERMAN, K. Prebloom foliar boron, zinc, and urea applications enhance cropping of some 'Empire' and 'McIntosh' apple orchards in New York. **HortScience**, Alexandria, v. 34, n. 2, 1999.

SUZUKI, A.; BASSO, C. Fertilidade do solo e nutrição da macieira. In: EPAGRI. **Manual da cultura da macieira**. Florianópolis, p. 341-381, 2002.

TEDESCO, M.J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C.A.; BOHEN, H.; VOLKWEISS, S. **Análise de solo, planta e outros materiais**. Porto Alegre: Departamento de Solo. Faculdade de Agronomia. Universidade do Rio Grande do Sul, 174p., 1995.

USHA, K.; SINGH, B. Effect of macro and micro-nutrient spray on fruit yield and quality of grape (*Vitis vinifera* L.) cv. Perlette. **Acta Horticulturae**, Wageningen, v. 1, n. 594, p. 197-202, 2002.

WÓJCIK, P. Effect of post-harvest sprays of boron and urea on yield and fruit quality of apple trees. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v. 29, n. 3, p. 441 – 450, 2006.

WÓJCIK, P.; TREDER, W. Effect of drip boron fertigation on yield and fruit quality in a high-density apple orchard. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v. 29, n. 12, p. 2199 - 2213, 2006.