

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CAMPUS DE BOTUCATU

**ALTERAÇÕES ANATÔMICAS E TRANSLOCAÇÃO DE BORO NO
ALGODOEIRO**

ROSA HONORATO DE OLIVEIRA

Tese apresentada à Faculdade de Ciências
Agronômicas da UNESP- Campus de Botucatu,
para obtenção do título de Doutor em
Agronomia - Área de Concentração em
Agricultura.

BOTUCATU- SP

Março – 2003

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CAMPUS DE BOTUCATU

**ALTERAÇÕES ANATÔMICAS E TRANSLOCAÇÃO DE BORO NO
ALGODOEIRO**

ROSA HONORATO DE OLIVEIRA

Engenheira Agrônoma

Orientador: Prof. Dr. Ciro Antonio Rosolem

Tese apresentada à Faculdade de Ciências
Agronômicas da UNESP- Campus de Botucatu,
para obtenção do título de Doutor em
Agronomia – Área de Concentração em
Agricultura.

BOTUCATU- SP

Março – 2003

Aos meus pais João Daniel de Almeida e Laura Honorato de Almeida, exemplos de vida, pela dedicação, força e apoio mesmo nas horas mais difíceis. Muitas vezes, abdicando de seus próprios sonhos para garantir que seus filhos os tivessem...

OFEREÇO

**A DEUS,
AGRADEÇO PELO MISTÉRIO DA VIDA...**

Aos amigos feitos em Botucatu –SP e que seguirão comigo (no coração e na mente) para onde quer que eu vá...afinal “amigo é coisa pra se guardar no fundo do coração, mesmo que o tempo e distância digam não”

DEDICO

AGRADECIMENTOS

Meu agradecimento primeiro vai para Deus, causa primeira de todas as coisas, pela presença constante em minha vida, especialmente nos momentos mais difíceis.

Aos meus pais João Daniel de Almeida e Laura Honorato de Almeida, meu exemplo de vida, e irmãos pela compreensão nos tantos momentos ausentes, pela força e compreensão.

Ao Prof. Dr. Ciro Antonio Rosolem, não somente pela orientação mas por todos os ensinamentos, pelo exemplo profissional, pela confiança em mim depositada, pela imensa contribuição para meu crescimento como pessoa e como profissional.

Ao CNPq pelo apoio financeiro.

A Prof^ª Dr^ª. Marina Aparecida de Moraes Dallaqua e a Camila Milanesi, pelo apoio na parte de Anatomia Vegetal.

À Faculdade de Ciências Agrônômicas – Unesp-Campus de Botucatu, pela enorme contribuição para meu aperfeiçoamento profissional.

Aos professores e funcionários do Departamento de Produção Vegetal-Setor Agricultura pela ajuda e amizade, pela excelente convivência.

Agradecimentos especiais a Vera Lúcia Rossi e Ilanir Rosane Rosa Bocetto (Lana), pela ajuda prestada e sobretudo, pela amizade inestimável... as levarei no coração...

Aos colegas e amigos da Pós-Graduação, especialmente a Celso Luis Cardoso, José Salvador Simoneti Foloni, Aldenise Moreira Alves, Vagner Maximino Leite, Adriana Martinelli-Seneme e Rita de Cássia Alvarez pelo carinho e amizade.

À “Comunidade da Paraíba em Jaboticabal-SP”, Edilma Pereira Gonçalves, Gilmara Mabel Santos, Edna Ursulino Alves, meu porto seguro nas horas de “banzo”.

Ao Coral Lageado em Canto, sob a regência do Irandir Fernando Daroz, pela valiosa oportunidade.

Às companheiras de república, pelo carinho e amizade, pelas horas de divertimento ao som dos violões Yelitza e Mariléia.

Enfim a todos as pessoas que contribuíram para que essa etapa da minha vida fosse tão doce e portanto, digna de jamais ser esquecida...a todos vocês o meu MUITO OBRIGADA!

SUMÁRIO		Pag.
1. RESUMO.....		1
2. SUMMARY.....		3
3. INTRODUÇÃO.....		5
4. RVISÃO DE LITERATURA.....		7
5. MATERIAL E MÉTODOS.....		19
5.1. Experimento 1.....		21
5.2. Experimento 2.....		23
5.3. Experimento 3.....		24
6. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....		26
6.1. Experimento 1.....		26
6.1.1. Produção de matéria seca de folhas, hastes e número de estruturas reprodutivas.....		26
6.1.2. Produção de matéria seca, concentração e acúmulo de B pela raiz.....		35
6.1.3. Concentração de B em folhas e hastes.....		38
6.1.4. Acúmulo de B em folhas e hastes.....		43
6.2. Experimento 2.....		49
6.2.1. Altura de plantas, número de ramos, diâmetro de caule e matéria seca de botões florais		49
6.2.2. Produção de matéria seca, concentração e acúmulo de B em raízes.....		53
6.2.3. Produção de matéria seca de folhas e hastes.....		56
6.2.4. Concentração de B em folhas e hastes.....		59
6.2.5. Acúmulo de B em hastes e folhas.....		61
6.3. Descrição de sintomas de deficiência e toxidez de B no algodoeiro.....		66
6.4. Experimento 3.....		72
6.4.1. Secções transversais medianas do pecíolo.....		72
6.4.2. Secções transversais medianas do pedúnculo.....		76
7. CONCLUSÃO.....		82
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....		83

1. RESUMO

O boro é um nutriente importante para o crescimento e desenvolvimento das plantas. Está envolvido na elongação e divisão celular, na biossíntese de células, metabolismo do nitrogênio, na síntese de ácidos nucléicos, dentre outras. É considerado um nutriente imóvel ou de pouca mobilidade no floema e em virtude disso, a eficiência da aplicação foliar é discutível. Foram desenvolvidos três experimentos com solução nutritiva (Hoagland & Arnon, 1950) em casa de vegetação, para verificar as alterações anatômicas causadas pela deficiência de B em órgãos vegetativos e reprodutivos do algodoeiro, procurando associá-las com a translocação do nutriente e estudar o efeito de aplicação foliar do nutriente. Na primeira fase do primeiro experimento, utilizou-se as doses 0-5-10-20 $\mu\text{mol L}^{-1}$ de B combinadas com aplicações em folhas novas e velhas; a segunda fase constou de dose única de B na solução (20 $\mu\text{mol L}^{-1}$). No segundo experimento utilizou-se 0-1,5-3-4,5-6 $\mu\text{mol L}^{-1}$ de B na solução combinadas com aplicação

foliar nas doses 3,0 e 4,5 $\mu\text{mol L}^{-1}$. No terceiro experimento foram utilizados dois tratamentos, um deficiente (1,5 $\mu\text{mol L}^{-1}$ de B) e outra suficiente (4,5 $\mu\text{mol L}^{-1}$ de B). A deficiência de B causou desorganização dos tecidos vasculares dos órgãos vegetativos e reprodutivos do algodoeiro. Os feixes vasculares não se diferenciaram adequadamente com a deficiência de B, impedindo a troca de substâncias entre as estruturas reprodutivas e o resto da planta, resultando em queda destas estruturas. A aplicação de B às folhas tem efeito apenas local, ou seja, o nutriente não é translocado para outras partes da planta, mas pode, quando em plantas deficientes, melhorar o crescimento do órgão que recebeu o nutriente. A altura de planta constituiu-se em um indicador mais sensível à resposta do algodoeiro ao B do que a produção de matéria seca.

Palavras-chave: boro, algodão, translocação, alterações anatômicas.

ANTOMICAL ALTERATIONS AND TRANSLOCATION OF BORON IN COTTON. Botucatu, 2003. 98p. Tese (Doutorado em Agromonia-Agricultura) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, São Paulo.

Author: ROSA HONORATO DE OLIVEIRA

Adviser: CIRO ANTONIO ROSOLEM

2. SUMMARY

Boron is an important nutrient for plant growth and development. It is involved in cell elongation and division, cell biosynthesis, nitrogen metabolism and nucleic acids. Boron is generally considered to have no or little mobility within the plant, so the efficiency of foliar application is questionable. Three experiments were conducted in nutrient solution to evaluate the anatomical alterations caused by boron deficiency in vegetative and reproductive organs of cotton plants, associating them with the absorption and translocation of the nutrient when absorbed through the root or foliar applied. In the first experiment the treatments were: B in nutrient solution ($0-5-10-20 \mu\text{mol L}^{-1}$) and B applied to young or older leaves (45-60 days after the initiation of the B-treatments) and $20 \mu\text{mol L}^{-1}$ B in the nutrient solution (60-75 days after the initiation of the B-treatments). In the second experiment the treatments were: $0-1,5-3,5-6 \mu\text{mol L}^{-1}$ B) in solution associated with foliar application of $1,5 \mu\text{mol L}^{-1}$ B to the treatments with $4,5$ and $1,5 \mu\text{mol L}^{-1}$ B (15-30 day after the initiation of the B-treatments). In the third experiment two treatments were applied: B deficient ($1,5 \mu\text{mol L}^{-1}$) and B sufficient ($4,5 \mu\text{mol L}^{-1}$). Boron deficiency caused disorganization in vegetative and reproductive plant tissues. There was no clear

differentiation of the vascular bundles in the absence of B. Boron is not redistributed in cotton plants, but when applied to deficient plants there was an improvement in the growth of the organ receiving the fertilizer. Plant height is a better indicator of cotton response to B than the dry matter yield.

Key-words: boron, cotton, translocation, anatomical alterations.

3. INTRODUÇÃO

As funções bioquímicas do B ainda não estão bem estabelecidas, embora a essencialidade do nutriente para as plantas seja indiscutível. São atribuídas ao B as seguintes funções: formação da parede celular e divisão celular, alongação celular e metabolismo dos ácidos nucléicos, metabolismo de auxinas, lignificação da parede celular, transporte de carboidratos e auxinas e, metabolismo e transporte de açúcares das membranas.

Estudos recentes mostram que a mobilidade deste nutriente na planta depende de fatores como a espécie, a idade da planta e modo de aplicação do nutriente. É um micronutriente cujo limite entre concentração tóxica e deficiente é bastante estreito; em virtude disso, a determinação da dose ideal é extremamente importante para evitar a toxicidade pelo elemento.

O algodoeiro é responsivo à adubação boratada, no entanto, com relação aos teores e doses adequados e a melhor forma de aplicação, as pesquisas no Brasil

os resultados ainda são controvertidos. A aplicação via raiz tem sido recomendada como a mais eficiente, porém, acredita-se que a aplicação foliar possa ter alguma contribuição na adubação do algodoeiro, principalmente aumentando a concentração do nutriente na planta.

Embora se apontem as funções do B para esta cultura, estudos anatômicos que comprovem as reais alterações causada na ausência deste nutriente na estrutura anatômica da planta ainda são bastante incipientes. Existem indícios de que o principal efeito do nutriente sobre a planta seja a desorganização do sistema vascular.

O presente trabalho teve como objetivos verificar as alterações anatômicas causadas pela deficiência de B em órgãos vegetativos e reprodutivos do algodoeiro, procurando associá-las com a absorção e translocação do nutriente, além de estudar o efeito de aplicação foliar do nutriente.

4. REVISÃO DE LITERATURA

4.1. O algodoeiro no Brasil

O algodoeiro (*Gossypium hirsutum*, L.) é uma planta da família das Malváceas de alto valor econômico e social para o Brasil. Representa uma das fibras mais importantes e sua pluma, o algodão, representa 74% das fibras naturais utilizadas pela indústria têxtil. Atualmente o Brasil ocupa a 6ª posição na produção da fibra. As regiões de Mato Grosso e Goiás atualmente detêm aproximadamente 75% da produção nacional (Anuário Brasileiro do Algodão, 2001).

4.2. Características Anatômicas do Algodoeiro

Com relação às características anatômicas do algodoeiro, Webber (1938) desenvolveu um trabalho bastante completo fazendo uma comparação entre várias

espécies. Para as plantas do gênero *Gossypium* observou as seguintes características: o pecíolo com presença de pêlos mais desenvolvidos que aqueles observados na bainha. O ponto mediano do sistema fibro-vascular do pecíolo possui forma de anel em arco fechado ou feixes isolados, arranjados em anel. O parênquima central é usualmente homogêneo, com presença de conteúdo marron escuro. O arranjo dos tecidos de caules dessa espécie, é organizada na ordem centripetal em epiderme, córtex circundado pelo periciclo, floema, câmbio, xilema e medula.

A lâmina foliar apresenta pêlos na sua superfície (tricomatas) que segundo Metcalf & Chalk (1950) é uma das principais características das Malváceas; que costumam ser mais abundantes na epiderme abaxial das folhas do gênero *Gossypium*. A superfície da lâmina mostra feixes vasculares de vários tamanhos, envoltos por bainha parenquimática e esclerenquimática que formam extensões da bainha (Rocha & Neves, 2000). Os feixes vasculares são do tipo colateral, apresentando-se em número variado, separados entre si ou formando anel contínuo (Metcalf & Chalk, 1950). Grande quantidade de cristais de oxalato, do tipo drusas, foi observado no parênquima de pecíolos de espécies de Malváceas (Rocha & Neves, 2000).

4.3. Funções do B na planta

O boro (B) é o único nutriente que, na planta, não satisfaz o critério direto de essencialidade, ou seja, ainda não se encontrou composto vital do qual participe e nem se identificou qualquer reação importante para o metabolismo, que deixe de existir em sua ausência (Malavolta et al., 1997). Embora não haja dúvidas quanto a essencialidade do

B para as plantas, ainda não se encontram estabelecidas todas as funções bioquímicas deste nutriente (Dechen et al., 1991; Matoh, 1997).

São atribuídas ao B as seguintes funções: formação da parede celular e divisão celular (Dechen et al., 1991), alongação celular e metabolismo de ácidos nucléicos (Kouchi & Kumazawa, 1976), metabolismo das auxinas (AIA), fenóis e lignificação da parede celular (Lewis, 1980), transporte de carboidratos e auxinas (Tang & Fuente, 1986), metabolismo de carboidratos e transporte de açúcares das membranas (Dechen et al., 1991). Sendo particularmente importante na germinação do grão de pólen assim como no crescimento do tubo polínico (Miley et al., 1969; Agarwala et al., 1981).

A deficiência de B promove declínio na atividade meristemática na região apical das raízes, inibindo a alongação e impedindo completamente a divisão celular, o que tem como consequência a deformação na estrutura anatômica da extremidade dessas raízes (Kouchi & Kumazawa, 1975). Nesse mesmo estudo, os autores observaram que em condições de deficiência de B, as raízes do tomateiro apresentavam menor espessura de parede celular, além de espaços intercelulares menos desenvolvidos. Moraes-Dallaqua (1992) estudando o efeito do B na anatomia de raízes de feijoeiro, observou variação em tamanho e forma das células da coifa, apresentando as mesmas hipertrofias. Com relação à estrutura do caule, em condições de plantas deficientes, não observou diferenciação nítida entre os tecidos vasculares, a epiderme e o córtex.

Sanfluentes (1966) estudando alterações anatômicas no algodoeiro em função da deficiência de B, verificou cor parda das paredes dos elementos do xilema de folhas, atribuindo isso à necrose dos tecidos. Quando foram comparadas às plantas deficientes em B com àquelas cujo suprimento era normal, observou-se que no tratamento

sem B, os vasos condutores se apresentavam em menor número, com contorno irregular e de parede mais espessa.

A deficiência em B resulta também em rápida inibição do crescimento (Marschner, 1995). Essa inibição ocorre em virtude da função estrutural que o nutriente desempenha na composição da parede celular (Hu & Brown, 1994) e pela mobilidade restrita do B em algumas espécies que não produzem quantidades suficientes de polióis (manitol, sorbitol e dulcitol) na seiva do floema (Shu et al., 1997). Dados de pesquisa mostram que 90% do B está localizado na parede celular, complexado com a pectina, sendo o elemento responsável pela extensibilidade da parede celular permitindo seu alongamento. O B está envolvido em muitos processos de crescimento e fisiológico da planta, e o entendimento dos efeitos de sua deficiência na concentração de carboidratos não estruturais no tecido do algodoeiro podem levar ao entendimento dos mecanismos de resposta da planta à deficiência do nutriente. O metabolismo do carbono é fundamental para o crescimento da planta e formação da produção. O conhecimento da concentração e composição dos carboidratos não estruturais (frutose, sacarose, sucrose, etc) no tecido da planta é um importante indicador do estado do carbono (Zhao & Oosterhuis, 2002). Sanlfontes (1966) verificou acúmulo de amido em células de folhas de algodoeiro deficiente em B.

A limitação na capacidade de expansão e divisão celular na zona da raiz, mencionada anteriormente, é promovida pela diminuição na capacidade fotossintética das plantas deficientes. Porém, Dugger (1983) esclarece que o B não está diretamente envolvido no processo de fotossíntese. Segundo o autor o B reduz a fotossíntese pela redução parcial da atividade de compostos nitrogenados, como por exemplo a uracila, precursora da UDPG (uridina difosfato glicose), responsável pela síntese de sacarose

(Birnbaum et al., 1977). Com a diminuição da UDPG, pela ausência de B, ocorre o acúmulo de amido e diminuição na translocação de fotoassimilados (Moraes-Dallaqua, 1992). Zhao & Oostehuis (2002) observaram que, em condições de deficiência de B no algodoeiro, houve decréscimos na taxa de assimilação de CO₂ com redução na translocação de fotoassimilados. A redução na taxa de fotoassimilação de CO₂, pode ser atribuído também à redução na frequência e no número de estômatos presentes na folha em caso de deficiência, resultando em decréscimos na condutância estomática do CO₂ (Sharma & Ramchandra, 1990). Leite (2002) observou menor número de estômatos em folhas de cafeeiro submetido à deficiência de B. Zhao & Oosterhuis (2002) observaram ainda que três semanas depois da remoção do B na solução, a concentração de amido no limbo foliar das plantas sem B foi mais alta que naquelas com B, porém, folhas deficientes apresentaram menor taxa de fotossíntese líquida que as folhas com o nutriente. Em contraste, as plantas sem B mostraram menor concentração de carboidratos não estruturais nos botões florais que as plantas com mais B, nas quatro ou cinco semanas depois da remoção do B na solução. Rosolem & Costa (2000) levantaram a hipótese de que a queda de botões florais do algodoeiro se devia a menor translocação do nutriente para as estruturas reprodutivas. Isso foi confirmado pelos estudos realizados por Zhao & Oosterhuis (2002) quando observaram menor concentração de carboidratos não estruturais em botões florais de plantas de algodoeiro deficientes em B.

O B é importante também na integridade da membrana plasmática e nas funções da mesma. Estudos desenvolvidos por Cakmak & Römheld (1997) mostraram membranas mal formadas e com perda da integridade funcional, em plantas deficientes nesse nutriente, concluindo que a complexação deste nutriente com polihidroxis é a responsável pela estabilidade da membrana. Em planta de cafeeiro deficientes em B (Leite,

2002), observou parede pouco espessa, com vazamento de conteúdo, atribuindo isso a mal formação da parede celular pela ausência de B, importante na formação de compostos pécnicos.

4.4. Mobilidade em plantas

O conhecimento sobre a mobilidade de um nutriente no floema da planta é importante na diagnose e correção de deficiência e toxicidade (Brown & Shelp, 1997), determinando a melhor estratégia de adubação. Desse modo, se o nutriente for imóvel, a aplicação via foliar poderá não ser efetiva, a menos que seja repetida frequentemente, pois a exigência será contínua (Rosolem & Bastos, 1997) e, o B, não podendo ser translocado do local de aplicação, não consegue suprir as exigências dos tecidos em formação (Brown & Hu, 1998).

Normalmente a descrição de sintomas e técnicas de amostragens baseia-se na premissa de que o B é imóvel na planta. Com base nessa informação, o uso de uma folha recém madura pode não ser apropriado, porque uma porção do nutriente presente neste órgão foi translocado para o xilema, não refletindo o real estado nutricional dos órgãos em crescimento (Brown & Shelp; 1997). As folhas apicais jovens ou tecido do fruto, poderiam ser mais representativas na diagnose (Rosolem & Costa, 2000).

A cultura do algodão é responsiva à aplicação do B, porém, há poucas e controversas observações a respeito da mobilidade do nutriente dentro da planta. A absorção deste nutriente pelas folhas e seu movimento nas partes recém desenvolvidas tem sido bastante questionada (Anderson & Ohki, 1972). Esses autores, aplicando 500 mg kg⁻¹ de solubor em três fases de desenvolvimento do algodoeiro, observaram que essa

prática promoveu absorção pelo limbo da folha, contudo, não verificaram translocação para o pecíolo localizado no ramo principal, mostrando a imobilidade do nutriente na planta de algodão. Assim, se existe mobilidade deste elemento, nessa cultura, ela é bastante limitada (Rosolem & Costa, 2000).

