

## REVISÃO

# BORO NO METABOLISMO VEGETAL E ADUBAÇÃO BORATADA NO ALGODOEIRO HERBÁCEO

JOACI FRANKLIN DE MEDEIROS<sup>1</sup>, NAPOLEÃO ESBERARD DE MACEDO BELTRÃO<sup>2</sup> e JOSÉ DA CUNHA MEDEIROS<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Universidade Federal de Viçosa (UFV), Viçosa, MG. E-mail: jfmedeiros@globo.com, <sup>2</sup>Embrapa Algodão, Rua Osvaldo Cruz, 1143, Centenário, CEP 58107-720, Campina Grande, PB. E-mail: nbeltrao@cnpa.embrapa.br, cunha@cnpa.embrapa.br

**RESUMO:** Para a nutrição mineral das plantas superiores há necessidade da participação de 16 nutrientes ou elementos essenciais. A deficiência de boro no solo tem provocado queda de produtividade em muitas culturas e em diversas regiões agrícolas do mundo. Para a cultura do algodoeiro herbáceo (*Gossypium hirsutum* L. raça *latifolium* Hutch.), o problema com micronutrientes que ocorre com maior frequência é a deficiência de boro. Em solos arenosos, pobres em matéria orgânica, que recebem calagem e adubados com macronutrientes acima do nível adequado, existe uma maior possibilidade de ocorrência de deficiência deste micronutriente. Doses pouco acima das adequadas podem ser fitotóxicas ao algodoeiro. A falta de informações na literatura sobre este macronutriente evidencia a necessidade de se incrementar programas de pesquisa visando à diagnose adequada dos problemas relacionados ao boro na cultura do algodoeiro herbáceo, envolvendo respostas de genótipos, níveis críticos e adubação, englobando fontes de fertilizantes, especialmente a solubilidade, modos e épocas de aplicação e dosagens de boro nesta importante cultura para a economia brasileira.

**Termos para indexação:** Fertilização, algodão anual, *Gossypium hirsutum* L., crescimento, desenvolvimento.

## BORON IN METABOLISM AND YOUR FERTILIZATION IN UPLAND COTTON

**ABSTRACT:** Sixteen nutrients are demanded for high plants nutrition. Boron deficiency in the soil has caused yield reduction in many crops and in several agricultural regions worldwide. For the upland cotton crop (*Gossypium hirsutum* L. r. *latifolium* Hutch), the deficiency of boron in the soil is the most frequent problem. A higher possibility of micronutrient deficiency occurs in sand soil with low organic matter content, high liming and macronutrients fertilization. Phytotoxicity can be easily reached when boron dose is increased. The lack of information on this macronutrient clearly shows the need of improving research programs toward adequate problems diagnosis on upland cotton crop involving the genotype response, critical level, fertilization, fertilizers source, markedly its solubility, methods and periods of application and boron dosage on such important crop for the brazilian economy.

**Index terms:** Fertilization, annual cotton, *Gossypium hirsutum* L., growth, development.

## INTRODUÇÃO

O aumento progressivo da produtividade do algodão em algumas regiões do País, resultante do uso intensivo de técnicas agrícolas modernas,

vem ocasionando crescente retirada de macro e micronutrientes do solo. Entretanto, a retirada sucessiva de macronutrientes pelo algodoeiro vem sendo compensada com o uso freqüente de adubações, enquanto para os

micronutrientes, embora exigidos em menores quantidades, não se tem reposição adequada podendo, muitas vezes, tornar-se limitante nesta fibrosa tão importante para a economia brasileira.

Dentre os micronutrientes exigidos pelo algodoeiro, o boro é o mais importante, em virtude dos solos cultivados com esta malvácea serem, em sua maioria, pobres em matéria orgânica, principal fonte de boro no solo, e, também, pelo fato de sua disponibilidade ser reduzida com a elevação de pH após a calagem. Por isso, a manutenção da matéria orgânica do solo, uma calagem adequada e a utilização de adubos contendo boro, tornam-se essenciais no cultivo do algodão no Brasil. O uso desse nutriente tão importante nesta cultura, por exemplo, é imprescindível nos solos de cerrado, mas não está restrito a eles.