O B, na planta, pode encontrar-se na forma livre ou complexada. O nutriente possui mobilidade apenas naquelas espécies que produzem polióis (manitol, sorbitol e dulcitol) tornando possível a formação de B-poliol (Brown & Shu , 1997; Shu et al., 1997). Contudo, em espécies como algodão (Rosolem & Costa, 2000) e citrus (Boaretto et al., 2002) têm se observado que o B aplicado via foliar não é translocado do local de aplicação para as demais partes da planta, denotando uma mobilidade restrita desse nutriente nestas plantas. Acredita-se que nessas espécies não ocorra a formação desses polióis ou essa formação ocorre em quantidade insuficiente. Porém, para estas culturas, as pesquisas não tem investigado a presença desses açúcares.

O transporte de B a longa distância, das raízes para a parte aérea, é feito via xilema, estando isto relacionado com a taxa de transpiração. No entanto, nenhuma pesquisa comprovou a distribuição deste elemento diretamente dentro de órgãos aéreos, com sua respectiva taxa de transpiração, ou acumulação de B na parte aérea com transpiração, para estimar o conteúdo do elemento na seiva do xilema da planta toda (Gupta, 1993). Raven (1980) acreditava que uma vez depositado em órgãos em crescimento, o B estaria imóvel, contudo, posteriormente verificou que a diferença entre a concentração deste elemento encontrada no floema e em folhas novas era pouco expressiva. Gupta (1993) também observou concentração semelhante de B no exudado do floema e nos tecidos da parte aérea jovem, o que sugere que o floema, e não o xilema, é a fonte predominante de caminhamento do B para estes tecidos.

A baixa concentração do B no floema tem sido atribuída à sua alta permeabilidade na membrana das células e à baixa concentração do nutriente no xilema (Oertli & Richardson, 1970).

Rosolem & Costa (2000) mostram que a aplicação foliar do B no algodoeiro não evita os prejuízos causados pela deficiência, mesmo que temporária, evidenciando assim a imobilidade do B na planta, porém os aumentos de produtividade para a cultura, conseguidos por Carvalho et al., (1996) com aplicações foliares de B, sugerem que há translocação do nutriente dentro da planta. É possível que essa divergência de respostas ocorra em função de cultivares.

4.5. Deficiência e Toxidez

A deficiência de B é um problema mundial, que ocorre em 23 países dos cinco continentes (Shorrocks, 1997). No Brasil foi constatada a deficiência deste nutriente em culturas de importância econômica em pelo menos dez Estados (Malavolta, 1981). Os primeiros sintomas de deficiência de B no algodoeiro foram detectados em plantios no Estado de São Paulo (Silva et al. 1979).

O B é um micronutriente que possui o limite entre sua concentração tóxica e deficiente bastante tênue (Gupta, 1993; Goldberg, 1997). Geralmente os sintomas típicos de deficiência que costumam limitar a produtividade das culturas são: deformação e inibição do crescimento das raízes, apodrecimento do ápice da planta, alteração na composição da semente e abortamento de flores (Sah & Brown, 1997). Porém, fatores como espécie de planta e intensidade de deficiência, podem determinar a manifestação dos sintomas da deficiência do B. Contudo, Rosolem et al. (1999) avaliando deficiência do

nutriente em três cultivares de algodão (CNPA-ITA 90, IAC 22 e IAC 20) não notaram diferenças muito expressivas entre estes.

Em algodoeiro, o quadro sintomatológico de deficiência de B é função da carência do nutriente no solo, do tempo de exposição das plantas à essa situação (Silva et al., 1982) e da magnitude da deficiência (Rosolem et al., 1999). Os sintomas de deficiência mais comuns são: deformação na flor, engrossamento e rachadura no pecíolo e no caule, amarelecimento das brácteas, queda de flores e frutos jovens (Silva et al., 1988), além de limbo deformado, morte da gema apical, com superbrotamento das gemas laterais e redução de crescimento, resultando em menor número de nós (Rosolem et al., 1999) excessos de crescimento e atraso no ciclo da cultura, além de manchas escuras na base dos frutos (Silva et al., 1988; Carvalho, 1980).

Uma das respostas mais rápidas à deficiência de B é a inibição e o cessamento do crescimento das raízes laterais (Marschner, 1995) assim como da parte aérea (Dechen et al., 1991), podendo prejudicar a maturação do tecido vascular, especialmente do xilema primário (Kouchi & Kumazaka, 1975). Em algodoeiro, o quadro sintomatológico de deficiência de B é função da carência do nutriente no solo e do tempo de exposição das plantas a essa situação (Silva et al., 1979; Carvalho et al., 1980).

A expressão dos sintomas depende também da magnitude da deficiência do B. Em solos muito deficientes, os sintomas podem aparecer logo após a emergência das plântulas. Nesse caso, dependendo da severidade, não há crescimento, os pecíolos ficam retorcidos e o limbo deformado, ocorre morte da gema apical, com superbrotamento das gemas laterais e redução na altura das plantas, resultando em menor número de nós produzidos (Sanfluentes, 1966; Rosolem et al., 1999). Quando a deficiência não é tão severa, os sintomas aparecem a partir do florescimento, com surgimento de

brácteas cloróticas, corolas atrofiadas e queda excessiva de botões florais; os frutos atrofiam, necrosam na base e caem; as folhas mais novas apresentam pequeno ângulo, com pecíolos menores e com limbo enrugado e levemente cloróticas e os pecíolos das folhas da parte superior apresentam anéis verde escuro (Sanfluentes, 1966; Silva & Carvalho, 1982; Rosolem & Bastos, 1997). Caso a deficiência ocorra a partir da frutificação verifica-se queda de estruturas reprodutivas, conforme verificaram Rosolem & Bastos (1997).

O B é tóxico para muitas espécies em níveis próximos àqueles requeridos para as condições normais de desenvolvimento (Dechen et al., 1991). Sua toxicidade ocorre mais frequentemente em áreas áridas e semi-áridas pelo alto teor do nutriente nestas regiões e pela adição de B na água de irrigação (Gupta, 1993). O limite entre a concentração deficiente e tóxica de B é menor para esse nutriente que para outros (Goldberg, 1997). Em virtude disso, a determinação da dose ideal é extremamente importante para evitar a toxicidade causada pelo nutriente (Silva et al., 1979; Carvalho, 1980, Rosolem et al., 1999).

As variações na expressão dos sintomas de toxicidade do B nas espécies, por sua vez, são determinadas pela diferença na sua mobilidade, sendo basicamente dois os tipos de sintomas de toxidez em consequência da mobilidade: para as espécies nas quais o B é imóvel, a toxicidade é exibida como queimadura do ápice/margem de folhas velhas, enquanto que nas espécies onde ele é móvel, o "dieback" meristemático é o primeiro sintoma de toxicidade (Brown & Hu, 1998).

Em algodão o sintoma de toxicidade de B se caracteriza pelo aparecimento de clorose internerval que evolui para crestamento e queda prematura das folhas (Silva et al., 1979). No Brasil foi constatada toxicidade de B com doses acima de 2,0

kg ha⁻¹ (Silva et al., 1982; Carvalho, 1980), observando sintomas de toxidez já em folhas cotiledonares, tanto em casa de vegetação quanto em condições de campo.

4.6. Resposta do algodoeiro ao B

O algodoeiro responde bem a adubação boratada, principalmente em solos com baixos teores de matéria orgânica, pH corrigido e bem suprido em nitrogênio, fósforo e potássio (Rosolem & Costa, 2000).

Em geral, plantas dicotiledôneas requerem uma quantidade de B que varia de 10 a 100 mg kg⁻¹ do nutriente na matéria seca de folhas (Dechen et al., 1991). Porém, as quantidades a serem fornecidas ao algodoeiro variam em função da necessidade e do modo de aplicação (Quaggio et al., 1991). Fazendo um estudo comparativo da eficiência de aplicação por via foliar e via solo, Banuelos et al. (1996) verificaram aumentos na concentração de B na folha de algodão pela aplicação foliar. Carvalho et al. (1996) também observaram aumentos na concentração de B em folhas de algodoeiro pela aplicação complementar, contudo, verificaram que a produtividade não aumentou na mesma proporção.

Isso sugere que a aplicação do B às folhas apresenta melhor resposta em termos de concentração do nutriente na parte aplicada do que no rendimento, em virtude de sua imobilidade ou mobilidade limitada. Rosolem & Costa (2000) registraram pequeno incremento no rendimento de matéria seca de hastes e folhas, com aplicação de B em folhas velhas de algodoeiro. Em condições de deficiência não acentuada, quando os sintomas ainda não apareceram, aplicações de doses de 0,3 a 0,8 kg ha⁻¹ de B na semeadura têm mostrado eficiência, sem causar toxicidade. Quanto à análise foliar, a literatura mostra

índices variando de 10 a 40 mg kg⁻¹ (Quaggio et al., 1991). Silva et al. (1979) usando borax em quatro doses, verificaram concentrações de B nas folhas carentes variando de 10 a 39 mg kg⁻¹ e nas folhas com graves sintomas de toxicidade, concentrações acima de 590 mg kg⁻¹ do nutriente. Concentrações de 22 mg kg⁻¹ de boro em limbo + pecíolos de algodoeiro é considerada normal para o crescimento e desenvolvimento da cultura (Anderson & Ohki, 1972). Já Rosolem et al. (1999) consideraram para esta cultura, teores de 16 mg kg⁻¹ em folhas recém maduras como suficientes para um bom crescimento e produção, com o nível de 21 µmol L⁻¹, onde se obteve a máxima produtividade para as três variedades estudadas. O nível crítico de B em folhas do 4º ramo principal (usando o pecíolo para análise) observado por Oosterhuis & Brown (2001) foi de 17 mg kg⁻¹, abaixo da qual o crescimento e desenvolvimento da planta foram afetados. Para condições de campo, porém, Silva et al., (1982) apontam teores de 40 mg kg⁻¹. Em condições de casa de vegetação Sanfluentes (1966) observou as seguintes concentrações críticas para algodoeiro: 34 mg kg⁻¹ para folhas velhas, 30 mg kg⁻¹ para folhas maduras e 26 mg kg⁻¹ para folhas novas. Usando uma solução nutritiva com 0,5 mg kg⁻¹ de B em algodoeiro Sarruge et al. (1963) consideraram concentrações adequadas de 106 mg kg⁻¹ para folhas superiores e 114 mg kg⁻¹ para folhas inferiores, 8 mg kg⁻¹ para caule e 23 mg kg⁻¹ para raízes. Eaton (1932) usando 1 mg kg⁻¹ de B na solução encontrou concentração de 187 mg kg⁻¹ de B em folhas de algodoeiro.

5. MATERIAL E MÉTODOS

Foram realizados três experimentos com solução nutritiva, em casa de vegetação, na Faculdade de Ciências Agronômicas-Unesp-Campus de Botucatu-SP, utilizando-se a cultivar de algodão DeltaOpal. Nos três experimentos, as sementes foram colocadas para germinar em areia lavada desinfetada com ácido clorídrico a 10% para depois serem transplantadas para os vasos contendo solução nutritiva sugerida por Hoagland & Arnon (1950) modificada (Quadro 1), quando atingiram o primeiro par de folhas verdadeiras.

Quadro 1. Composição da solução nutritiva.

Concentrações dos nutrientes na solução nutritiva	Solução no vaso ml L ⁻¹
KNO ₃	6
Ca(NO ₃) ₂ 4H ₂ O	4
NH ₄ PO ₄	1
MgSO ₄	2
FeEDTA*	1
H ³ BO ₃	1
MnCl ₂ 4H ₂ O	1
CuSO ₄ 5H ₂ O	1
ZnSO ₄ 7H ₂ O	1
(NH ₄) ₆ Mo ₇ O ₂₄	1
Experimento 1	
Tratamentos (μmol L ⁻¹ de B)	Quantidade aplicada por vaso (ml)
0,0 μmol L ⁻¹	0,0
5,0 μmol L ⁻¹	0,054
10,0 μmol L ⁻¹	0,108
20,0 μmol L ⁻¹	0,216
Experimentos 2 e 4	
0,0 μmol L ⁻¹	0,0
1,5 μmol L ⁻¹	0,097
3,0 μmol L ⁻¹	0,194
4,5 μmol L ⁻¹	0,292
6,0 μmol L ⁻¹	0,390
Obs: os tratamentos foram preparados a partir de uma solução de 1000 ppm. Micronutrientes- na solução de ½ força usou-se 0,8 ml L ⁻¹ .	

*Pesar 14,89 g L⁻¹ de NaEDTA + 10,84 g L⁻¹ de FeCl₃, separadamente, diluir cada um dos reagentes em 400 mL de água destilada, juntar num becker e completar para para 1 L. Guardar na geladeira em frasco escuro e envolvido com papel alumínio.

Nos primeiros dias, a solução continha apenas metade da concentração dos nutrientes, dada a baixa necessidade inicial das plantas. Durante todo o período foi monitorado o pH da solução, que permanentemente aerada, mantendo-o em torno de 5,5±0,3, utilizando para sua correção NaOH a 0,1 M. A umidade relativa do ar e a temperatura do ambiente foram monitorados diariamente com o auxílio de um termigrógrafo com os dados sendo coletados quinzenalmente. A solução foi renovada

semanalmente ou quando o pH se afastava da faixa preestabelecida. Durante a condução dos experimentos o controle de eventuais pragas e doenças foi feito utilizando-se defensivos químicos. A reposição da água transpirada inicialmente era realizada a cada dois dias; com o crescimento da planta, diariamente ou de acordo com a necessidade. Para todos os experimentos, foram feitas avaliações visuais diárias das plantas para detectar possíveis alterações na morfologia em função dos tratamentos, sendo os sintomas anotados e fotografados. Para determinação de massa de matéria seca, o material vegetal foi lavado rapidamente com água destilada, levado à estufa de circulação forçada à 65 °C até atingir peso constante. A determinação de B no material vegetal seguiu recomendação de Malavolta et al. (1997), utilizando o método da azometina-H.

5.1. Experimento 1.

Para o primeiro experimento as plantas foram transferidas da areia lavada para vasos com capacidade para 3,5 L com solução nutritiva com ½ força, para melhor adaptação da planta, colocando-se seis plantas por vaso, permanecendo mais ou menos trinta dias nessa condição. Passado esse período, nova seleção de plantas foi realizada e as mais uniformes foram transferidas para vasos com capacidade para 36 L, utilizando-se solução com força completa e deixando-se duas plantas por vaso. A aplicação dos tratamentos foi realizada considerando a fase fenológica da planta, assim as plantas permaneceram nessa situação até o surgimento dos botões florais, quando foram implantados os tratamentos. Isso ocorreu por volta dos 45 dias após a emergência das plântulas.

Este experimento constou de duas etapas: no período compreendido entre 45 e 60 dias após a imposição dos tratamentos, as plantas receberam cinco doses de B na solução, a saber: 0-5-10-20 $\mu\text{mol L}^{-1}$ associado com aplicação foliar, como segue: sem B foliar, B folha nova e B em folha velha. No período de 60 a 75 dias após a imposição dos tratamentos, foi eliminada a aplicação foliar e a solução recebeu uma dose única de 20 $\mu\text{mol L}^{-1}$, com exceção da testemunha que foi mantida sem aplicação de B.

As plantas foram divididas em três porções: aquela desenvolvida no período de 0 aos 45 dias, quando todas as plantas receberam a solução completa, chamada de porção inferior; a desenvolvida no período de 45 a 60 dias, período de imposição dos tratamentos, de porção mediana e de porção superior, a parte que cresceu no período de 60 a 75 dias após a imposição dos tratamentos, quando foi aplicado uma dose única de B na solução. Os segmentos desenvolvidos em cada período foram marcados com fitas coloridas. Para efeito de aplicação foliar, as folhas da porção mediana foram consideradas folhas velhas, e as da porção superior, de folhas novas. Para efeito de avaliação dos tratamentos, foram consideradas as porções mediana e superior, já que a porção inferior correspondia a parte em que a planta encontrava-se com a solução de crescimento. A aplicação do ácido bórico (0,3%) foi feita com o auxílio de pincel e/ou cotonete fazendo-se duas aplicações de 0,26 mg planta⁻¹ por vez, nas folhas previamente marcadas.

A colheita do experimento foi realizada respeitando-se a marcação inicial que dividia cada segmento desenvolvimento em cada período. No ato da colheita, cada segmento desse foi dividido em limbo mais pecíolo e haste principal mais ramificações, além de sistema radicular. Foi também quantificado, por ocasião da colheita, o número de estruturas reprodutivas presentes nas plantas.

O delineamento experimental utilizado foi constituído por um fatorial 4 x 3, disposto em blocos casualizados, com quatro repetições, totalizando 48 unidades experimentais. As doses de B na solução foram submetidas à regressão polinomial e a aplicação foliar ao Teste LSD a 5% de probabilidade.

5.2. Experimento 2.

A partir dos resultados do primeiro experimento instalou-se outro com objetivo de avaliar o efeito da aplicação de B no desenvolvimento e no acúmulo do nutriente no algodoeiro, tentando avaliar a eficiência da aplicação foliar. Nesse experimento, as plantas foram transferidas para os vasos com capacidade para 4 L, colocando-se duas plantas por vaso, que continha solução nutritiva.

As plantas foram submetidas à uma solução de $\frac{1}{2}$ força por uma semana, passando em seguida para a concentração total, ficando em solução de crescimento por um período de 15 dias. Foram instituídos os tratamentos: 0-1,5-3,0-4,5-6,0 $\mu\text{mol de B L}^{-1}$ na solução, com mais dois tratamentos onde se associou às doses de 3,0 e 4,5 $\mu\text{mol L}^{-1}$ de B aplicações foliares. Depois de 15 dias, o B foi retirado da solução e quinze dias após fez-se a coleta das plantas. A porção desenvolvida de 0 a 15 dias, foi chamada inferior, a porção crescida de 15 a 30 dias, de mediana e, de superior, a porção desenvolvida de 30 a 45 dias após a implantação do experimento. Como no primeiro experimento, para efeito de tratamento foram consideradas as frações desenvolvidas nos períodos de 15 a 30 e de 30 a 45 dias. Cada porção foi marcada com fitas coloridas e a coleta foi feita respeitando-se essa marcação, do mesmo modo que no experimento anterior.

No ato da coleta foram tomadas medidas de altura de plantas, diâmetro de caules, número de ramos e número de botões florais. As plantas foram divididas em parte aérea mais sistema radicular, sendo ainda a parte aérea dividida em folhas e hastes e determinada a massa de matéria seca e concentração de B no tecido. Para os dados de altura de plantas, diâmetro de caule, número de ramos, número de estruturas reprodutivas e massa de matéria seca de raiz, foram considerados todos os tratamentos. Para a produção de matéria seca de parte aérea e concentração e acúmulo do B no tecido foi eliminado o tratamento sem B, porque em função da baixa produção de matéria seca, não havia material suficiente para as determinações laboratoriais, além disso, na metade das repetições as plantas morreram. Assim para estes parâmetros foram utilizados seis tratamentos enquanto que para os demais, se utilizou os sete tratamentos. O experimento foi analisado utilizando o delineamento experimental inteiramente casualizado com quatro repetições. Os dados foram submetidos a análise de regressão polinomial.

5.3. Experimento 3.

O terceiro experimento teve como objetivo observar possíveis alterações na anatomia do algodoeiro em função dos tratamentos aplicados, utilizando-se dois tratamentos, um com deficiência ($1,5 \mu\text{mol L}^{-1}$ de B) e outro com suficiência ($4,5 \mu\text{mol L}^{-1}$ de B) B na solução, usando como fonte o ácido bórico.

O procedimento na condução do experimento foi o mesmo utilizado para os dois experimentos anteriores; as plantas foram mantidas em vasos de 4 L permanecendo na solução de crescimento por 30 dias, sendo 15 dias em solução $\frac{1}{2}$ força e

15 dias em solução em concentração completa, quando os tratamentos foram instituídos. Aproximadamente 15 dias após o surgimento dos botões florais foram retiradas amostras de tecido para análises anatômicas em microscopia óptica.

Para o estudo anatômico foram retiradas amostras da região mediana do pecíolo da folha do primeiro nó a partir da gema apical do ramo principal e do pedúnculo de botões florais do primeiro ramo reprodutivo das plantas. Os materiais vegetais amostrados foram fixados em FAA 50 (Johansen, 1940), estocados em álcool 70% e posteriormente, incluídos em historresina glicol-metacrilato, segundo técnica preconizada por Gerrits (1964). Foram realizadas secções transversais medianas com auxílio de micrótomo rotativo, entre 7-10 μm de espessura, submetidas à coloração com azul de toluidina 0,05% (O'Brien et al., 1964) e montadas em Permount.

O laminário foi analisado e os resultados obtidos foram documentados através de fotomicrografias realizadas em fotomicroscópio Zeiss, modelo MC 80.

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1.Experimento 1.

6.1.1. Produção de matéria seca de folhas e hastes e número de estruturas reprodutivas

No período de 45-60 dias (Figura 1) a planta produziu mais folhas quando o B foi aplicado em folhas velhas, inicialmente, ocorrendo resposta até $5 \mu\text{mol L}^{-1}$ de B. Com o aumento da dose para $20 \mu\text{mol L}^{-1}$, a produção foi drasticamente reduzida chegando a valores inferiores àqueles observados quando não houve B na solução, revelando possível efeito de toxidez pela nutriente. O B é um nutriente cuja faixa entre a concentração deficiente e tóxica é bastante estreita (Matoh, 1997). Essa resposta para a aplicação em folhas velhas denota a baixa mobilidade do nutriente na planta. A aplicação em folhas novas apresentou resultados intermediários, sendo decrescentes com o aumento

da disponibilidade do B na solução, contudo, por volta de $10 \mu\text{mol L}^{-1}$, o comportamento foi semelhante aquele obtido em ausência de B foliar.

Quando a concentração de B na solução foi baixa, a aplicação foliar concorreu para aumentar a produção de folhas ao passo que se a concentração já estava alta, essa complementação de B através da folha promove um efeito de toxidez na planta.

Como o B é um nutriente essencial para o crescimento das plantas (Malavolta et al., 1997), em condições de deficiência grande parte do nutriente fica retida na parede celular (Sherrocks, 1997), restando pequena quantidade para ser redistribuído para as regiões de crescimento (Matoh, 1997) em função disso, a planta tem seu crescimento alterado. Assim, quando havia deficiência na solução, as folhas velhas parecem ter utilizado o B aplicado; quando não houve deficiência, como o requerimento das folhas estava satisfeito, houve maior resposta das folhas novas. De acordo com Shu et al. (1994) isso pode explicar porque, em situação de deficiência de B, tem-se obtido alguma resposta ao nutriente aplicado via foliar mesmo este sendo imóvel na planta.

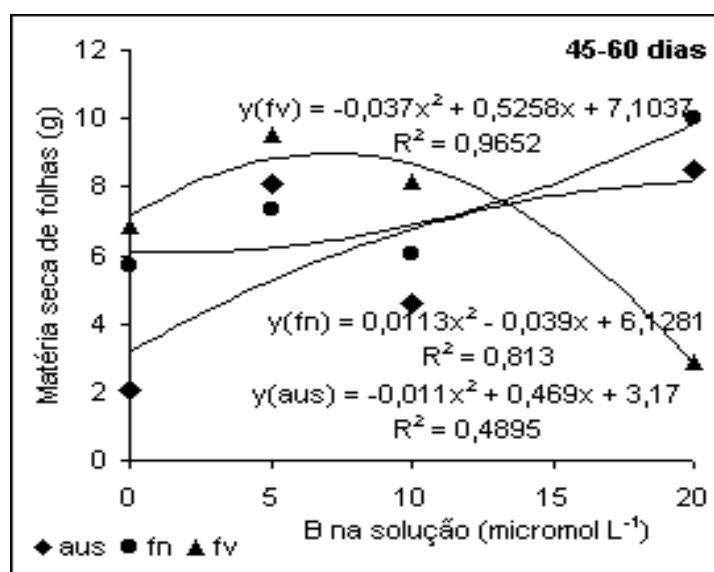


Figura 1. Produção de folhas de algodoeiro em função da aplicação de B. Período de 45 a 60 dias.

Quando na solução havia dose única de B, no período de 60-75 dias (Figura 2), houve comportamento diferente dependendo da aplicação foliar. Houve resposta até a dose de $10 \mu\text{mol L}^{-1}$ para a aplicação em folhas velhas, contudo, é importante salientar que quando a concentração passou de 5 para $10 \mu\text{mol L}^{-1}$, a massa de folhas produzidas na ausência de aplicação foliar e folhas novas foi semelhante. Esse comportamento é justificado considerando que no período anterior a dose mínima de B, ou seja, $5 \mu\text{mol L}^{-1}$ já foi suficiente para que ocorresse a produção máxima de folhas. Assim um aumento nessa concentração promoveria um efeito tóxico reduzindo a produção de folhas. Esse efeito tóxico do B sobre a produção denota mais uma vez que o B aplicado em folhas não é distribuído para as demais partes da planta. Isso se confirma ainda quando se observa que a maior produção foi obtida quando o B foi aplicado em folhas velhas.

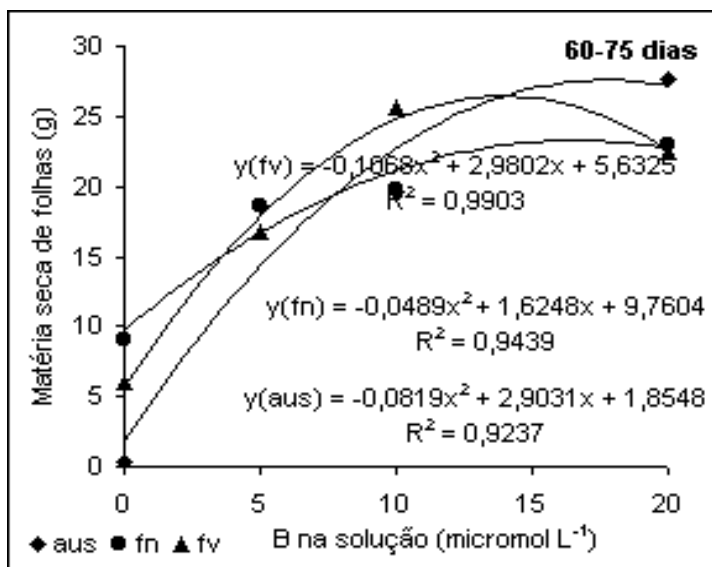


Figura 2. Produção de folhas de algodoeiro em função da aplicação de B. Período de 60 a 75 dias.

Analisando a produção de folhas no período de 45-75 dias (Figura 3), o maior destaque ocorreu para a aplicação em folhas velhas quando na solução havia 10 $\mu\text{mol L}^{-1}$, reduzindo os valores quando a concentração atingiu 20 $\mu\text{mol L}^{-1}$ na solução. Desse modo, embora o destaque continue sendo para folhas velhas, o que é justificado pela mobilidade restrita do B no floema, houve necessidade de um incremento na dose em relação ao primeiro período, para que a planta melhor respondesse.

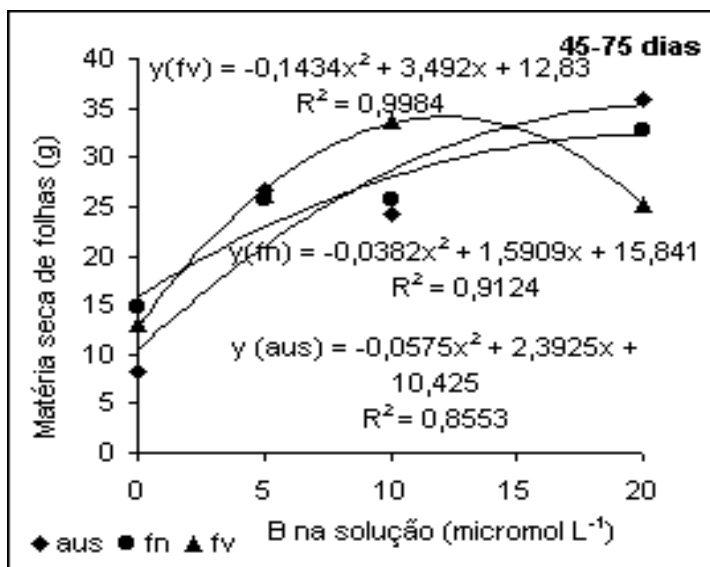


Figura 3. Produção de folhas de algodoeiro em função da aplicação de B. Período de 45 a 75 dias.

Com relação à produção de hastes no período de 45-60 dias (Figura 4), a aplicação em folhas novas e velhas apresentaram a mesma tendência, até 5 $\mu\text{mol L}^{-1}$ de B, porém a exemplo do que ocorreu para folhas, a maior produção foi obtida com aplicação em folhas velhas, com valores decrescentes com o aumento da concentração do B na solução. Apesar do B foliar ter reduzido a produção de hastes, essa redução foi bem menos significativa que aquela observada para folhas, mostrando maior sensibilidade das folhas à toxidez de B. A exemplo da produção de folhas, altas concentrações de B levaram a toxidez do nutriente em hastes.

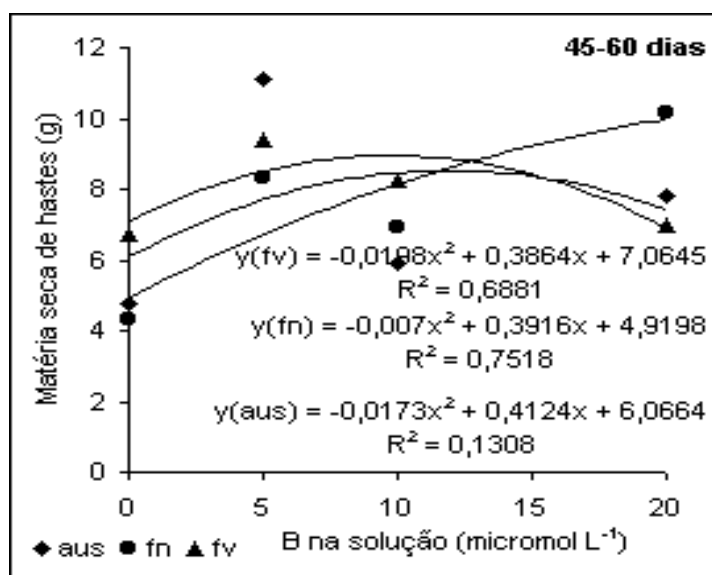


Figura 4. Produção de hastes de algodoeiro em função da aplicação de B. Período de 45 a 60 dias.

Analisando a produção de hastes no período de 60-75 dias, observada na Figura 5, houve incremento dos valores com o aumento das doses de B na solução até 10 $\mu\text{mol L}^{-1}$, e mais uma vez, a melhor resposta foi alcançada pela aplicação em folhas velhas, contudo com 20 $\mu\text{mol L}^{-1}$, não houve diferença na produção, independente da aplicação foliar, indicando que em condições de alta disponibilidade de B para a planta, a aplicação foliar não surte efeito ou surte efeito negativo já que contribuirá para elevar o nutriente na planta a um nível tóxico. Dada a baixa mobilidade do nutriente na planta, para que houvesse resposta da planta em termos de produção de hastes, foi necessário maior quantidade de B disponível, contudo, muitas vezes essa concentração foi elevada a um nível tóxico. Essa necessidade maior se dá provavelmente pelo fato de que grande parte do B na planta está na parede celular, principalmente em caso de baixa disponibilidade, desse

modo, o nutriente só será distribuído para as demais partes quando não houver mais parede para ser formada ou quando todos os sítios estiverem ocupados.

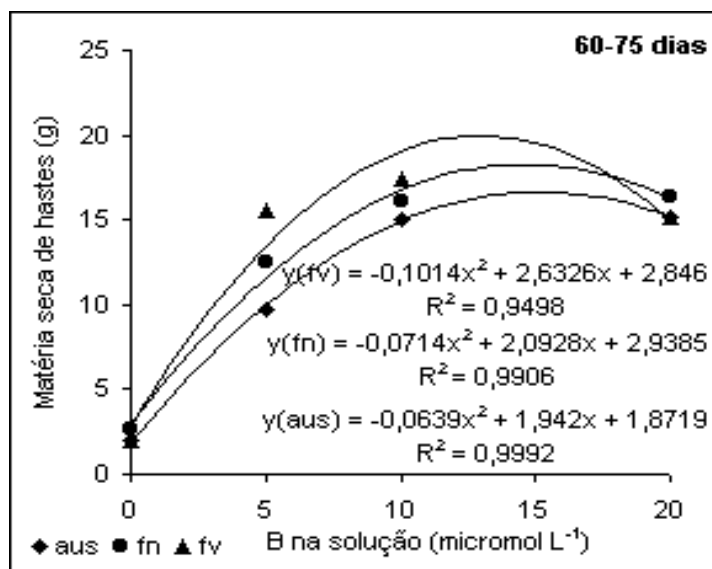


Figura 5. Produção de hastes de algodoeiro em função da aplicação de B. Período de 60 a 75 dias.

A produção de hastes no período de 45-75 dias (Figura 6) foi também maior pela aplicação de B em folhas velhas até 10 $\mu\text{mol L}^{-1}$, havendo queda de produção pelo aumento da concentração de B na solução. Um aspecto importante observado tanto na produção de folhas quanto de hastes neste período foi que o segundo melhor resultado foi obtido para a aplicação em folhas novas, quando na solução havia 20 $\mu\text{mol L}^{-1}$ de B. Quando B é aplicado em folhas novas vai formar material de parede celular, principalmente em condições de baixa disponibilidade, assim o que resta para cumprir as demais funções na planta é uma porção significativamente pequena, isso explica porque a aplicação do B em folhas novas só apresentou resposta quando a concentração do nutriente

era de $20 \mu\text{mol L}^{-1}$. Esse comportamento já havia sido detectado nos parâmetros analisados anteriormente.

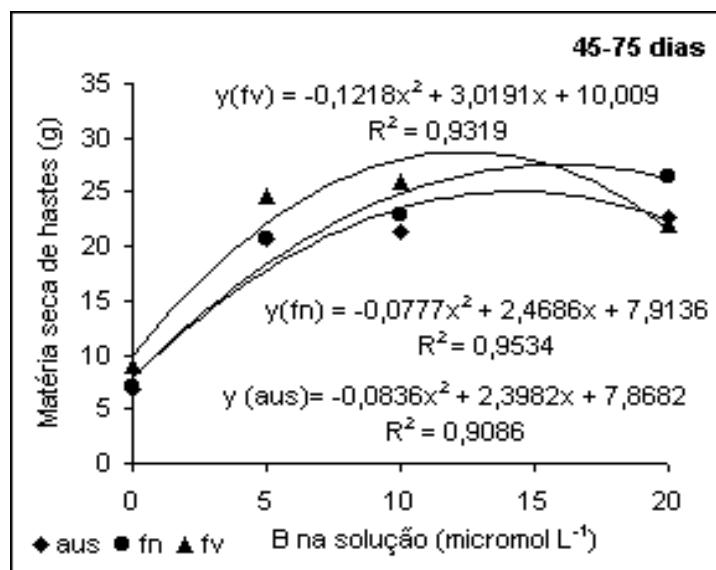


Figura 6. Produção de hastes de algodoeiro em função da aplicação de B. Período de 45 a 75 dias.

O número de estruturas reprodutivas foi influenciado pela aplicação de B na solução, sendo incrementado à medida que a concentração do nutriente na solução foi incrementado. A exemplo do que ocorreu com outros parâmetros, a planta respondeu até $10 \mu\text{mol L}^{-1}$, contudo sem diferença significativa da dose de $20 \mu\text{mol L}^{-1}$. Esse comportamento indica a importância desse nutriente na formação de estruturas reprodutivas. Com relação à aplicação foliar, embora tenha aumentado a retenção de estruturas, não houve diferença significativa entre estes tratamentos. Em caso de baixa disponibilidade para a planta a abscisão de botões estruturas ocorre porque o nutriente, dada a sua imobilidade na planta, não chega a esse órgão (Rosolem & Costa, 2000). Os resultados obtidos para retenção de estruturas reprodutivas podem ser explicados pela má

formação e/ou desorganização dos vasos. Pesquisa desenvolvida por Zhao & Oosterhuis (2002) confirmam que a deficiência de B reduz a translocação de fotoassimilados das folhas para os frutos, resultando na queda dos mesmos.

Em condições de baixa disponibilidade de B o nutriente fica retido em grande parte na parede celular (Matoh, 1997), não podendo ser distribuído para os demais órgãos; assim, a aplicação foliar não surte efeito. De acordo com Hu & Brown (1994) uma quantidade substancial de B está na parede celular e particularmente em condições de baixo suprimento; quando o suprimento é suficiente mais de 35% do B está na forma solúvel, podendo ser utilizado para o crescimento da planta.

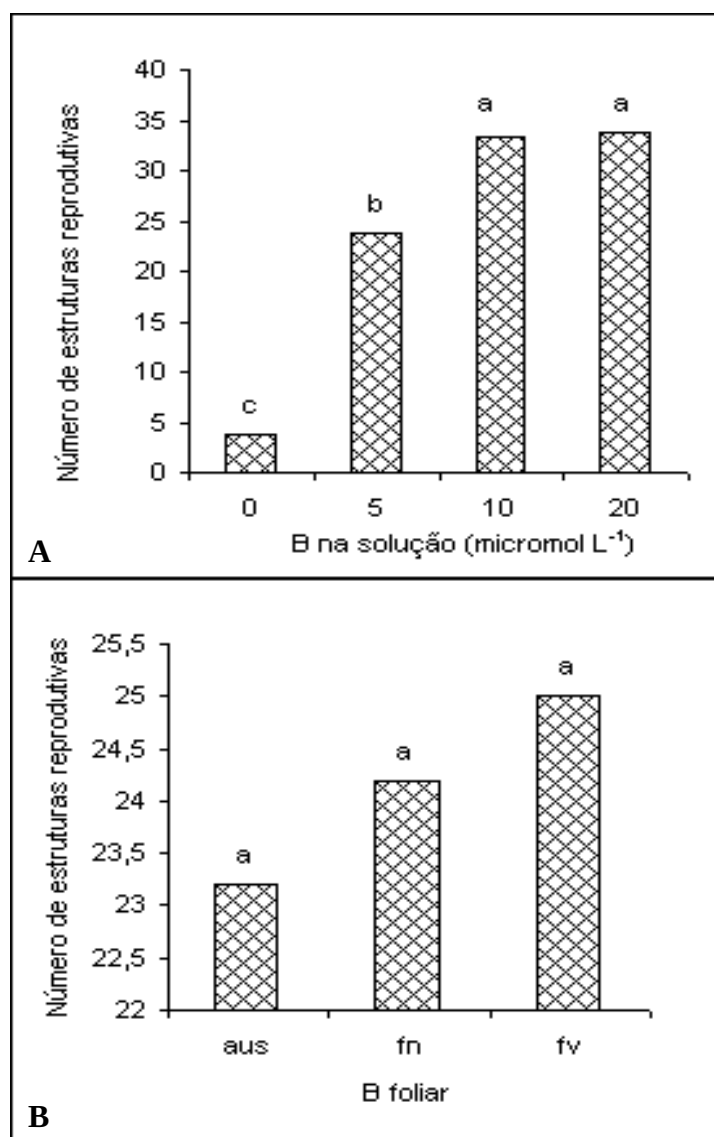


Figura 7. Número de estruturas reprodutivas em algodoeiro em função da aplicação de B.

6.1.2. Matéria seca e concentração de B em raízes

A produção de matéria seca de raiz variou com as doses de B aplicadas na solução e via folha, onde a maior produção foi alcançada pela aplicação do

nutriente em folhas velhas, sendo os valores crescentes até a dose de $10 \mu\text{mol L}^{-1}$. A raiz produziu menos quando o B foi aplicado em folhas novas. Os valores foram crescentes com o aumento das doses na solução, possivelmente pela necessidade constante do nutriente para a formação de novas raízes (Figura 8). Em ausência de B na solução foi verificado decréscimo na produção de matéria seca de raízes. Essa resposta foi notada logo nos primeiros dias após a omissão do nutriente na solução, onde se observou escurecimento das raízes, emissão exagerada de raízes laterais e engrossamento das raízes. Cerca de 24 horas após a supressão do nutriente o crescimento radicular havia paralisado, confirmando resultados já observados por Marschner (1995). Quando comparada com raízes com suprimento adequado, a massa de raiz de plantas com deficiência era menor. Esses sintomas também foram observados por Rosolem & Costa (2000). Os efeitos da ausência de B na raiz surgiram antecipadamente a parte aérea.

O efeito da supressão de B sobre o crescimento do sistema radicular pode ser notado três horas após a supressão (Dell & Huang, 1997; Marschner, 1995). Isso é resultado do decréscimo na divisão e alongação celular na região meristemática da raiz (Dell & Huang, 1999).