A região do cerrado brasileiro lidera a produção nacional de algodão, destacando-se os Estados de Mato Grosso e Goiás como os dois maiores produtores de algodão do País. Entretanto, como os solos sob cerrado apresentam características de acidez, toxidez de Al e/ou Mn, baixos níveis de Ca e Mg e são, por natureza, deficientes em micronutrientes, o B é imprescindível à correção desses problemas para que tais solos possam contribuir com eficiência no processo produtivo brasileiro (RICHETTI e MELO FILHO, 2001).

A adubação boratada na cultura do algodoeiro torna-se importante também no Nordeste, que apresenta áreas com solos arenosos, pobres em matéria orgânica e deficientes em boro que, quando cultivado com algodão sob sistema de irrigação, apresenta maiores chances de deficiência deste elemento, devido à facilidade de lixiviação deste micronutriente pela água de irrigação (SILVA et al., 1991). Um outro aspecto que deve ser levado em consideração na cotonicultura nordestina, é a possibilidade de toxidez de boro, pois em regiões áridas e semi-áridas os teores de boro no solo são maiores, podendo causar

injúrias em cultivares sensíveis ou mesmo tolerantes, caso da malvácea em questão (KRAUSKOPF, 1972).

Sabendo-se que o conhecimento do comportamento do algodoeiro quanto à tolerância, à falta ou ao excesso de boro pode ser relevante para recomendações de corretivos e fertilizantes, recomendação de cultivares e direcionamento de programas de melhoramento genético, o presente trabalho tem por objetivo relatar a importância do boro na cultura do algodoeiro herbáceo, levando-se em consideração trabalhos realizados no Brasil e no exterior, denotando-se recomendações de adubação boratada.

## CONSIDERAÇÕES GERAIS

Segundo Russel (1957), foi Warington, em 1923, quem sugeriu ser o boro essencial às plantas. Além de ser um dos sete micronutrientes essenciais ao crescimento das plantas, sua deficiência no solo tem provocado queda de produtividade em muitas culturas, dentre elas o algodoeiro, e em diversas regiões agrícolas do mundo, tanto em regime de sequeiro, dependente das chuvas, quanto em condições de irrigação.

O boro até pouco tempo era o único micronutriente para o qual ainda não se tinha encontrado um composto vital de cuja formação participasse. No entanto recentemente, Matoh e Kobaxashi (1998) verificaram que o boro forma ligações cruzadas com ácidos poligalacturônicos da parede celular, dando-lhe enrijecimento na medida certa. No entanto, ainda não se identificou qualquer reação crucial para o metabolismo que deixe de ocorrer na sua ausência (RAIJ, 1991). Demonstrou-se, no entanto, que o boro influencia a atividade de componentes específicos da membrana celular, aumentando a capacidade de absorver fósforo, potássio e cloro (MALAVOLTA, 1980). Pollard et al. (1977), ao estudarem a deficiência de boro em plantas, constataram que a atividade de ATPase isolada de frações da membrana

diminuída progressivamente, sendo, porém, rapidamente restaurada pela adição de ácido bórico uma hora antes da extração da enzima.

A deficiência em boro também determina outros distúrbios no desenvolvimento e no crescimento das plantas: aumenta o nível de ácido indolacético (IAA), diminui a síntese de proteínas, causa problemas na formação da parede celular, provoca dificuldade no transporte de produtos da fotossíntese e acúmulo de compostos fenólicos (MELO e LEMOS, 1991); desvia carboidratos das rotas normais do metabolismo celular, que promove o surgimento de compostos fenólicos e aumenta a atividade da polifenol oxidase (PPO), que junto com o excesso dos fenóis, provoca a destruição da membrana celular e, conseqüentemente, a morte do tecido vegetal (MARSCHNER, 1995). Lewis (1980), no entanto, enfatiza um relacionamento metabólico no qual o B, compostos fenólicos e peroxidases/IAA-oxidases interagem entre si e com as auxinas. A relação entre B, auxina e atividade peroxidase/IAA-oxidase, não está clara, existindo opiniões contraditórias. Por exemplo, a atividade da peroxidase é aumentada pela falta de B em muitos tecidos (ODHNOFF, 1957), mas tem sua atividade diminuída em outros tecidos (DUTTA e MCILRATH, 1964). Além disso, a atividade da IAA-oxidase pode ser aumentada pelo B (PARISH, 1968).