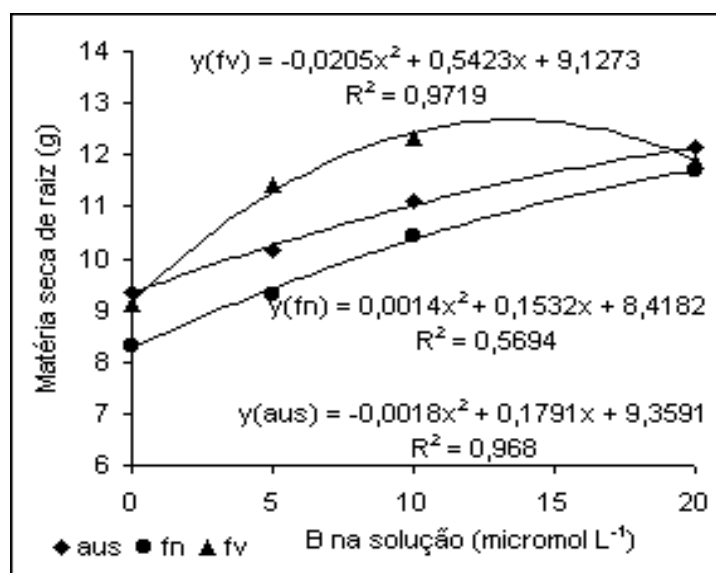


Figura 8. Produção de raiz de algodoeiro em função da aplicação de B.

A maior concentração de B na raiz foi obtida pela aplicação em folhas novas, com valores crescentes até $5 \mu\text{mol L}^{-1}$ de B. Em ausência da aplicação foliar, houve incremento bastante significativo pela aplicação com $5 \mu\text{mol L}^{-1}$. A concentração foi menos afetada pela aplicação em folhas velhas, que mostrou comportamento constante independente da concentração na solução (Figura 9). Rosolem & Costa (2000) observaram baixo acúmulo de B em raízes de algodoeiro quando o nutriente foi retirado da solução, contudo quando o nutriente foi repostado, houve acúmulo nesse órgão.

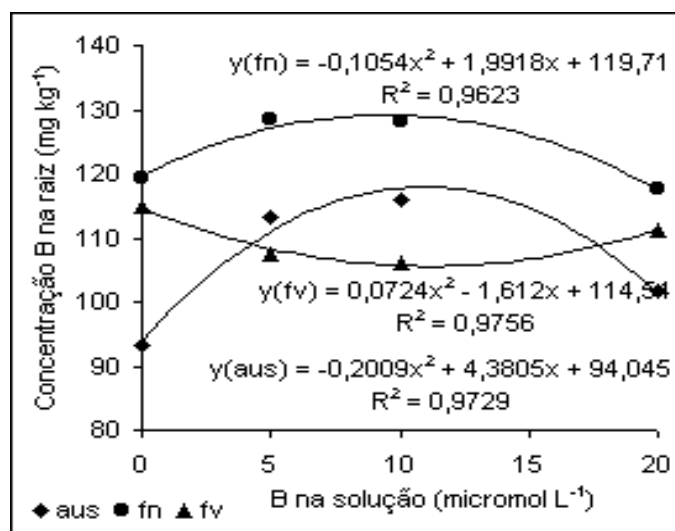


Figura 9. Concentração de B em matéria seca de raiz de algodoeiro em função da aplicação de B.

6.1.3. Concentração de B em folhas hastes

A concentração de B nas folhas no período de 45-60 dias (Figura 10), foi maior pela aplicação do B em folhas velhas, quando não havia B na solução. Indicando que quando o B foi aplicado via foliar, essa quantidade foi suficiente para que ocorresse a máxima concentração do nutriente na folha. Isso é justificado quando se observam as reduções na matéria seca com o aumento da concentração de B na solução, o que levaria a um aumento na concentração do nutriente naquele órgão à níveis tóxicos. Por não se translocar do local de aplicação para às partes em crescimento, acaba por elevar a concentração do nutriente a um nível tóxico, reduzindo a produção, conforme foi observado nas figuras anteriores. A aplicação em folhas novas mostrou a mesma tendência, embora, tenha apresentado resultados inferiores aqueles obtidos para folhas velhas.

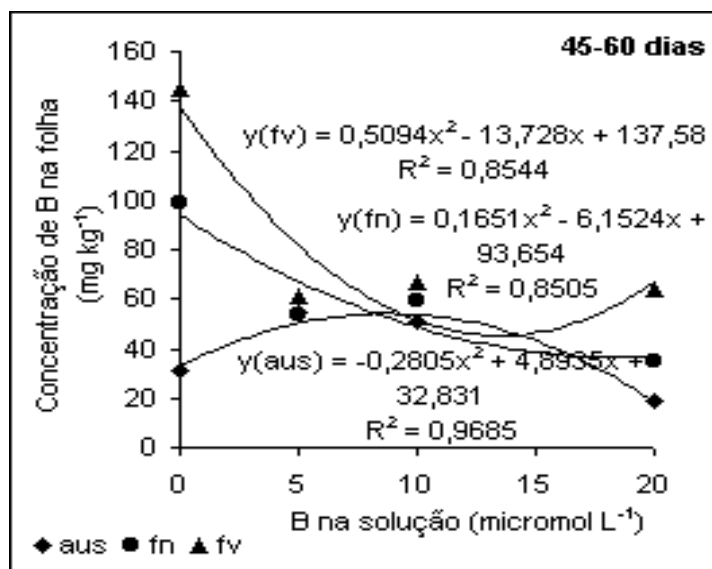


Figura 10. Concentração de B em folhas de algodoeiro em função da aplicação de com B. Período de 45 a 60 dias.

De acordo com a Figura 11, no período de 60-75 dias, a concentração de B em folhas revelou comportamento semelhante tanto pela aplicação em folhas novas quanto velhas, com redução dos valores a medida que a concentração foi incrementada na solução. Essa redução foi bastante significativa até os 10 $\mu\text{mol L}^{-1}$, havendo um tênue aumento quando na solução existia 20 $\mu\text{mol L}^{-1}$, especialmente para aplicação em folhas velhas. Quando a aplicação foi feita em folhas novas, essa resposta foi crescente até 5 $\mu\text{mol L}^{-1}$, com redução a medida que aumentava a concentração do nutriente na solução. Isso indica que se a aplicação é feita em órgãos em formação, já se consegue alguma resposta pela importância do nutriente na formação da parede celular. Fica claro então que uma pequena quantidade de B já foi suficiente para que ocorresse a divisão celular, embora essa quantidade não fosse suficiente para promover a diferenciação das células.

Os altos teores encontrados podem ser explicados considerando-se que o B segue a corrente transpiratória (Gupta, 1993). Assim, com a reposição do nutriente na solução a partir dos 60 dias, mesmo nas partes que encontravam-se deficientes acabaram por acumular quantidades significativas do nutriente.

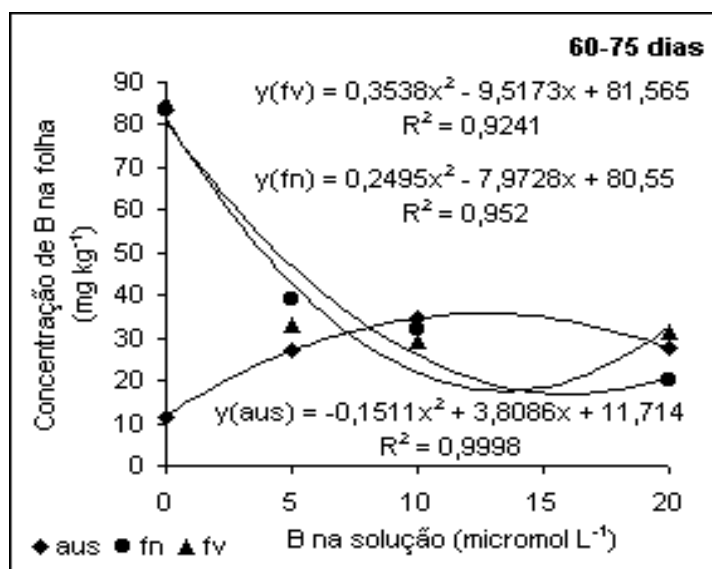


Figura 11. Concentração de B em folhas de algodoeiro em função da aplicação de B. Período de 60 a 75 dias.

A concentração de B nas hastes no período de 45 a 60 dias (Figura 12) foi máxima com 10 $\mu\text{mol L}^{-1}$ de B na solução, quando o B foi aplicado em folhas velhas. É importante salientar que independente do local de aplicação na planta, a concentração na haste tendeu a reduzir quando a concentração na solução foi superior a 10 $\mu\text{mol L}^{-1}$. Observando a tendência das curvas, a concentração do nutriente pela aplicação em folhas novas foi a que apresentou menor variação quando combinado com a aplicação via solução. Dordas & Brown (2001) analisando a concentração de B em raízes de plantas

de girassol deficiente observaram que os valores eram maiores naquele tratamento onde havia limitação de B em comparação com aquele onde o suprimento foi adequado. Rosolem & Costa (2000) também observaram que a concentração de B nas folhas deficientes foi mais alta que nas folhas com suprimento suficiente, atribuindo isso ao decréscimo na produção de matéria seca. Outra explicação para esse comportamento é que o B distribuído das folhas velhas para a parte superior é baixa por causa da baixa mobilidade do nutriente.

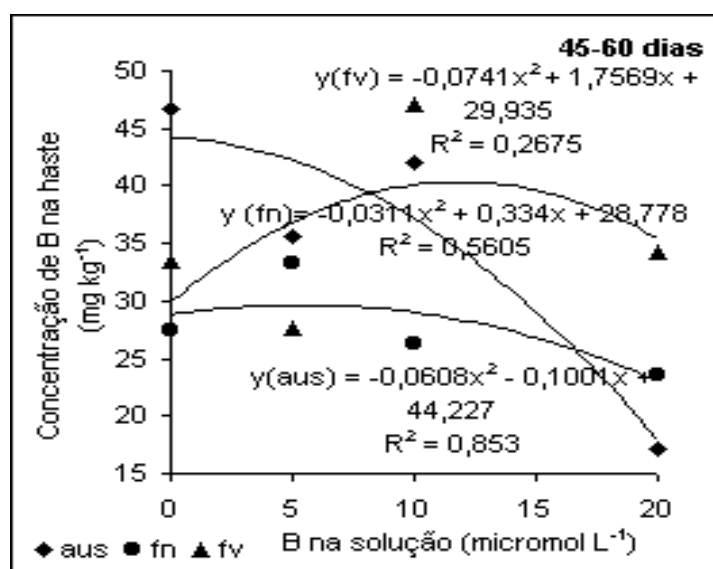


Figura 12. Concentração de B em hastes de algodoeiro em função da aplicação de B. Período de 45 a 60 dias.

No período de 60 a 75 dias, a maior concentração de B nas hastes foi observada pela aplicação em folhas velhas, em ausência do nutriente na solução, indicando que o B aplicado via foliar foi eficiente em aumentar a concentração do mesmo a nível máximo. Quando o B foi aplicado em folhas novas, houve um incremento na concentração até $5 \mu\text{mol L}^{-1}$, com reduções a partir desse ponto. Quando o B foi aplicado em folhas novas, houve necessidade de maior incremento do nutriente pela solução para

que houvesse um acúmulo satisfatório (Figura 13). Se o B é aplicado em folhas velhas, não havendo demanda para formação de material de parede, ou seja para cumprir as funções estruturais, é armazenado no órgão, o mesmo não ocorrendo se o nutriente é aplicado em órgãos em desenvolvimento.

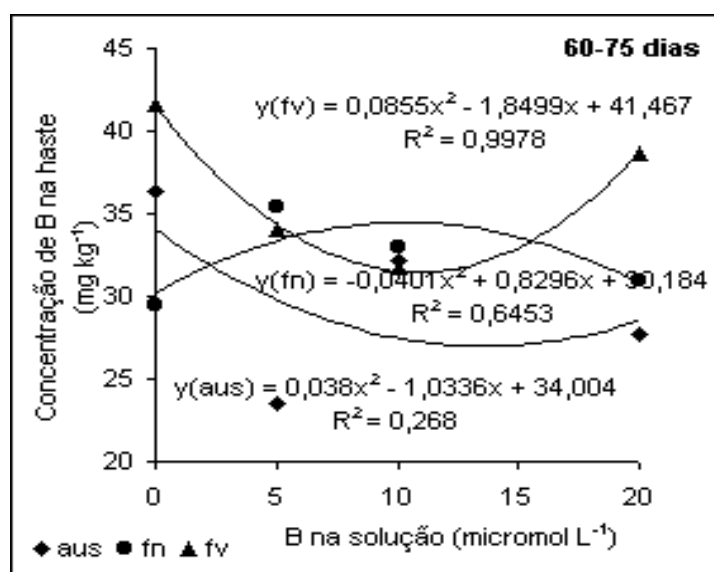


Figura 13. Concentração de B em hastes de algodoeiro em função da aplicação de B. Período de 60 a 75 dias.

Foi observado que de modo geral, as maiores concentrações foram obtidas em folhas seguida de hastes e finalmente de raízes. Murphy & Lancaster (1971) observaram que a concentração de B em folhas excede a concentração de caules e raízes. Trabalhando com algodoeiro deficiente em B Zhao & Oosterhuis (2002), observaram acúmulo de 75 a 80% do total acumulado pelas folhas; de 10 a 15% para caules; as raízes acumularam de 5 a 10% e os frutos menos que 5% do B total.

6.1.4. Acúmulo de B em folhas e hastes

O acúmulo de B em folhas no período de 45 a 60 dias (Figura 14) foi maior pela aplicação em folhas velhas. Dada a baixa mobilidade, o nutriente tende a se acumular no órgão provocando toxidez na planta. Se o nutriente é aplicado em folhas novas, pela a necessidade do nutriente para o desenvolvimento das funções estruturais e fisiológicas, o B é acumulado em menor quantidade. Assim, quando o nutriente foi aplicado via folha nova, ocorreu incremento na quantidade acumulada com o aumento do nutriente na concentração na solução.

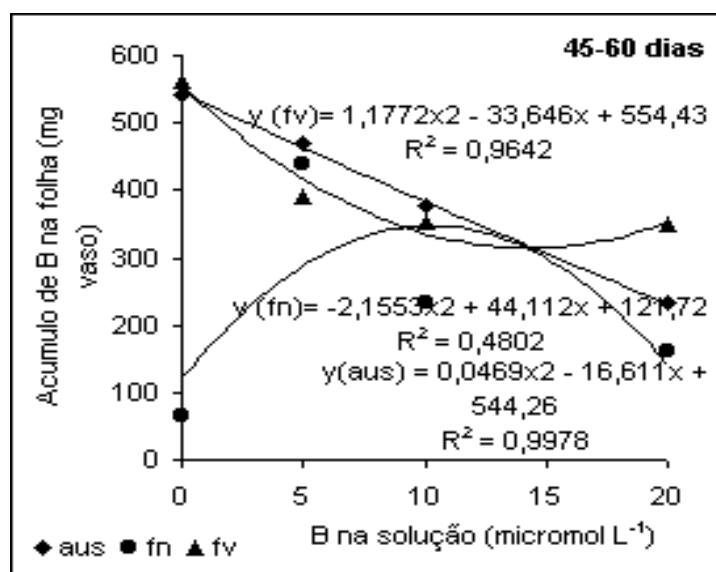


Figura 14. Acúmulo de B em folhas de algodoeiro em função da aplicação de B. Período de 45 a 60 dias.

A quantidade de B acumulado foi maior quando foi aplicado em folhas novas, contudo, houve redução quando a concentração na solução foi aumentada. Quando o B foi aplicado em folhas velhas, houve sempre tendência de aumentos até a dose

de $10 \mu\text{mol L}^{-1}$. Quando aplicado em folhas novas, esse B foi suficiente para que a folha acumulasse o máximo do nutriente (Figura 15).

Considerando o período completo (Figura 16), o maior acúmulo se deu pela aplicação de B em folhas velhas, com valores sendo reduzidos pelo aumento na concentração. De modo geral, o acúmulo foi sempre crescente em ausência do nutriente via foliar. Assim a aplicação de $20 \mu\text{mol L}^{-1}$ (período de 60 a 75 dias) na Figura 16, associada as doses aplicadas no período anterior contribuiu para reduzir o acúmulo de B, possivelmente por um efeito tóxico.

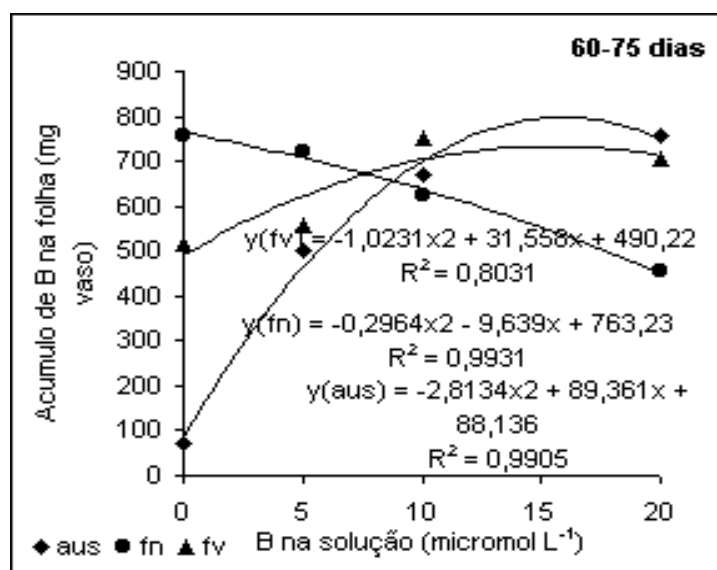


Figura 15. Acúmulo de B em folhas de algodoeiro em função da aplicação de B. Período de 60 a 75 dias.

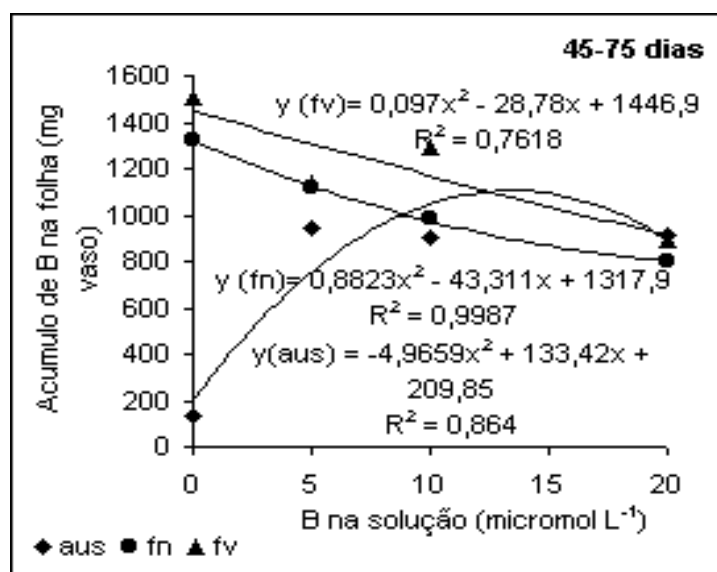


Figura 16. Acúmulo de B em folhas de algodoeiro em função da aplicação de B. Período de 45 a 75 dias.

O acúmulo de B em hastes no primeiro período (Figura 17) foi maior com $5 \mu\text{mol L}^{-1}$ em ausência de aplicação foliar, contudo com $10 \mu\text{mol L}^{-1}$, houve destaque para a aplicação em folhas velhas. Independente da aplicação foliar houve redução do acúmulo quando a concentração do nutriente na solução ultrapassou $10 \mu\text{mol L}^{-1}$.

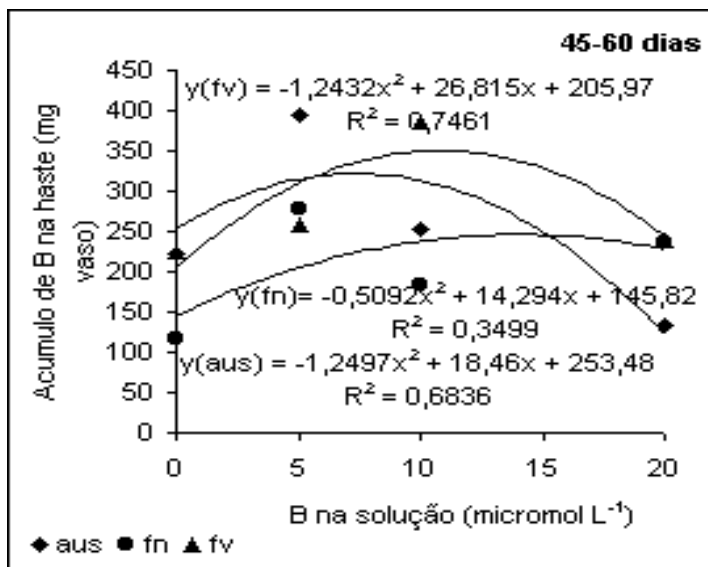


Figura 17. Acúmulo de B em haste de algodoeiro em função da aplicação de B. Período de 45 a 60 dias.

No período de 60 a 75 dias, o acúmulo de B em hastes, independente da aplicação foliar, seguiu a mesma tendência com o aumento da concentração do nutriente na solução. Houve aumento no acúmulo até $10 \mu\text{mol L}^{-1}$, porém, o destaque ocorreu para a aplicação em folhas velhas, que com $5 \mu\text{mol L}^{-1}$ acumulou o máximo de B nas hastes (Figura 18).

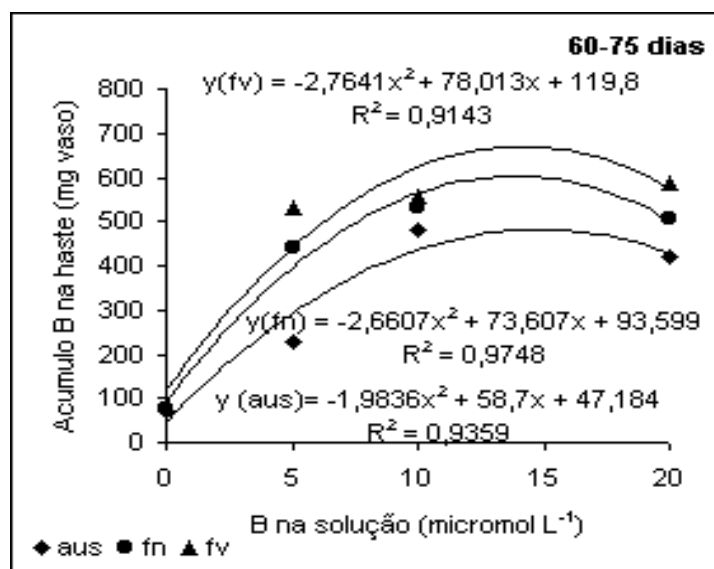


Figura 18. Acúmulo de B em haste de algodoeiro em função da aplicação de B. Período de 60 a 75 dias.

Com relação ao acúmulo de B em hastes, no período completo (45 a 75 dias), houve destaque para a aplicação em folhas velhas; com resultados máximos sendo observados até a dose de $10 \mu\text{mol L}^{-1}$ (Figura 19). Rosolem e Costa (2000) observaram que embora a aplicação de B em folhas maduras não tenha sido suficiente para garantir o crescimento normal, foi eficiente para aumentar a produção de matéria seca de folhas e ramos quando comparado com a ausência de aplicação foliar. No geral, os maiores acúmulos foram verificados pela aplicação em folhas velhas.

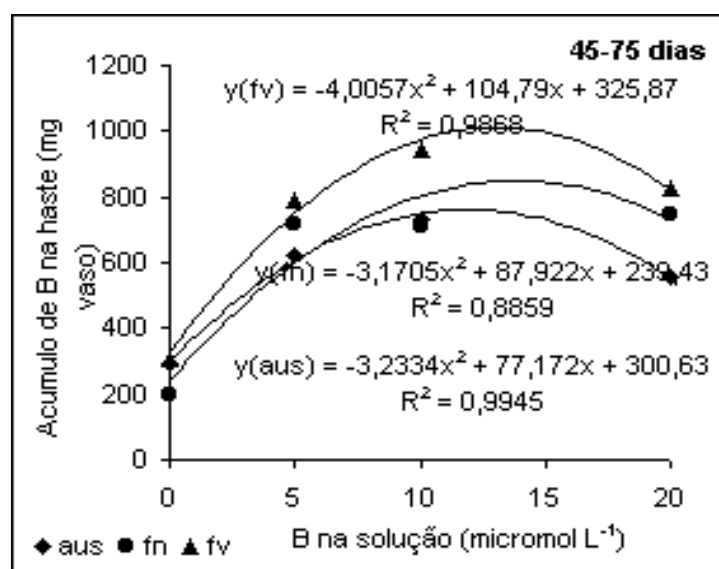


Figura 19. Acúmulo de B em haste de algodoeiro em função da aplicação de com B. Período de 45 a 75 dias.

6.2. Experimento 2.

6.2.1. Altura de plantas, número de ramos, diâmetro de caules e matéria seca de botões florais do algodoeiro

A altura de plantas foi crescente com o aumento da dose de B na solução, (Figura 20) contudo, a partir de $3,0 \mu\text{mol L}^{-1}$, o aumento foi pouco expressivo, revelando que essa dose foi suficiente para que a planta expressasse seu máximo crescimento. Embora seja um nutriente importante para o crescimento do algodoeiro, uma dose mínima já seria suficiente para suprir a deficiência, considerando que em termos absolutos, o aumento obtido pela aplicação da dose mínima, foi maior que aquele observado quando a dose passou de 1,5 para $3,0 \mu\text{mol L}^{-1}$. Avaliando efeito de B sobre clones de eucalipto (São José et al., 2002) não obtiveram crescimento das plantas em ausência do nutriente, com redução também no tamanho das folhas jovens. O metabolismo do carbono é fundamental para a crescimento das plantas e formação da produção (Zhao & Oosterhuis, 2002). Em condições de deficiência esse mecanismo é alterado comprometendo a síntese de carboidratos não estruturais essenciais ao desenvolvimento das plantas. Por outro lado, o acúmulo de amido resultado da ausência de B compromete translocação de fotoassimilados dentro da planta.

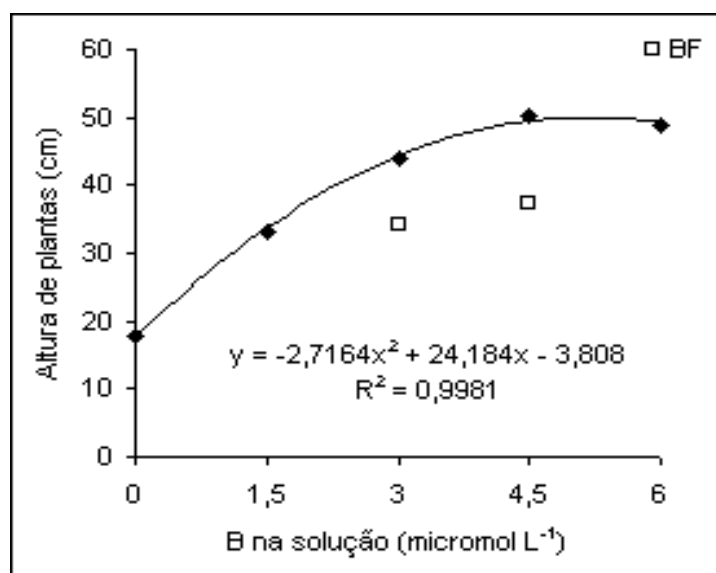


Figura 20. Altura de plantas de algodoeiro em função da aplicação de B.

Com relação ao diâmetro de caules (Figura 21), esse parâmetro foi menos afetado pela deficiência de B que a altura de plantas, considerando-se que a variação na resposta quando a dose variou de 1,5 para 6,0 $\mu\text{mol L}^{-1}$ foi relativamente pequena, embora o maior diâmetro tenha sido obtido com 3,0 $\mu\text{mol L}^{-1}$ na solução. Um dos sintomas de deficiência de B na planta é o engrossamento do caule (Silva et al., 1982, Carvalho et al., 1996, Rosolem & Costa, 2000), assim a planta sob deficiência apresentará diâmetro de caule semelhante ao daquela com suprimento normal.

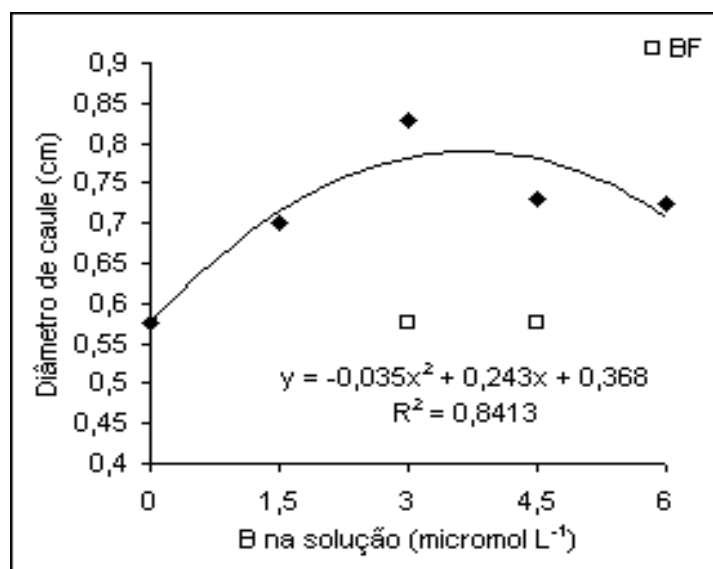


Figura 21. Diâmetro de caules de algodoeiro em função da aplicação de B.

O número de ramos no algodoeiro foi afetado pela aplicação de B na solução (Figura 22), contudo, a planta produziu o máximo de ramos com a dose mínima ($1,5 \mu\text{mol L}^{-1}$), com reduções nos valores, à medida que foi aumentada a concentração na solução, indicando que em condições de deficiência, a aplicação do nutriente mesmo que em pequena quantidade é capaz de promover uma resposta satisfatória. Parece que pequena quantidade de B foi suficiente para cumprir o papel estrutural e funcionamento das membranas, contudo, para funções alongação e divisão celular, seria necessária maior dose do nutriente.

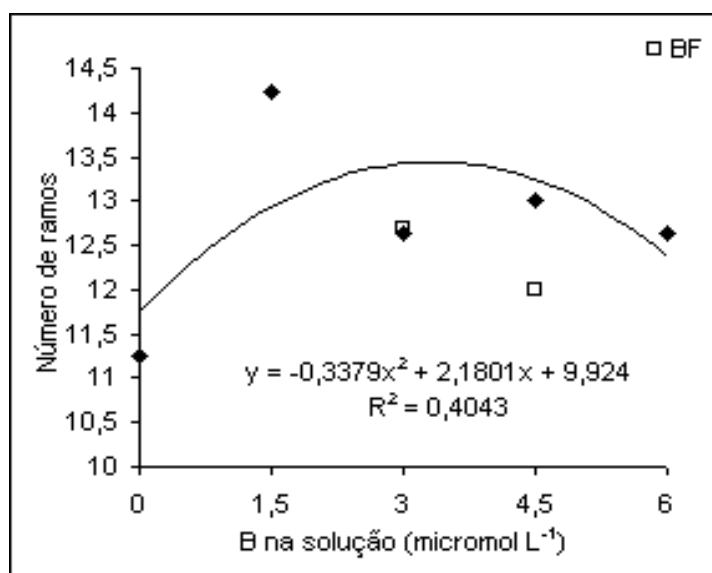


Figura 22. Número de ramos de algodoeiro em função da aplicação de B.

A produção de botões florais (Figura 23) foi mais sensível á deficiência de B que o número de ramos. A dose mínima promoveu um aumento bastante significativo, embora a produção máxima tenha sido observada com 3,0 $\mu\text{mol L}^{-1}$. De acordo com (Rosolem & Costa, 2000) o B afeta a produção de botões porque em caso de deficiência, ou de baixa disponibilidade, o nutriente, sendo imóvel no floema (Shu et al., 1997) não consegue ser translocado do local de aplicação para as demais partes da planta.

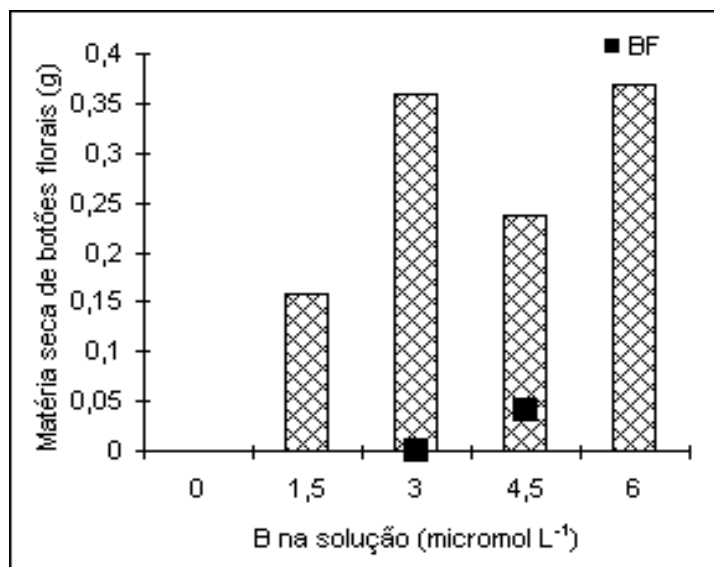


Figura 23. Matéria seca de botões florais em plantas de algodoeiro função da aplicação de B.

Considerando a aplicação foliar, foram observadas reduções bastante acentuadas na altura de plantas, diâmetro de caule, número de ramos e matéria seca de botões florais, sendo que neste último parâmetro, a redução foi muito mais acentuada. Esse comportamento indica um possível efeito tóxico do B sobre a planta. As melhores respostas foram obtidas com 3,0 $\mu\text{mol L}^{-1}$ de B na solução, assim com o aumento na concentração, esse nutriente foi elevado a um nível tóxico.

6.2.2. Produção de matéria seca e concentração de B em raízes

A máxima produção de matéria seca de raiz (Figura 24) foi alcançada com 1,5 $\mu\text{mol L}^{-1}$ de B, mostrando leve redução à medida que a concentração do nutriente foi aumentada na solução. Segundo Marschner (1995), redução na produção de raízes é um dos primeiros sintomas de deficiência do nutriente em plantas. Essa inibição

pode ocorrer cerca de três horas após a interrupção do suprimento de B, sendo bastante severo após seis horas e, vinte e quatro horas após, o crescimento é completamente cessado (Dell & Huang, 1997; Marschner, 1995), dado a importância que o nutriente exerce sobre a divisão celular.

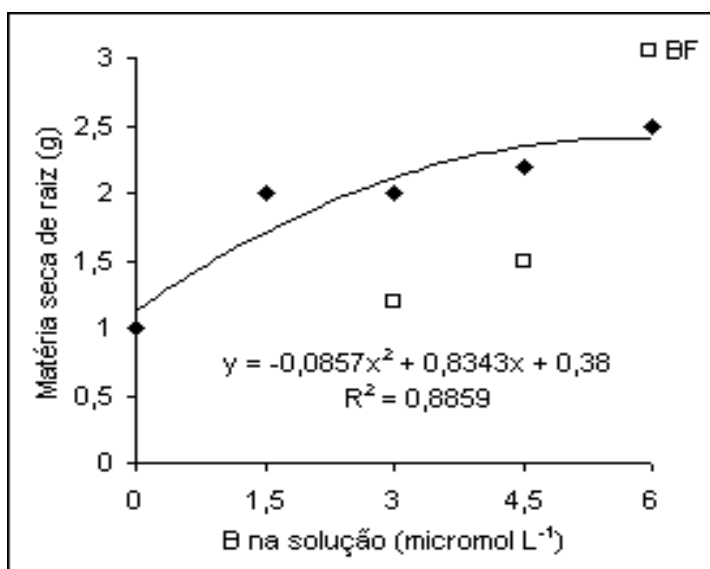


Figura 24. Produção de matéria seca de raiz em função da aplicação de B.

A resposta observada para a produção de raízes pode ser explicada pelo fato de que em condições de baixo suprimento, as plantas produzem relativamente menos raízes, porém, as raízes são mais grossas e com intensa ramificação lateral, desse modo, a massa de raízes produzida sob condições de deficiência e de suficiência é semelhante. Por outro lado, dada a importância do nutriente para a divisão celular, uma dose mínima já seria suficiente para que o processo ocorresse, embora houvesse necessidade de maior disponibilidade para permitir que ocorresse a diferenciação e consequente alongação celular.

As maiores concentrações de B nas raízes foram observadas com 3,0 e 4,5 $\mu\text{mol L}^{-1}$, ocorrendo redução nos valores com 6,0 $\mu\text{mol L}^{-1}$ (Figura 25).

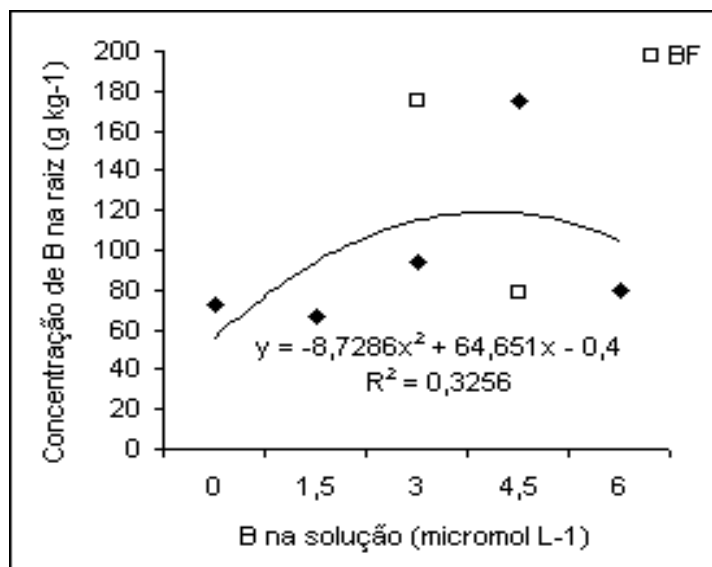


Figura 25. Concentração de B em raízes de algodoeiro em função da aplicação de B.

Em termos de resposta de quantidade de B acumulada nas raízes (Figura 26), à semelhança do que ocorreu com a concentração, a planta absorveu mais quando a solução continha 4,5 $\mu\text{mol L}^{-1}$, com redução na absorção quando a concentração passou para 6,0 $\mu\text{mol L}^{-1}$, possivelmente por um efeito de diluição já que nesse tratamento houve alta produção de matéria seca. A aplicação foliar de B concorreu para aumentar a concentração do nutriente na raiz. Esse comportamento revela possivelmente um efeito de toxidez, sendo esse efeito visualizado através da redução na produção de matéria seca de raiz do algodoeiro pela aplicação foliar do B já na dose de 3,0 $\mu\text{mol L}^{-1}$. Esse efeito deletério provocado pela aplicação foliar também foi refletido pela quantidade de B acumulado no órgão.

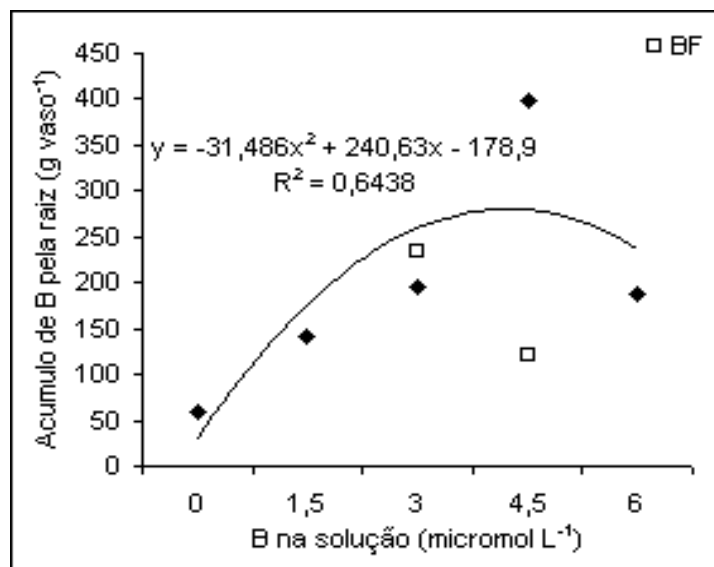


Figura 26. Quantidade de B acumulada no algodoeiro planta em função da aplicação de B.

6.2.3. Produção de matéria seca de folhas e hastes

No período de 15 a 30 dias (Figura 27), a produção tanto de folhas quanto de hastes foi afetada pela aplicação de B na solução. Para os dois parâmetros, os maiores valores foram conseguidos com 3,0 $\mu\text{mol L}^{-1}$, com reduções a partir dessa dose. Esse comportamento justifica as respostas obtidas no primeiro experimento onde foi verificado que a melhor resposta para a maioria dos parâmetros avaliados ocorreu até a dose de 5 $\mu\text{mol L}^{-1}$.