A necrose observada em plantas deficientes parece ser mais bem explicada pela acumulação de compostos fenólicos (LEE & ARONOFF, 1967; Dugger, 1983). De acordo com Shkol'nik (1974), a acumulação de compostos fenólicos durante a carência de B, é a causa original da morte da planta. Segundo Goldbach & Amberger (1991), geralmente o que é atribuído como acumulação de fenóis é, na verdade, um aumento na quantidade de substâncias melanóides, conseqüência do aumento da oxidação de quinonas, originadas dos ácidos fenólicos, e não um efeito primário de aumento na síntese de fenóis.

Apesar do boro participar de reações envolvidas no metabolismo da planta, ainda não se conseguiu um método bioquímico relacionando especifica e diretamente os teores do elemento com atividade enzimática e acúmulo ou diminuição de determinado metabólico (RAIJ, 1991).

Na maioria das citações, tem-se sua importância referida na síntese de bases nitrogenadas componentes do RNA, conformação e atividade da membrana celular, transporte de carboidratos para outros órgãos da planta, divisão celular, germinação dos grãos de pólen e crescimento do tubo polínico (RIBEIRO & BRAGA, 1974; GUPTA, 1979; MALAVOLTA, 1980; MARSCHNER, 1986, 1995).

Verificam-se, ainda na literatura, descrições freqüentes de atraso no desenvolvimento da raiz em plantas submetidas à omissão de B, devido a alterações na síntese de DNA e decréscimo no conteúdo de RNA, precedido de redução no conteúdo de proteína e aumento na atividade da RNAase (CHAPMAN & JACKSON, 1974; KRUEGER ET AL., 1987).

#### **FERTILIZAÇÃO BORATADA E SINTOMAS DE SUA DEFICIÊNCIA EM PLANTAS DE ALGODOEIRO HERBÁCEO**

A capacidade de produção do algodoeiro, quando cultivado em solos potencialmente pobres em boro, costuma diminuir de forma gradativa, mesmo antes de se tornarem claros os sintomas de deficiência. Na verdade, só em condições especiais ocorre queda brusca de produtividade. Portanto, é interessante se conhecer não só os principais aspectos da falta desse micronutriente como, também, as condições gerais que podem predispor esta cultura a uma eventual carência (SILVA & Carvalho, 1994).

Através de calagens e adubações minerais abundantes, tem-se tentado, no Estado de São Paulo, o aproveitamento de solos de Cerrado e

de outros biomas para a cultura algodoeira (Silva et al., 1979), por apresentar em topografia adequada à completa mecanização da lavoura, apesar de freqüentemente se mostrarem paupérrimos do ponto de vista de fertilidade. Em tal situação, foram encontrados sintomas típicos de carência de B no algodoeiro, anomalia esta confirmada por análises químicas de plantas (Costa et al., 1976).

De acordo com Silva & Carvalho (1994), não é de se estranhar, pois, que as principais reações do algodoeiro à adubação boratada, assim como as primeiras constatações de deficiência nutricional, tenham ocorrido em plantas sobre solos de campo (bioma especial) e de campos cerrados. Além do baixo teor de matéria orgânica, tais solos se caracterizam pela textura leve, mais sujeitos, portanto, à perda do micronutriente por lixiviação. Acrescenta-se a isto, a necessidade do uso intensivo de calcário e de adubos NPK em glebas de baixa fertilidade natural, fato freqüentemente apontado, também, como incentivador da necessidade de B na cultura do algodão.

De acordo com Marschner (1995), as dicotiledôneas dentre elas, o algodoeiro, apresentam maior requerimento de B quando comparadas com as monocotiledôneas. Este fato justifica a maior freqüência do aparecimento de deficiência de B em culturas dicotiledôneas, as quais exigem maior atenção no suprimento desse micronutriente.

Com base nos resultados positivos do estudo pioneiro realizado por Coleman (1945), vários pesquisadores têm relatado efeitos significativos da adubação boratada no algodoeiro, conforme mostram as revisões de Carvalho (1988) e Silva et al. (1991).

Carvalho (1988) cita cerca de catorze trabalhos que relatam efeito significativo da adubação boratada no algodoeiro cultivado em condições de campo. Somente alguns desses ensaios, no entanto, foram repetidos em diferentes glebas e anos agrícolas, porém,

segundo Silva et al. (1995 a e b) tem sido mais freqüente encontrar na literatura referências à falta de resposta do algodoeiro ao micronutriente que a efeitos positivos do seu uso.

Sedberry Jr. et al. (1969), por exemplo, aplicando 1,1 kg.ha<sup>-1</sup> de B em 59 ensaios de campo, nos EUA, observaram resultados positivos em apenas três casos, enquanto em nove deles ocorreram decréscimos de produção. Fritz (1971), usando doses variáveis de 0,17 a 2,86 kg.ha<sup>-1</sup> de B, em sete ensaios, na África, obteve efeito significativo em apenas dois.

Murphy & Lancaster (1971), aplicando boro (0,29 a 1,14 kg.ha<sup>-1</sup> de B) em algodão cultivado sobre solos corrigidos (pH ao redor de 7,0) no Mississippi, conseguiram resultados positivos e significativos em três dos seis ensaios. Silva et al. (1991), aplicando doses crescentes de 0,2 a 3,2 kg.ha<sup>-1</sup> de B, constataram significância estatística em apenas três dos 15 experimentos.

Segundo Silva et al. (1995 b), poucos trabalhos experimentais com o algodoeiro relatam resultados do acúmulo de B no solo, proveniente de adubações anuais. Como resultado positivo, destaca-se o estudo pioneiro de Coleman (1945) onde acréscimos gradativos de produção foram observados durante três anos sucessivos.

Hinkle & Brown (1968) conseguiram restaurar o nível de produção de algodão, que havia sido significativamente diminuído em parcelas calcariadas, após dois anos de adubação com o micronutriente. Carvalho (1980) observou que a produtividade das plantas aumentou no segundo ano de aplicação de B, quando em presença da calagem. Silva et al. (1995 b) verificaram vantagens quando o B foi aplicado na dose anual de 0,8 kg.ha<sup>-1</sup>.

A retirada do B (2 kg.ha<sup>-1</sup>) da mistura de adubos minerais em dois ensaios conduzidos em solos de campo cerrado de São Paulo, em meados de 1960, fez cair abruptamente a

produtividade do algodoeiro (McCLUNG et al., 1961). Em outros três experimentos, a inclusão de B ( $2 \text{ kg.ha}^{-1}$ ) e Zn ( $3 \text{ kg.ha}^{-1}$ ) associados, na adubação mineral, proporcionou aumentos sensíveis na produção das plantas (MIKKELSEN et al., 1963). Conforme Silva et al. (1982), trabalhos desenvolvidos em outros países até aquela ocasião, referiam-se a algumas vantagens do uso do B na adubação em que, em determinadas situações, aumentos de produtividade variando de 45 a  $1396 \text{ kg.ha}^{-1}$  de algodão em caroço foram registrados com o uso de doses variáveis de B (de 0,5 até  $1,7 \text{ kg.ha}^{-1}$ ), enquanto várias anomalias eram relatadas como sintomas de deficiência do micronutriente (COLEMAN, 1945; FRITZ, 1971; HINKLE e BROWN, 1968; MILEY et al., 1969; ROTHWELL et al., 1967; SEDBERRY Jr. et al., 1969).