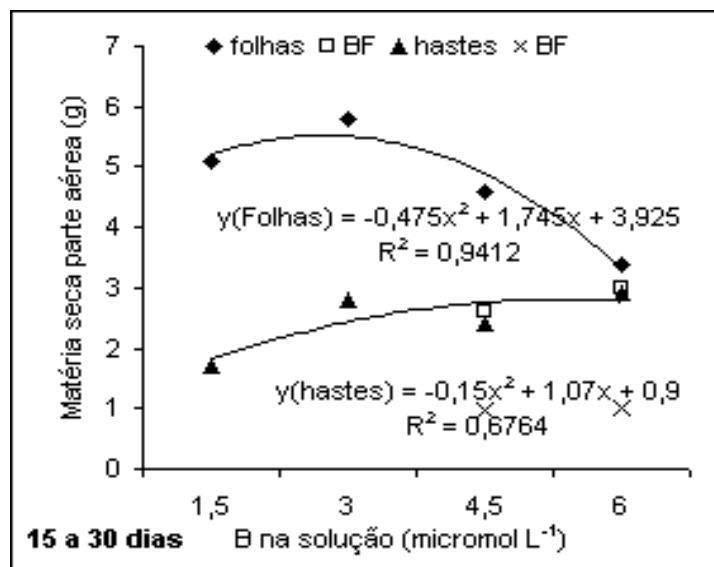


Figura 27. Matéria seca de algodoeiro em função da aplicação de B.

No período em que o B foi omitido da solução (30 a 45 dias), na Figura 28, houve reduções drásticas tanto na produção de folhas quanto de hastes, comparando-se com o período de disponibilidade de B para as plantas, denotando a importância desse nutriente para a planta e indicando que não houve translocação do B aplicado no período anterior para esse, conforme haviam sugerido Rosolem & Costa (2000). Foi observada redução muito mais drástica em folhas que em hastes, embora a resposta não tenha variado muito com a quantidade de B disponível no período anterior.

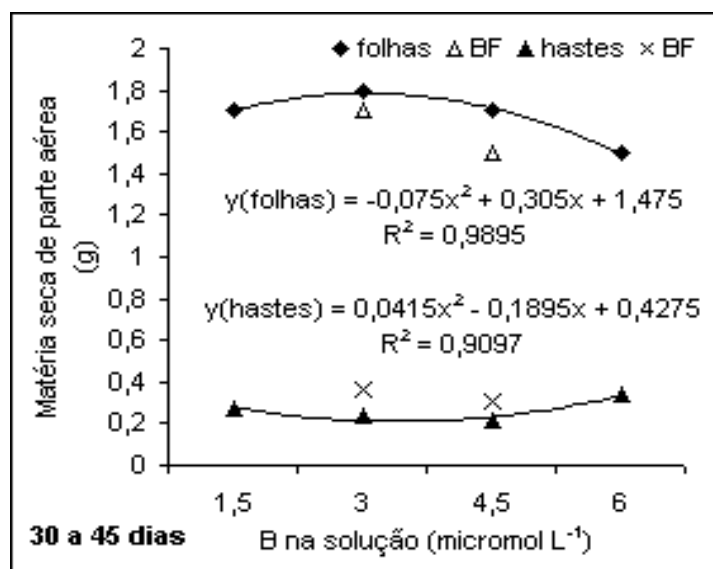


Figura 28. Matéria seca de algodoeiro em função da aplicação de B.

Analisando-se o período completo da avaliação (Figura 29), a variação na produção de matéria seca de folhas foi pouco expressiva com o aumento das doses de B na solução, embora com 6,0 $\mu\text{mol L}^{-1}$ tenha havido decréscimo na produção. Comportamento semelhante foi observado para as hastes, embora a dose de 6,0 $\mu\text{mol L}^{-1}$, tenha promovido tênue aumento nos valores.

Tanto no período de imposição quanto no de omissão dos tratamentos, houve redução na matéria seca pela aplicação foliar de B, contudo, foi observado um incremento na produção de hastes, no período de omissão. Considerando o período completo (15 a 45 dias) a redução ocorreu tanto para folhas quanto para hastes.

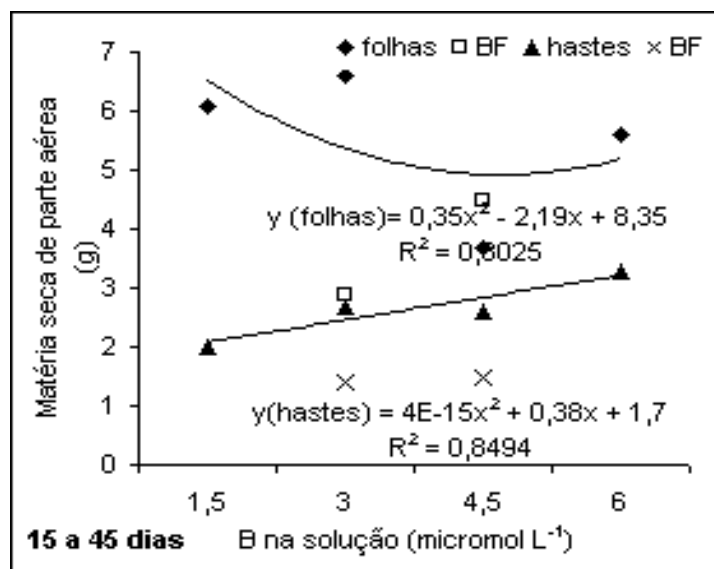


Figura 29. Matéria seca de algodoeiro em função da aplicação de B.

6.2.4. Concentração de B em folhas e hastes

A concentração de B em folhas foi aumentada quando a dose passou de 3,0 para 4,5 $\mu\text{mol L}^{-1}$, contudo, a dose de 6,0 $\mu\text{mol L}^{-1}$ reduziu a concentração do nutriente na folha (Figura 30). A concentração de B em hastes nesse período foi reduzida drasticamente quando havia de 3,0 a 4,5 $\mu\text{mol L}^{-1}$, voltando novamente a altos valores com 6,0 $\mu\text{mol L}^{-1}$.

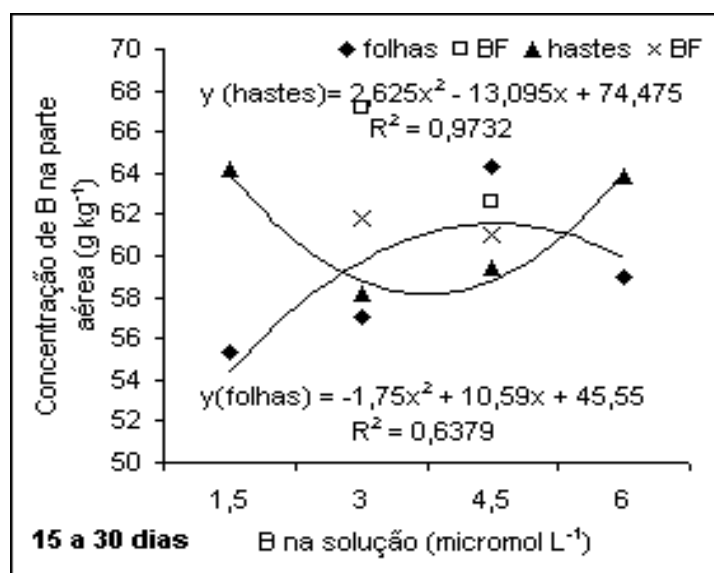


Figura 30. Concentração de B na parte aérea do algodoeiro em função da aplicação de B.

De modo geral, a folha pareceu ser mais sensível à deficiência que as hastes, de modo que, com a dose mínima já houve máximo acúmulo em hastes enquanto, que esse máximo para folhas só foi atingido com 4,5 $\mu\text{mol L}^{-1}$. No período em que o B foi omitido da solução (30 a 45 dias), na Figura 31, a folha inicialmente apresentou maior concentração de B que as hastes, contudo, com o aumento das concentrações do nutriente na solução, houve uma inversão de respostas, com teores crescentes em hastes e reduções nos teores em folhas. Para a concentração de B em folhas e hastes, a aplicação foliar provocou incremento nos valores tanto no período de imposição quanto no de omissão dos tratamentos. O B quando aplicado via foliar, apesar de não promover aumentos expressivos na produção do algodoeiro, pode contribuir para aumentar a concentração do nutriente na planta. Se essa aplicação é feita no período reprodutivo, pode aumentar a retenção das estruturas reprodutivas, influenciando indiretamente na produção da cultura.

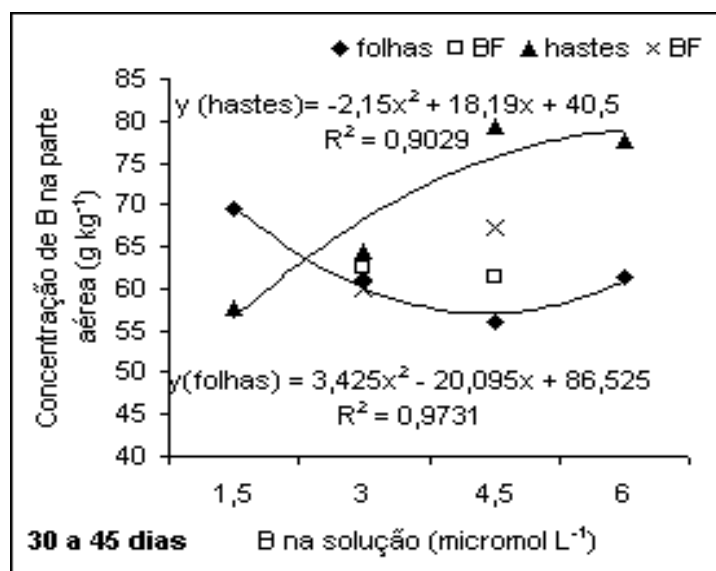


Figura 31. Concentração de B na parte aérea do algodoeiro em função da aplicação de B.

6.2.5. Acúmulo de B em folhas e hastes

A respeito da quantidade de B absorvido pela folha de 15 a 30 dias, (Figura 32) os maiores valores foram observados com a aplicação de 3,0 $\mu\text{mol L}^{-1}$, sendo reduzidos progressivamente à medida que se aumentou a concentração do nutriente na solução. Embora a concentração de B em hastes, no mesmo período tenha sido incrementada com 1,5 $\mu\text{mol L}^{-1}$, não houve resposta em termos de quantidade acumulada neste órgão, não havendo alteração com o incremento das doses.

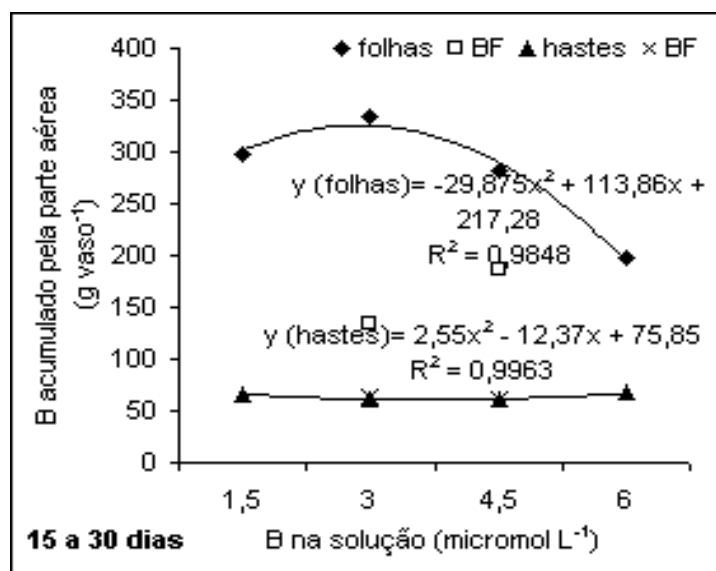


Figura 32. Quantidade de B acumulada na parte aérea do algodoeiro em função da aplicação de B.

Quando o B foi omitido da solução (Figura 33), houve maior acúmulo do nutriente em folhas que em hastes; na folha, o maior acúmulo ocorreu quando no período de imposição havia $3,0 \mu\text{mol L}^{-1}$, enquanto que em hastes, o resultado máximo foi conseguido com $4,5 \mu\text{mol L}^{-1}$, a exemplo do que ocorreu com a concentração nesse mesmo período.

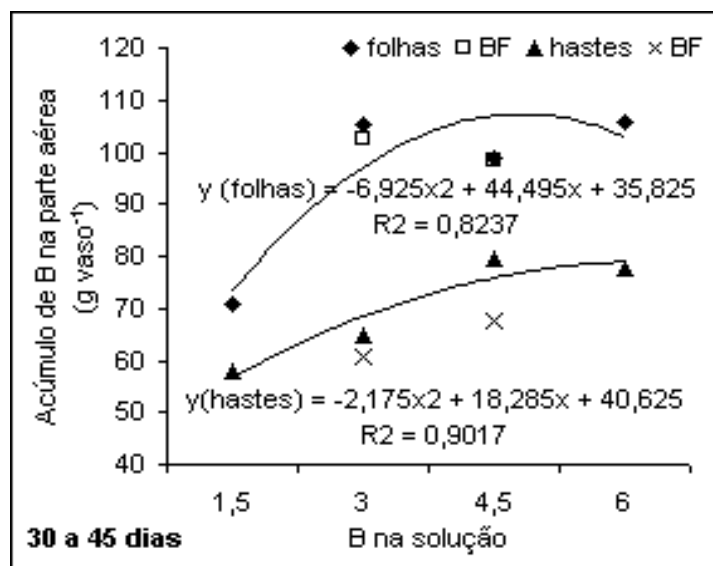


Figura 33. Quantidade de B acumulada na parte aérea do algodoeiro em função da aplicação de B.

Considerando o período completo de avaliação de 15 a 45 dias, Figura 34, o acúmulo máximo de B em folhas foi alcançado com $3,0 \mu\text{mol L}^{-1}$ mostrando pouca variação no acúmulo pelo aumento nas doses de B na solução. As hastes foram menos eficiente em acumular B que as folhas. A análise revela que a aplicação foliar afetou negativamente a absorção de B pela planta, especialmente pelas folhas, o acúmulo nas hastes foi menos sensível ao B foliar. Essa resposta é justificável quando se considera que, de modo geral, os resultados indicaram respostas satisfatórias à aplicação de B sendo obtidas com $3,0 \mu\text{mol L}^{-1}$, assim, concentrações acima disso, causaram toxidez na planta, embora não se tenha detectado sintomas visuais de toxidez com doses de até $6,0 \mu\text{mol L}^{-1}$.

As folhas se mostraram muito mais sensíveis à resposta da adubação boratada que as hastes, possivelmente pela baixa mobilidade do B na planta, o nutriente tende a permanecer no local de aplicação, criando uma situação de toxidez naquele órgão, e de deficiência em órgãos próximos aqueles.

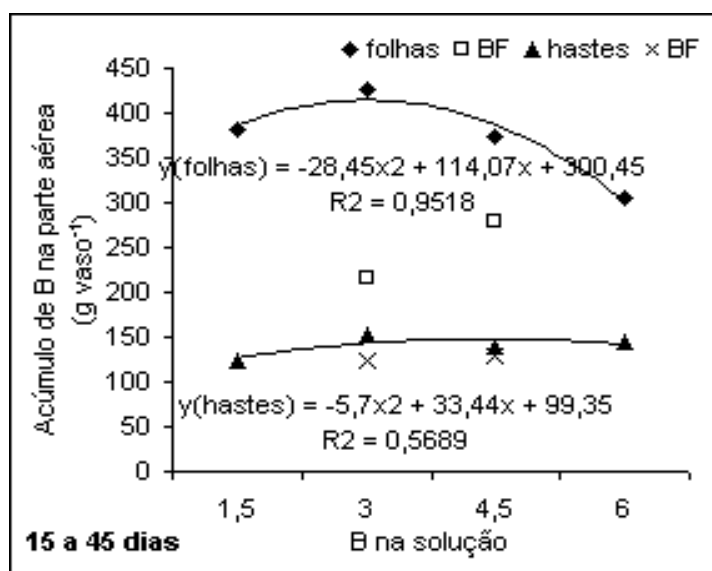


Figura 34. Quantidade de B acumulada na parte aérea do algodoeiro em função da aplicação de B.

Analisando a correlação entre a altura de plantas e a concentração de B na planta (Figura 35), observa-se incremento na altura da planta pelo aumento do nutriente na solução do solo, com alto coeficiente de correlação ($R^2 = 0,996$). Esse resultado confirma mais uma vez a altura de planta como um bom indicador para o nível crítico de B na planta. Rosolem et al. (1999) também concordam que a altura de planta é mais sensível a deficiência de B na solução que a produção de matéria seca. Segundo Sanfluentes (1966) não ocorre uma prévia redução na produção de matéria seca do algodoeiro antes dos

sintomas de deficiência aparecerem. Em contrapartida, observou que quando a disponibilidade do nutriente era baixa, a altura da planta já havia sido reduzida em 30%.

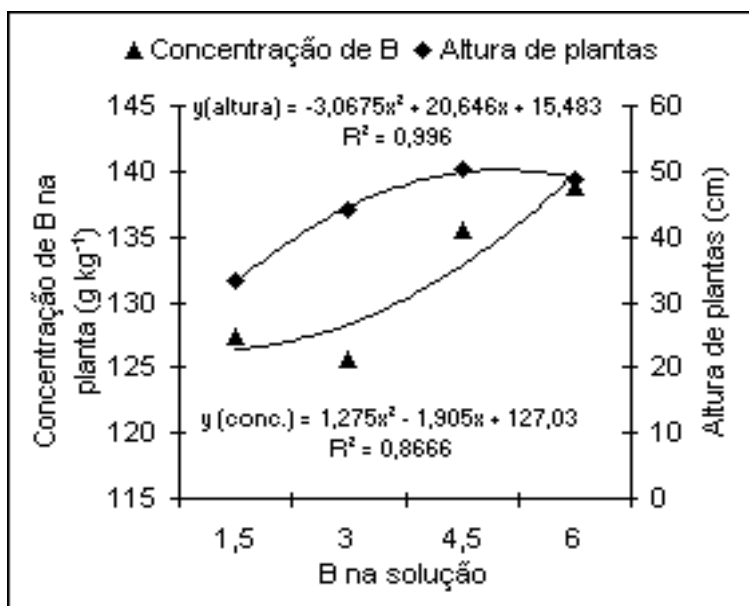


Figura 35. Correlação entre altura de plantas e concentração de B no algodoeiro em função da aplicação de B.

6.3. Descrição dos sintomas de deficiência e toxidez de B em algodoeiro

Nesta pesquisa, de modo geral, foram observados todos esses sintomas de deficiência. No primeiro experimento, os sintomas surgiram no tratamento onde houve omissão total do nutriente e quando o B foi aplicado em folhas velhas. Quando o B foi completamente omitido houve engrossamento das raízes, que se mostraram mais curtas, mais escuras que aquelas com suprimento do nutriente, além de superbrotamento de raízes laterais (Foto 4, à esquerda). Alguns destes sintomas foram também observados quando houve a aplicação apenas em folhas, principalmente folhas velhas. Foi observado também que embora os tratamentos com deficiência de B tenham mostrado paralisação no seu crescimento (Marschner, 1995) quando o B foi repostado na solução (primeiro experimento) houve crescimento de raízes a partir da zona onde havia ocorrido a paralisação, conforme Rosolem & Costa (2000) já haviam observado.

Os sintomas observados na parte aérea (folhas coreáceas, brotações e engrossamento do caule, morte da gema apical, retardamento do crescimento) foram verificados tanto nos tratamentos com omissão quanto naquele onde o B foi aplicado em folhas velhas, revelando a baixa mobilidade do nutriente na planta. Queda excessiva de estruturas reprodutivas e retardamento no surgimento das flores, foram outros sintomas observados. De acordo com Zhao & Oosterhuis (2002) isso devido a redução na absorção de CO₂ decorrente da deficiência de B. Não foi detectado sintomas de toxidez de B, mesmo quando a solução continha 20 $\mu\text{mol L}^{-1}$.

Com relação ao experimento 2, observou-se que três dias após a aplicação dos tratamentos, já se observava, embora com certa discricção, sintomas de deficiência tanto no tratamento com omissão total de boro quanto naquele em onde foi fornecido $1,5 \mu\text{mol L}^{-1}$ de B. Esses sintomas apareceram inicialmente nas raízes e depois na parte aérea e foram se agravando com o tempo de imposição da deficiência de B. A expressão dos sintomas depende também da magnitude da deficiência. Dependendo da severidade não há crescimento, os pecíolos ficam retorcidos e o limbo deformado, ocorre morte da gema apical, com superbrotamento das gemas laterais e redução na altura das plantas resultando em menor número de nós produzidos (Silva & Carvalho, 1982; Rosolem et al., 1999). Um vez suprido o nutriente, a planta retorna seu crescimento normal, porém a área afetada pela deficiência não se recupera, como pode ser observado no presente experimento.