Para Fritz (1971), em ensaio de campo com efeito significativo da adubação boratada o maior aumento de produção, da ordem de  $398 \text{ kg.ha}^{-1}$  de algodão em caroço, foi devido à dose de  $1,43 \text{ kg.ha}^{-1}$  de B. Já nos três experimentos de Murphy & Lancaster (1971) houve crescimento da produção até o nível de  $1,14 \text{ kg.ha}^{-1}$  de B, embora os acréscimos devidos às doses inferiores ( $0,29$  e  $0,57 \text{ kg.ha}^{-1}$  de B) não tenham diferido estatisticamente. Carvalho (1988) observou que a produção de algodão cresceu até a dose de  $1,15 \text{ kg.ha}^{-1}$  de B, em solos cuja deficiência de B nas plantas já havia sido observada.

A faixa de segurança entre deficiência de B e o seu excesso é pequena e a toxidez por excesso de B é tão grave quanto a sua falta (MALAVOLTA, 1980).

Nos primeiros sintomas de deficiência observados em São Paulo, os valores de análise foliar estiveram abaixo de  $20 \text{ mg.kg}^{-1}$  (COSTA et al., 1976).

No exterior, o nível crítico está entre 13 e  $15 \text{ mg.kg}^{-1}$  segundo Hinkle & Brown (1968). No Brasil, notou-se variação mais ampla, de 10 a

$40 \text{ mg.kg}^{-1}$  (MIKKELSEN et al., 1963; SARRUGE et al., 1973 e SILVA et al., 1979, 1982).

Silva et al. (1982) e Carvalho (1988), trabalhando em condições de deficiência, verificaram, nas parcelas sem e com adubo, que a concentração de boro na folha variou entre 15 e  $40 \text{ mg.kg}^{-1}$  e entre 20 e  $40 \text{ mg.kg}^{-1}$ , respectivamente.

Já Sedberry Jr. et al. (1969) notaram, nos ensaios com altas respostas ao boro, que no limbo da 1ª folha madura, colhida na haste principal das plantas testemunhas, a concentração variou entre 7 e  $30 \text{ mg.kg}^{-1}$  de B.

Silva et al. (1979), trabalhando em condições de casa-de-vegetação, observaram sintomas de toxicidade no algodoeiro quando a análise foliar indicava índices em torno de  $46 \text{ mg.kg}^{-1}$ .

Sedberry Jr. et al. (1969), embora não tenham descrito sintomas de toxicidade, acusaram freqüentemente decréscimos de produção de algodão com o uso de boro, quando os resultados da análise química da 1ª folha madura ultrapassavam a faixa de  $40\text{-}50 \text{ mg.kg}^{-1}$  de B. Silva et al. (1991) por sua vez, correlacionando concentração foliar com acréscimos de produção de algodão, chegaram a desaconselhar uma adubação imediata quando o teor foliar fosse superior a  $40 \text{ mg.kg}^{-1}$ .

A concentração de B no limbo foliar (SILVA et al., 1995b) aumentou significativamente com sua dose, em especial após as calagens e com o acúmulo, no solo, do micronutriente utilizado nas sucessivas adubações; a produtividade do algodoeiro cresceu até a faixa de  $45\text{-}50 \text{ mg.kg}^{-1}$  de B-foliar.

Silva et al. (1995a) indicam como adequada a faixa de  $30$  a  $50 \text{ mg.kg}^{-1}$  de B no limbo da quinta folha a partir do ápice, em amostragem feita em pleno florescimento.

O quadro sintomatológico de deficiência de

B no algodoeiro é função da intensidade de carência do nutriente no solo e do tempo de exposição das plantas a essa situação anômala. Usualmente, os primeiros sintomas ocorrem nas plantas jovens, nos tecidos de condução e nos órgãos de propagação, em plantas adultas, podendo, inclusive, serem constatados apenas nesses últimos (HINKLE & BROWN, 1968).

Em condições severas de deficiência do micronutriente observa-se, que o crescimento do ramo principal é bloqueado, com possível morte da gema terminal, e que os internódios ficam mais curtos, causando superbrotamento em nós freqüentemente intumescidos, o que resulta em plantas de porte pequeno, muito ramificadas e improdutivas, que retêm persistentemente a folhagem (SILVA et al., 1979). Rosolem & Bastos (1997) também notaram diminuição no comprimento dos nós de plantas de algodão IAC 22 deficientes em B.

Em condições de campo, plantas deficientes em B podem ficar mais altas que as não deficientes (SILVA et al., 1979) em razão da queda de estruturas reprodutivas. Entretanto, Rosolem & Bastos (1997), cultivando algodão IAC 22 em solução nutritiva, sem B, notaram diminuição na altura da planta.

Segundo Gridi-Papp et al. (1992), a deficiência de B manifesta-se freqüentemente por ocasião do florescimento, como uma leve deformação dos botões florais, clorose das sépalas e pétalas atrofiadas e enrugadas, tendo as extremidades torcidas para dentro e manchadas de pardo. As flores apresentam abertura deficiente e podem cair, sem frutificar. Os frutos geralmente são menores, disformes (Figuras 1 e 2), às vezes com descoloração interna na base. O "ponteiro" das plantas torna-se clorótico, atrofiado, com internódios curtos e tendência a crescimento do caule em zigzag e superbrotamento. Surgem anéis concêntricos escuros (Figura 3), salientes e pilosos nos pecíolos e nas hastes, com respectivo escurecimento interno. Podem ocorrer

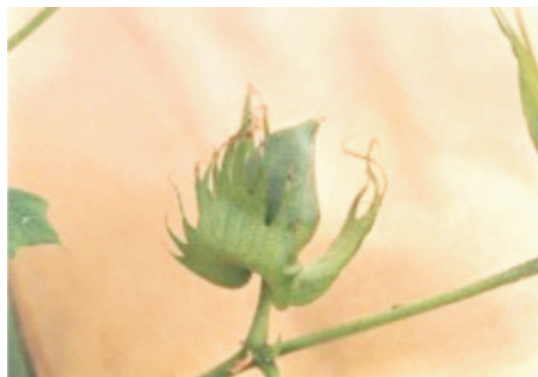


FIG. 1. Fruto de algodoeiro herbáceo deficiente em boro.

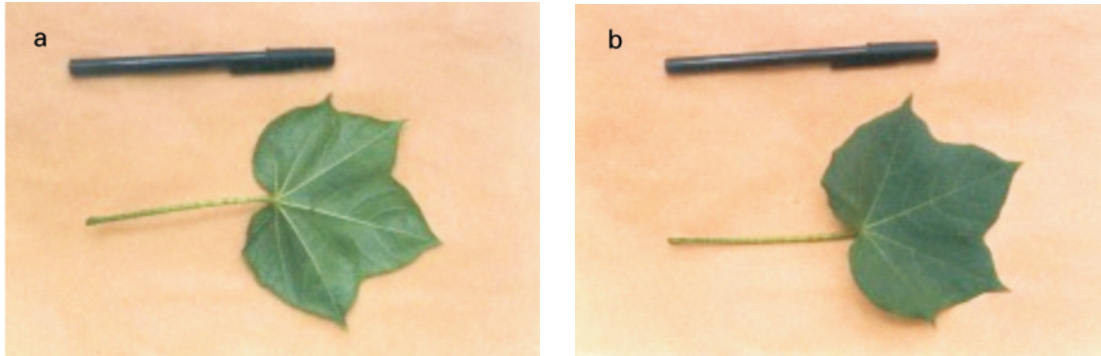


FIG. 2. Fruto de algodoeiro herbáceo deficiente em boro e fruto normal.

engrossamento e rachadura dos nós; em casos extremos, as gemas apicais morrem. As plantas produzem pouco e têm seu ciclo prolongado.

Para Silva (1999), como o problema ocorre em manchas na lavoura, a colheita mecânica é prejudicada. A adubação adequada corrige essa desuniformidade, aumenta o peso de capulhos e a produção, mas interfere pouco nas outras características. Em casos especiais, no entanto, constatou-se aumento no peso de sementes, melhoria no comprimento da fibra e diminuição no índice Micronaire.