A Foto 1A e B exemplifica o efeito do B no desenvolvimento do algodoeiro. Comparando-se as plantas, com deficiência (A) e suficiência de B (B), respectivamente, observa-se que a planta deficiente, apresenta superbrotamento de ramos e menor distância entre os nós, o que leva a planta a um menor crescimento. A deficiência resulta em rápida inibição do crescimento (Marschner, 1995), podendo prejudicar a maturação dos tecido vascular, especialmente o xilema primário (Kouchi & Kumazawa, 1975). As folhas apresentaram-se menores, coreáceas e as do ápice caulinar mostravam-se encarquilhadas. Os caules apresentavam-se mais grossos, mais escuros e com rachaduras. Este sintomas estão de acordo com aqueles relatados na literatura (Silva et al., 1979; Silva & Carvalho, 1982; Rosolem et al., 1999). Estes detalhes podem ser melhor visualizados na Foto 2, que mostra o detalhe da gema apical com sintoma em ausência de B. Observa-se também, nessa foto a presença de anéis verde-escuros no pecíolo.

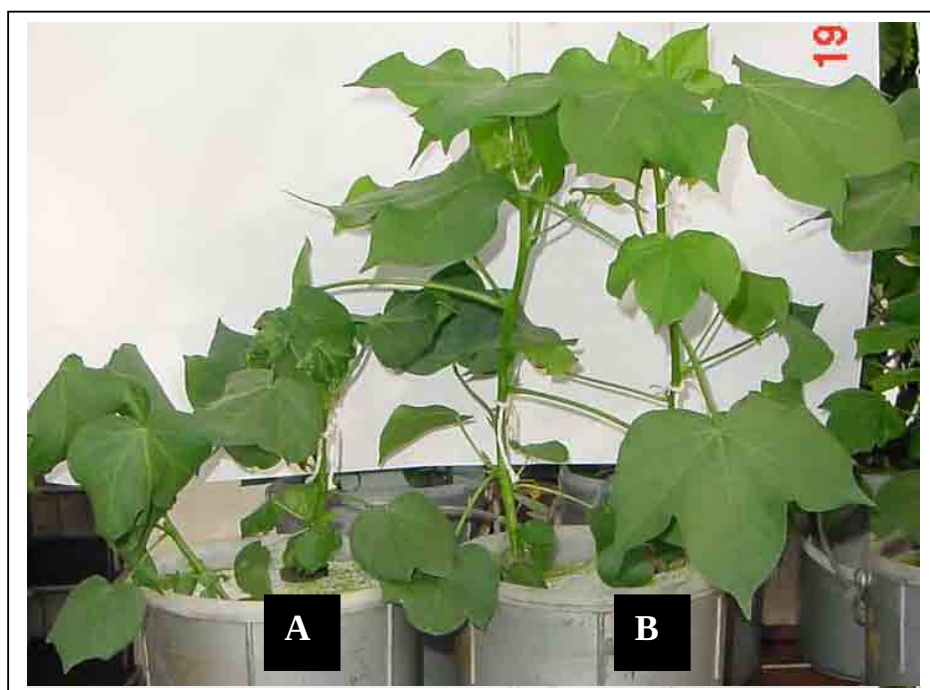


Foto 1. Plantas de algodoeiro em condições de deficiência (A) e suficiência de B (B)

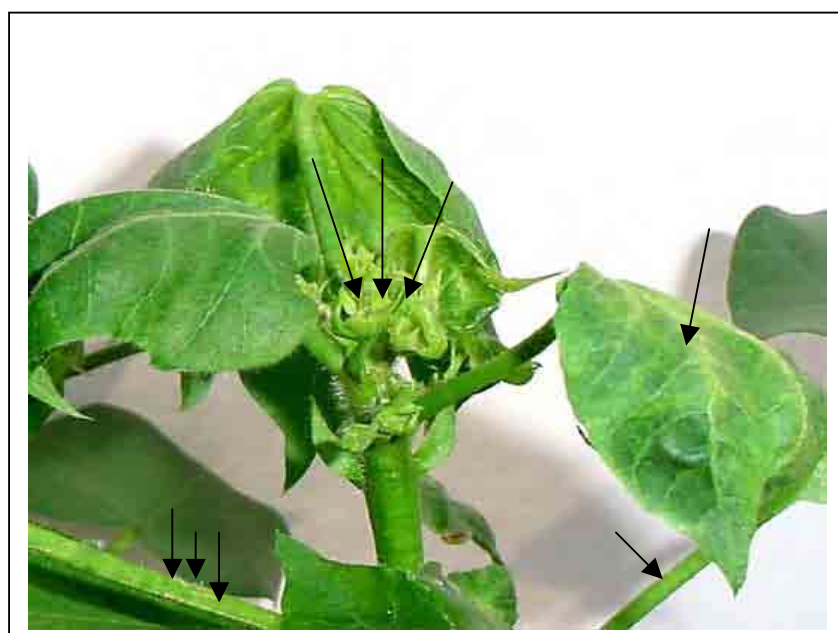


Foto 2. Detalhe do meristema apical de algodoeiro com deficiência de B.



Foto 3. Detalhe do botão floral de algodoeiro com suficiência ($4,5 \mu\text{mol L}^{-1}$) e deficiência ($1,5\mu\text{mol L}^{-1}$) de B.



Foto 4. Aspecto de raízes de algodoeiro com deficiência e suficiência de B.

A Foto 3A e B, mostram detalhes de botão floral, onde pode-se observar que, em caso de deficiência do nutriente (Foto 3B), o botão floral apresenta-se completamente deformado, com menor tamanho que o botão com suprimento adequado, apresentando-se com coloração amarelada semelhante ao que ocorre em condições de campo (Silva et al., 1979; Carvalho, 1980; Carvalho (1988).

Com relação ao sistema radicular (Foto 4), as observações visuais permitiram observar que 24 horas após a omissão do B, o crescimento radicular apresentava diferença daquele observado com suprimento adequado de B. Em condições de deficiência, parcial ou total, as raízes apresentavam-se mais escuras, mais grossas e com grande quantidade de raízes secundárias, além de possuírem menor massa radicular em comparação com as raízes das plantas com $4,5 \mu\text{mol L}^{-1}$ B. Isso ocorre devido ao efeito que o B exerce sobre a divisão celular. O desequilíbrio entre a produção de auxinas e citocininas levaria a ramificação das gemas laterais. Uma análise mais detalhada permitiu observar necrose das raízes com o aumento do tempo de imposição do tratamento. Essa informação confirma a importância do nutriente para a manutenção da atividade meristemática. De acordo com Lee & Aronoff (1967) a síndrome bioquímica recorrente da omissão de B é o acúmulo de compostos fenólicos, causa imediata da necrose.

Esses sintomas de deficiência coincidem com aqueles obtidos por Moraes-Dallaqua (1992) para a cultura do feijão, onde a deficiência levou a raízes curtas e grossas, com profusão de raízes laterais, resultado segundo o autor, da desorganização estrutural do ápice radicular, verificando ainda que essas alterações ocorrerem já no início do desenvolvimento da planta. Marschner (1995) atesta que a cessação ou inibição da elongação celular de raízes é a resposta mais rápida à deficiência de B. Segundo o autor, essa inibição pode ocorrer cerca de três horas após a interrupção do suprimento de B, sendo bastante severo após seis horas e, vinte e quatro horas após, o crescimento é completamente cessado. O efeito da supressão de B sobre o crescimento do sistema radicular pode ser notado três horas após a supressão (Dell & Huang, 1997; Marschner, 1995). Num estudo sobre efeitos do B na anatomia de tomateiro Kouchi & Kumazawa (1976) também verificaram declínio na atividade meristemática na região apical de raízes, inibindo a elongação celular e impedindo completamente a divisão celular.

Com relação à eficiência da adubação foliar, verificou-se que, quando o B está presente apenas em folhas, a planta não se desenvolveu satisfatoriamente. Quando a aplicação foi feita em folhas velhas, as folhas novas apresentavam sintomas de deficiência, mostrando indício de imobilidade do B das partes velhas para os órgãos em desenvolvimento.

6.4. Experimento 3.

Estudo anatômico de estruturas vegetativas e reprodutivas do algodoeiro (*Gossypium hirsutum* L.) em resposta à aplicação de B

A estrutura dos órgãos vegetativos do algodoeiro está intimamente ligada às várias funções na planta, podendo influenciar na produção (Webber, 1938). Para as análises ao microscópio foram coletadas amostras de pecíolos de folhas jovens e pedúnculos de botões florais. Foram escolhidas estas partes especialmente porque segundo a literatura em caso de deficiência de B, os sintomas manifestam-se primeiramente como anéis verde-escuro nos pecíolos e queda de estruturas reprodutivas (Rosolem & Costa, 2000).

6.4.1. Pecíolo

O pecíolo das plantas submetidas à suficiência de B, em secção transversal na região mediana, apresenta contorno aproximadamente oval (Fotos 5 e 7), com epiderme unisseriada, sendo constituída de células de formato retangular. Na epiderme ocorrem inúmeros tricomas simples, multicelulares, unisseriados e tricomas glandulares. A presença de tricomas, glandulares e simples é apontado como características de Malváceas (Metcafe & Chalk, 1950, Webber, 1938). Wise et al. (2000) estudando duas espécies de algodoeiro também detectaram a presença de tricomas glandulares e simples. De acordo com Webber (1938) estas estruturas são mais abundantes na face abaxial das folhas, contudo, sua presença é notada também em raízes.

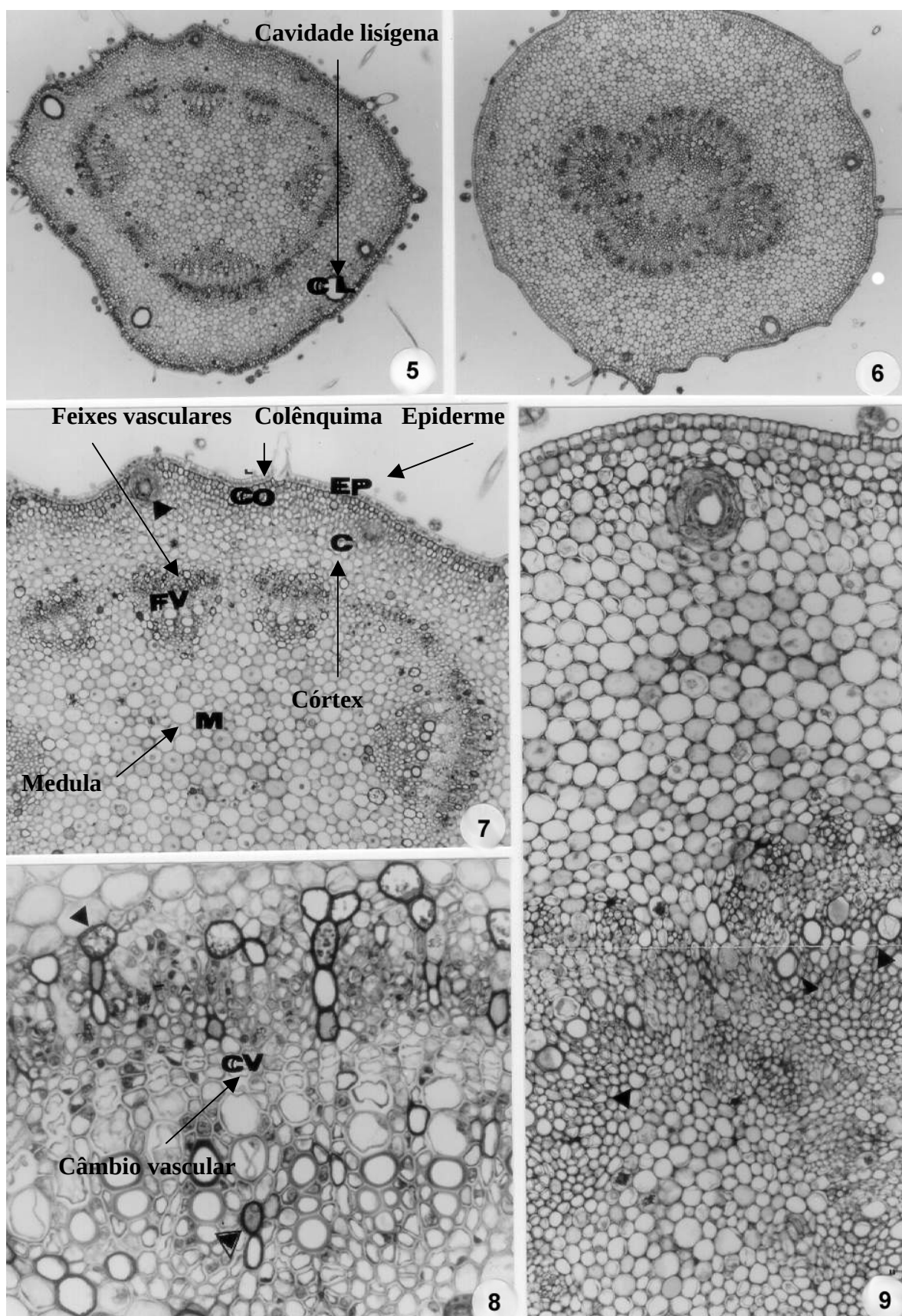
O córtex (Foto 7) apresenta uma faixa contínua de colênquima, constituído de uma ou duas camadas de células de paredes pouco espessadas, contendo cloroplastos. Logo abaixo, observam-se várias camadas de células parenquimáticas de formato isodiamétrico, com a ocorrência de cavidades lisígenas (Foto 5).

Os feixes vasculares, em número de 6 a 9, dispõem-se formando um anel, separados pelo parênquima interfascicular (Fotos 5 e 7). Observa-se pré-câmbio entre o floema e xilema cujos elementos de vaso dispõem-se em séries radiais (Figura 8) e células de paredes espessadas com conteúdo tanto no floema quanto no xilema. A região central do órgão é ocupada pelo parênquima medular, constituído de células isodiamétricas de paredes delgadas (Fotos 5 e 7). As características morfológicas observadas nesta pesquisa estão de acordo com o padrão observado por outros autores (Webber, 1938; Wise et al., 2000; Bondada & Oosterhuis, 2000; Rocha & Neves, 2000).

O pecíolo das plantas submetidas à deficiência de B, em secção transversal na região mediana, apresenta contorno arredondado (Foto 6), mostrando-se como um todo ligeiramente hipertrofiado. O córtex (Fotos 6 e 9) apresenta uma faixa contínua de colênquima, constituído de várias camadas de células de formato variado e de paredes espessadas. Observa-se células parenquimáticas isodiamétricas de vários tamanhos e algumas com paredes levemente espessadas (Foto 9). A hipertrofia de células do córtex e a variação no tamanho dessas células, diferenciação pouca nítida dos tecidos vasculares, além de redução na espessura da parede celular foram alterações observadas por Moraes-Dallaqua (1992) em condições deficiência de B em raízes de feijoeiro. Avaliando raízes de tomateiro submetido à deficiência de B, Kouchi & Kumazawa (1975) também observaram redução na espessura da parede celular. Resultados semelhantes também foram encontrados por Leite (2002) trabalhando com B na cultura do cafeeiro. A alteração na translocação de

açúcares pela deficiência de B afeta a formação da parede celular pela diminuição na síntese de bases nitrogenadas (Moraes-Dallaqua, 1992).

Os feixes vasculares, em número de 4, dispõem-se formando um anel contínuo, notando-se que ocorre uma diferenciação desorganizada dos elementos xilemáticos (Foto 9). Constata-se que a região medular constitui-se de células de vários formatos, apresentando-se bastante reduzida (Foto 6). Avaliando folhas de cafeeiro, Leite (2002) observou descontinuidade tanto do floema quanto do xilema em plantas com deficiência de B. Essa descontinuidade nos feixes vasculares resulta possivelmente do efeito que o B exerce sobre a divisão e diferenciação celular. Dentre as funções do B, a organização e funcionamento das membranas figuram como as principais; além da lignificação da parede celular (Lewis, 1980; Cakmak & Römheld, 1997). Isso justifica a presença de células rompidas na situação de deficiência do nutriente, observadas neste trabalho.



Fotos 5-9. Secções transversais medianas do pecíolo de *Gossypium hirsutum* com suficiência ($4,5 \mu\text{mol L}^{-1}$) e deficiência ($1,5 \mu\text{mol L}^{-1}$) de B.

Foto 5. Aspecto geral do pecíolo da planta submetida a suficiência de B ($4,5 \mu\text{mol L}^{-1}$).

Foto 6. Aspecto geral do pecíolo da planta submetida a deficiência de B ($1,5 \mu\text{mol L}^{-1}$).

Foto 7. Pormenor da Foto 5. Pontas de seta indicam cavidades lisígenas.

Foto 8. Pormenor da Foto 5. Pontas de setas indicam células com conteúdo.

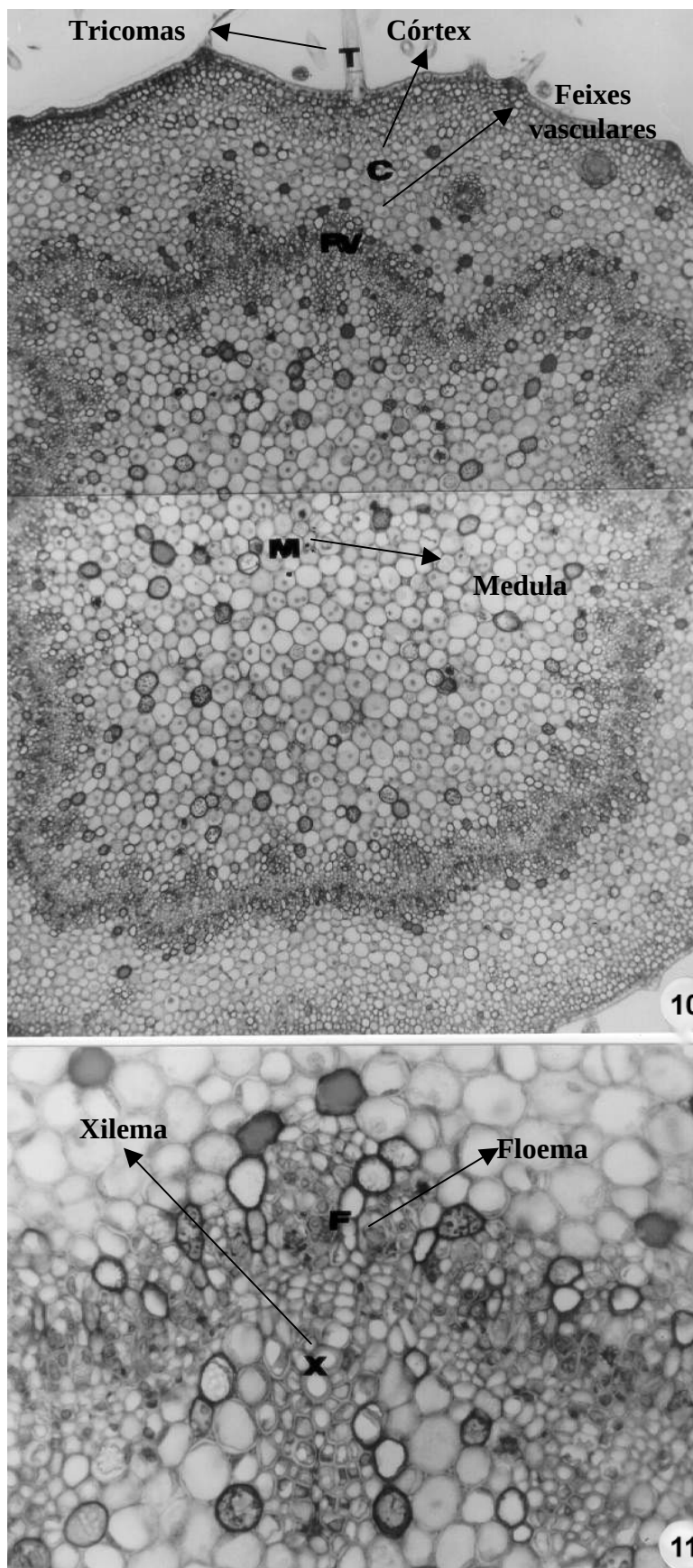
Foto 9. Pormenor da Foto 6. Pontas de setas indicam elementos de vasos dispostos em forma desorganizadas.

6.4.2. Pedúnculo

O pedúnculo das plantas submetidas à suficiência de B (Foto 10), em secção transversal na região mediana, apresenta epiderme unisseriada, com inúmeros tricomas simples, multicelulares, unisseriados e tricomas glandulares. Logo abaixo da epiderme, no córtex ocorrem várias camadas de células, com espessamento de parede pouco acentuado, constituindo um colênquima.