Por outro lado, o boro em excesso causa toxidez, caracterizada por crestamento das folhas velhas, entre as nervuras, com manchas



**FIG. 3.** Folha do algodoeiro herbáceo apresentando no pecíolo anéis concêntricos escuros. (a) parte dorsal e (b) parte ventral.

amareladas (GRIDI-PAPP et al., 1992).

Silva et al. (1979), em estudo de casa-de-vegetação, observaram, como sintoma de toxicidade, clorose marginal e internerval do cotilédone e/ou da folha verdadeira, que evoluiu ou não para necrose do tecido, permanecendo as nervuras com coloração verde normal. A parte necrosada pela toxicidade é de coloração amarelada intensa, sendo que as folhas secas se apresentam muito quebradiças ao tato, vindo a cair rapidamente. Os mesmos autores descreveram sintomas de toxicidade na planta com a aplicação de doses superiores a  $3,0 \text{ kg.ha}^{-1}$  de B. Para Silva (1999), o sintoma mais comum de toxidez corresponde a crestamento das bordas das primeiras folhas e atraso no desenvolvimento inicial das plantas.

### CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ficou constatada, com esta revisão, a necessidade de se incrementar programas e projetos de pesquisa visando a diagnose adequada dos problemas relacionados ao boro na cultura do algodão herbáceo, bem como formulações de adubação deste elemento na referida cultura. A adição do boro nas formulações de adubação poderá ser elemento de incremento de produtividade e de qualidade da fibra. O boro é um nutriente de elevada

complexidade no metabolismo vegetal, participando de diversas rotas metabólicas e é integrante da parede celular das plantas superiores.

### REFERÊNCIAS

- CARVALHO, L.H. de. **Aplicação de boro na cultura do algodoeiro (*Gossypium hirsutum* L. var. *latifolium* Hutch).** Piracicaba: USP/ESALQ, 1988. 76p. Tese Doutorado.
- CARVALHO, L.H. de. **Efeitos da calagem e da adubação boratada sobre o algodoeiro (*Gossypium hirsutum* L.) cultivado em Latossolo Vermelho-Amarelo – fase arenosa.** Piracicaba: USP/ESALQ, 1980. 64p. Tese Mestrado.
- CHAPMAN, K.S.R.; JACKSON, J.F. Increasead RNA labelling in boro-deficient root tip segments. **Phytochemistry**, v. 13, p. 1311-1318, 1974.
- COLEMAN, R. Yield and quality of cotton can be improved by boron. **Better Crops**, New York, v. 21, n. 4, p. 18-20, 48-50, 1945.
- COSTA, A.S.; CARVALHO, N.; GALLO, J.R.; COSTA, D.S. Deficiência de boro: anomalia do algodoeiro em São Paulo que se assemelha a uma virose. **Fitopatologia**, Lima, v. 11, n. 1, p.

10-11, 1976.

DUGGER, W.N.M. Boron in plant metabolism. In: LAÜCHLI, A.; BIELESKI, R.L., eds. **Encyclopedia of plant physiology**. Berlin: Springer-Verlag, 1983. v. 15B, cap. 2, p. 626-650.

DUTTA, T.R.; McILRATH, W.J. Effects of boron on growth and lignification in sunflower tissue. **Botanical Gazette**, Chicago, v. 125, p. 89, 1964.

FRITZ, A. La déficience en bore du cotonnier ou Nord-Cameroun. **Coton et Fibres Tropicales**, Paris, v. 26, n. 2, p. 235-241, 1971.

GOLDBACH, H.; AMBERGER, A. Role of boron; B, phenol metabolism and cell wall extension. In: SHORROCKS, V.M., coord. **Behaviour, function and significance of boron in agriculture**. London: Borax, 1991. p. 20-21.

GRIDI-PAPP, I.L.; CIA, E.; FUZATTO, M.G.; SILVA, N.M.; FERRAZ, C.A.M.; CARVALHO, N.; CARVALHO, L.H.; SABINO, N.P.; KONDO, J.I.; PASSOS, S.M.G.; CHIAVEGATO, E.J.; CAMARGO, P.P.; CAVALERI, P.A. **Manual do produtor de algodão**. São Paulo: Bolsa de Mercadorias & Futuros, 1992. 158p.