O parênquima cortical constitui-se de várias camadas de células isodiamétricas, de paredes delgadas, inúmeros idioblastos (Foto 10), cavidades com conteúdo e traços foliares.

No cilindro vascular, os feixes vasculares são do tipo colateral aberto, dispostos formando um anel contínuo (Fotos 10 e 11). Observam-se células com paredes espessadas e conteúdo mucilaginoso fortemente corado ao redor dos elementos floemáticos e xilemáticos.



Fotos 10-11. Secções transversais medianas de pedúnculo floral de *Gossypium hirsutum* L., com suficiência ($T4,5 \mu\text{mol L}^{-1}$) de B.

Foto 10. Aspecto geral.

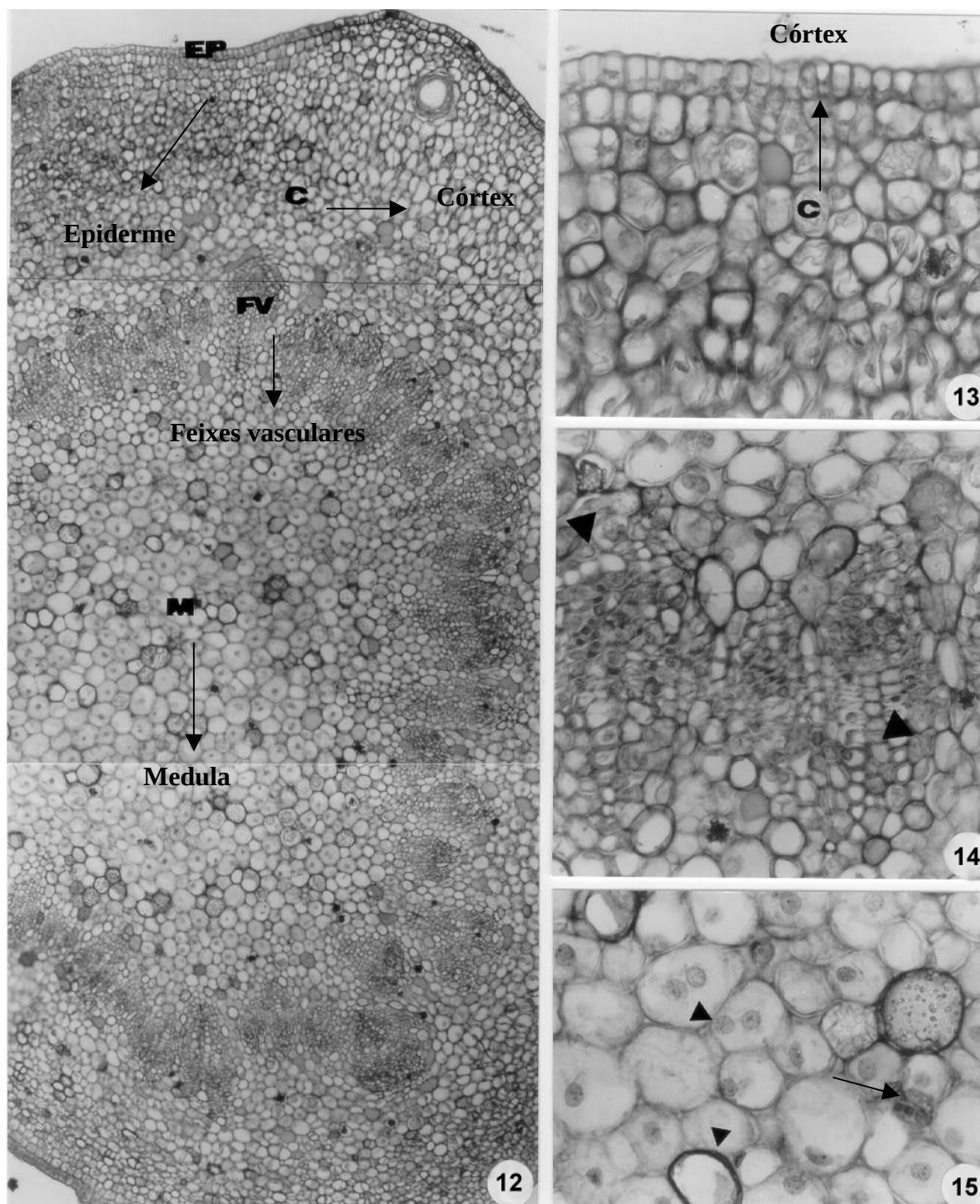
Foto 11. Pormenor do feixe vascular

O pedúnculo das plantas submetidas à deficiência de B, em secção transversal na região mediana, apresenta-se como um todo ligeiramente hipertrofiado (Foto 12), notando-se a epiderme unisseriada com poucos ou nenhum tricoma.

O córtex constitui-se de células de formatos e tamanhos variados (Fotos 12 e 13), algumas com paredes espessadas e a maioria com conteúdo. Nota-se que não ocorreu a diferenciação de colênquima logo abaixo da epiderme (Foto 13).

Na região do cilindro vascular não se observa uma nítida diferenciação dos elementos floemáticos, ocorrendo apenas células sem contorno nítido (Foto 14) e os escassos elementos xilemáticos formados apresentam-se desorganizados. A camada cambial é também pouco distinta (Foto 14) e o centro do órgão é preenchido por células parenquimáticas hipertrofiadas, uma grande maioria é binucleada, algumas apresentam paredes espessadas, ou ainda, rompidas (Foto 15). A extratificação do floema e camadas de colênquimas multiseriadas são importantes características de Malváceas, especialmente do gênero *Gossypium* (Webber, 1938). Desse modo, supõe-se que as alterações aqui observadas sejam efeito da deficiência de B na planta de algodão. Leite (2002) observou rompimento dos vasos do xilema em plantas de cafeeiro deficiente e relacionou isso a menor resistência destes ao corte, pela menor espessura da parede celular ou pelo comprometimento na lignificação devido à deficiência de B.

Pelo fato de não ter sido encontrados na literatura trabalhos descrevendo anatomia de pedúnculo, as respostas obtidas foram comparadas com as observadas nas partes vegetativas. Comparando-se a estrutura anatômica das plantas com suficiência e deficiência são observadas muitas alterações nas células, supondo-se que as estas alterações sejam efeito da deficiência de B na planta de algodão.



Fotos 12-15. Secções transversais medianas do pedúnculo floral de *Gossypium hirsutum* L. T1,5 $\mu\text{mol L}^{-1}$ de B (deficiente).

Foto 12. Aspecto geral.

Foto 13. Pormenor da foto anterior, mostrando córtex com células de vários formatos e tamanhos.

Foto 14. Pormenor da foto 12, evidenciando diferenciação desorganizada dos elementos floemáticos e xilemáticos.

Foto 15. Pormenor da foto 12, mostrando medula constituída de células binucleadas e de paredes espessadas (setas e pontas de setas).

As funções do B no metabolismo das plantas ainda são bastante obscuras. Entretanto, os resultados obtidos nessa pesquisa atestam a importância desse nutriente na anatomia das plantas, considerando que o principal efeito da deficiência do nutriente foi a desorganização dos tecidos vasculares. Essas respostas das plantas em função da deficiência de B já haviam sido relatadas para culturas como algodão (Sanfluentes, 1966), tomate (Kouchi & Kumazawa, 1976) e feijão (Moraes-Dallaqua, 1992) e café (Leite, 2002).

Além dessa desorganização, a ausência de B leva à inibição da elongação e da divisão celular, explicando porque, em caso de falta de B na planta, ocorre a necrose da região apical, conforme a literatura tem divulgado. O B exerce importante função na manutenção da atividade meristemática (Gupta, 1979). De acordo com Moraes-Dallaqua (1992) a redução na atividade meristemática pela ausência ou carência de B, pode ser induzida pela redução de compostos nitrogenados que, diminuindo a translocação de açúcares, leva a formação anormal da parede celular. Trabalhando com café, Leite (2002) verificou necrose da gema apical de plantas com deficiência, que foi evoluindo com o tempo de deficiência. Tanto Leite quanto Moraes-Dallaqua (1992) observaram paredes mais espessas e em alguns casos as células encontravam-se rompidas. Possivelmente isso é explicável em função da lignificação e estabilidade da parede celular serem apontadas como uma das funções mais importantes do B.

Leite (2002) através de observações microscópicas de partes de plantas de café submetidas à deficiência desse nutriente, verificou espessamento de paredes celulares, as quais apresentavam-se bastante esponjosas. Fazendo o fracionamento de amostras dessas plantas, observou que em caso de deficiência, a parede celular apresentava realmente menor concentração de B. Os resultados obtidos no presente trabalho, mais

aqueles obtidos por Leite (2002) com cafeeiro, onde foi marcante a desorganização dos tecidos vasculares, sugerem que o efeito do B na translocação de assimilados seria devido a essa desorganização, e nos efeitos metabólicos, como sugerido por outros autores (Moraes-Dallaqua, 1992; Zhao & Oosterhuis, 2002).

7.CONCLUSÕES

1. A deficiência de B causou desorganização dos tecidos vasculares dos órgãos vegetativos e reprodutivos do algodoeiro.
2. Os feixes vasculares não se diferenciaram adequadamente com a deficiência de B, impedindo a troca de substâncias entre as estruturas reprodutivas e o resto da planta, resultando em queda destas estruturas.
3. A aplicação de B às folhas tem efeito apenas local, ou seja, o nutriente não se transloca para outras partes da planta, mas pode, quando em plantas deficientes, melhorar o crescimento do órgão que recebeu o nutriente.
4. A altura de planta constituiu-se em um indicador mais sensível da resposta do algodoeiro ao B mais do que a produção de matéria seca.

8. REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

AGARWALA, S.C., SHARMA, P.N., CHARTTEJEE, C. et al. Development and enzymatic changes during pollen development in boron deficient maize plants. **Journal of Plant Nutrition**, v.3, p.329-336, 1981.

ANDERSON, O.E., OHKI, K. Cotton response and B distribution from foliar application of B. **Agronomy Journal**, v.64, p.1-898, 1972.

ANUÁRIO BRASILEIRO DE ALGODÃO 2001. Fundação MT. Rondonópolis-MS. p.12. 2001.

BANUELOS, G.S., MACKEY, B., COOK, C. et al. Response of cotton and kenaf to boron-amended water and soil. **Crop Science**, v.36, p.158-64, 1996.

BIRNBAUM, E.H., DUGGER, W.M., BEASLEY, C.A. Interaction of boron with components of nucleic acid metabolism in cotton ovules culture in vitro. **Plant Physiology**, v.59, p.1034-1038, 1977.

BOARETTO, M., BOARETTO, A.E., MURAOKA, T. et al. Absorção foliar e translocação de B em plantas jovens de citrus. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 25. Rio de Janeiro, 2002. **Resumos Expandidos**. Rio de Janeiro: SBCS/SBM, 2002. CD-rom.

BONDADA, B.R., OOSTERHUIS, D.M. Comparative epidermal ultrastructure of cotton (*Gossypium hirsutum* L.) leaf, bract and capsule wall. **Annals of Botany**, v.86, p.1143-1154, 2000.

BROWN, P.H., HU, H. Manejo do boro de acordo com sua mobilidade nas diferentes culturas. Piracicaba POTAFOS. 1998. 4p. (POTAFOS, **Informações Agronômicas**, 84).

BROWN, P.H., SHELPI, J.B. Boron mobility in plants. **Plant and Soil**, v.193, p.85-101, 1997.

CAKMAK, I., ROMHELD, V. Boron deficiency-induced impairments of cellular functions in plant. **Plant and soil**, v.193, p.71-83, 1997.

CARVALHO, L.H. Efeito da calagem e da adubação boratada sobre o algodoeiro (*Gossypium hirsutum* L.) cultivado em Latossolo Vermelho Amarelo. Piracicaba, SP. 1980.

64 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, São Paulo.

CARVALHO, L.H., SILVA, N.M., BRASIL SOBRINHO, et al. Aplicação de boro no algodoeiro, em cobertura e em pulverização foliar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Campinas, v.20, p.265-266, 1996.

DECHEN, A.R., HAAG, H.P., CARMELLO, Q.A. de C. **Funções dos micronutrientes nas plantas**. In: FERREIRA, M.E., CRUZ, M.C.P. (ed.). Micronutrientes na Agricultura. Piracicaba: POTAFOS/CNPq, 1991. p.65-97.

DELL, B., HUANG, L. Physiological response of plants to low boron. **Plant and Soil**, v.193, p.103-120, 1997.

DORDAS, C., BROWN, P.H. Evidence of channel mediated transport of boric acid in squash (*Curcubita pepo* L.). **Plant and Soil**, v.235, p.95-103, 2001.

DUGGER, W.M. **Boron in metabolism**. In: Encyclopedia of Plant Physiology. New York: SPRINGER-VERLAG, 1983. 626p.

EATON, F.M. Boron requirements of cotton. **Soil Science**, v.34, p.301-305, 1957.

GERRITS, P.O. **The application of glycol metacrylate histotechnology: some fundamental principles**. Leica Embh, Germany, 1964.

GOLDBERG, S. Reactions of boron with soil. **Plant and Soil**, v.193, p.35-38, 1997.

GUPTA, U.C. **Boron and its role in crop production**. Canada: CRC, 1993. 137p.

HOAGLAND, D.R., ARNON, I. The water culture method for growing plants without soil. **Cir. Calif. Agric. Exp. Sta.** n.347, p.32. 1950.

HU, H., BROWN, P.H. Localization of in boron in cell walls of squash and tobacco and its association with pectin. **Plant Physiology**, v. 105, p.681-689, 1994.

HU, H., BROWN, P.H. Absorption of boron by plants roots. **Plant and Soil**, v.193, p.49-51, 1997.

JOHANSEN, D.A. **Plant microtechnique**. Mc Graw-Hill: New York, 1940.

KOUCHI, H. KUMAZAWA, K. Anatomical responses of root tips to boron deficiency. ii. effect of boron deficiency on the cellular growth and development in root tips. **Soil Science and Plant Nutrition**, v.21, p.137-150, 1975.

KOUCHI, H. KUMAZAWA, K. Anatomical responses of root tips to boron deficiency. III. Effect of boron deficiency on subcellular structure of root tips, particularly on cell wall and its related organelles. **Soil Science and Plant Nutrition**, v.22, p.53-71, 1976.

LEE, S.G., ARONOFF, S. Boron in plants: a biochemical role. **Science**, v.158, p.798-799, 1967.

LEITE, V.M. **Absorção e translocação de B em cafeeiro**. Botucatu, SP. 2002. 99p. Tese (Doutorado em Agronomia/Agricultura) - Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, São Paulo.

LEWIS, D.A. Boron lignification and the origin of vascular plants-a unified hypothesis. **New Physiology**, v.84, p.209-229, 1980.

MALAVOLTA, E., VITTI, G.C., OLIVEIRA, S.A. **Aplicação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações** :Potafos, 1997. 319 p.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. Londres: Academic Press, 1995. 889p.

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

METCAFE, C. R., CHALK, L. **Anatomy of the dicothyledons**. Oxford, v.1, 1950. p.223-233.

MILEY, W.N., HARDY, G.W., STURGIS, M.B., et al. Influence of boron, nitrogen and potassium on yield, nutrient uptake and abnormalities of cotton. **Agronomy Journal**, v.61, p.9-13, 1969.

MORAES-DALLAQUA, M.A. **Alterações nos órgãos vegetativos do feijão (*Phaseolus vulgaris*, L cv. carioca) causadas por diferentes níveis de B na solução nutritiva.** Rio Claro, 1992. 69 p. Tese (Doutorado em Ciências Biológicas/Biologia Vegetal) - Instituto de Ciências de Rio Claro, Universidade Estadual Paulista, São Paulo.

MURPHY, B.C., LANCARTER, J.D. Response of to boron. **Agronomy Journal**, v.63, p.539-540, 1971.

O'BRIEN, T. P., FEDER, N., McCULLY, M.E. Polychromatic staining of plants cell walls by toluidine blue. **O Protoplasma**, v.59, p.368-373, 1964.

OERTLI, J.J., RICHARDSON, W.F. The mechanism of boron immobility in plants. **Physiology Plant**, v.23, p.108, 1970.

OOSTERHUIS, D., BROWN, S. Effect in soil and foliar-applied boron on physiology and yield of cotton. **In the News**. < [http:// www.back-to-basics.net/](http://www.back-to-basics.net/)>. Acesso em 20 de maio de 2003.

QUAGGIO, J.A., SILVA, N.M. da, BERTON, R.S. **Culturas oleaginosas.** In: FERREIRA, M.E., CRUZ, M.C.P. (Ed.). Micronutrientes na Agricultura. Piracicaba: POTAFOS/CNPq, 1991. p.445-84.

RAVEN, J.A. Short and long-distance transport a boric acid in plants. **New Physiology**, v. 84, p.231, 1980.

ROCHA, J.F., NEVES, L.J. Anatomia foliar de Hibiscus tilicens L. e Hibiscus pernabucencis Arruda (Malvaceae). **Rodriguésia**, v.51, p.113-132, 2000.

ROSOLEM, A.C., BASTOS, G.B. Deficiências minerais no cultivar de algodão IAC 22. **Bragantia**, v. 56, p. 377-387, 1997.

ROSOLEM, C.A., COSTA, A. Cotton growth and boron distribution in the plants as affected by a temporary deficiency of boron. **Journal of Plant Nutrition**, v. 23, p.815-825, 2000.

ROSOLEM, C.A., ESTEVES, J.AF., FERELLI, L. Resposta de cultivares de algodoeiro ao boro em solução nutritiva. **Scientia Agricola**, v.56, p.705-711, 1999.

SAH, R.N., BROWN, P.H. Techniques for boron determination and their application to analysis of plant and soil samples. **Plant and Soil**,. v.193, p.15-33, 1997.

SANFLUENTES, J.R. **Concentração de crítica de B no algodoeiro (Gossypium hirsutum L. var. IAC 12)**. Piracicaba, SP. 1966. p. 40. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” - Universidade de São Paulo, São Paulo.

SÃO JOSÉ, J.F. B., SILVA, I.R., NOVAIS, R.F. Boron mobility in eucalyptus: I. Boron mobility in eucalyptus: II. Time-course of translocation and distribution of locally applied boric acid. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 25. Rio de Janeiro, 2002. **Resumos Expandidos**. Rio de Janeiro: SBSC/SBM, 2002. CD-rom.

SARRUGE et al. Estudos sobre alimentação mineral do algodoeiro. I. Marcha de absorção dos macronutrientes. **Anais da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz**, v.19, p.14-23, 1963.

SHARMA & RAMCHANDRA, T. Water relations and photosynthesis in mustard plants subjected to boron deficiency. **Indian Journal Plant Physiology**, v.33, p.150-154, 1990.

SHORROCKS, V. Occurrence and correction of boron deficiency. **Plant and Soil**, v.193, p.121-148, 1997.

SHU, Z.H., OBERLY, G.H., CARY, E.E. Absorption, movement and distribution of boron applied peach (*Prunus persica* L. Batsch) fruits. **Preceeding of the International Symposium on Boron in Soil and Plants Cold and Chiang**, Thailand, 1997, p.209-211.

SILVA, M.N. da, CARVALHO, L.H., BATAGLIA, O.C., HIROCE, R. Efeitos do boro em algodoeiro cultivado em condições de casa de vegetação. **Bragantia**, v.38, p.153-164, 1979.

SILVA, N.M. da, CARVALHO, L.H., CHIAVAGATO, E.J., SABINO, N.P et al.. Efeitos da dose de boro aplicadas no sulco de plantio do algodoeiro em solo deficiente. **Bragantia**, v.41, p. 181-191, 1982.

SILVA, N.M. *Nutrição e adubação do algodoeiro*. Piracicaba: POTAFOS. 1988, 6 p. (POTAFOS. **Informações Agronômicas**, 43).

TANG, P., FLUENTE, R.K. The transport of índole-3-acetic acid in boron and calcium deficient sunflower hypocotyl segments. **Plant Physiology**, v.81, p.646-650, 1986.

WEBBER, I.E. Anatomy of the leaf and stem of *Gossypium*. **Journal of Agricultural Research**, v.57, p.269-283, 1938.

WISE, R. R., SASSENATH, G.F., PERCY, R.G.A. A comparison of leaf anatomy in field-growth *Gossypium hirsutum* and *G. barbadense* **Annals of Botany**, v.86, n. p.731-738, 2000.

ZHAO, D., OOSTERHUIS, D.M. Cotton carbon exchange, nonstructural carbohydrates, and boron distribution in tissues during development of boron deficiency. **Field Crops Research**, v.78, p.75-87, 2002.