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

HINKLE, D.A.; BROWN, A.L. Secondary nutrients and micronutrients. In: ADVANCES in production and utilization of quality cotton - principles and practices. Ames: The Iowa State University, 1968. 532p.

KRAUSKOPF, K.B. **Introdução à geoquímica**. São Paulo, USP/Polígono, 1972. v. 2. 605p.

KRUEGER, R.W., LOVATT, C.J.; ALBERT, L.S. Metabolic requirement of *Cucurbita pepo* for boron. **Plant Physiology**, v. 83, p. 254-258, 1987.

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

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

MALAVOLTA, E. **Elementos de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1980. 251p.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 2. ed. San Diego: Academic Press, 1995. 889p.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. London: Academic Press, 1986. 674p.

McCLUNG, A.C.; FREITAS, L.M.M.; MIKKELSEN, D.S.; LOTT, W.L. **A adubação do algodoeiro em solos de campo cerrado no Estado de São Paulo**. São Paulo: IBEC Research Institute, 1961. 35p. (Boletim 27).

MELO, W.J. de.; LEMOS, E.G.M. Análise bioquímica de plantas. In: SIMPÓSIO SOBRE MICRONUTRIENTES NA AGRICULTURA, 1., 1988, Jaboticabal. **Anais...** Piracicaba: Potafos/CNPq, 1991. p. 309-331.

MIKKELSEN, D.S.; FREITAS, L.M.M.; McCLUNG, A.C. **Efeitos da calagem e adubação na produção de algodão, milho e soja em três solos de campo cerrado**. São Paulo: Instituto de Pesquisas IRI, 1963. 48p. (IRI Boletim 29).

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

MURPHY, B.C.; LANCASTER, J.D. Response of cotton to boron. **Agronomy Journal**, Madison,

- v. 63, n. 4, p. 539-540, 1971.
- ODHNOFF, C. Boron deficiency and growth. **Physiologia Plantarum**, Copenhagen, v. 10, p. 984-1000, 1957.
- PARISH, R.W. In vitro studies on the relationship between boron and peroxidase. **Enzymologia**, Dordrecht, v. 35, p. 239-252, 1968.
- POLLARD, A.S.; PARR, A.J.; LOUGHMANN, B.C. Boron in relation to membrane function in higher plants. **Journal of Experimental Botany**, v. 28, p. 831-841, 1977.
- RAIJ, B.van. Geoquímica de micronutrientes. In: SIMPÓSIO SOBRE MICRONUTRIENTES NA AGRICULTURA, 1., 1988, Jaboticabal. **Anais...** Piracicaba: Potafos/CNPq, 1991. p. 100-111.
- RIBEIRO, A.C.; BRAGA, J.M. Adsorção de boro pelo solo. **Experimentiae**, Viçosa, v. 17, n. 12, p. 293-310, 1974.
- RICHETTI, A.; MELO FILHO, G.A. de. Aspectos socioeconômicos do algodoeiro. In: EMBRAPA. Agropecuária Oeste (Dourados, MS). **Algodão: tecnologia de produção**. Dourados: Embrapa-Agropecuária Oeste/Embrapa-CNPq, 2001. p. 13-34.
- ROSOLEM, C.A.; BASTOS, G.B. Deficiências minerais no cultivar de algodão IAC 22. **Bragantia**, Campinas, v. 56, n. 2, p. 377-387, 1997.
- ROTHWELL, A.; BRYDEN, J.W.; KNIGHT, H.; COXE, B.J. Boron deficiency of cotton in Zambia. **Cotton Growing Review**, v. 44, p. 23-28, 1967.
- RUSSEL, D.A. Boron and soil fertility. In: STTEFFERUD, A., ed. **The yearbook of agriculture**. Washington: The United States Department of Agriculture, 1957. p. 121-128.
- SARRUGE, J.R.; HAAG, H.P.; MALAVOLTA, E.; ACCORSI, W.R. Estudo sobre a adubação mineral do algodoeiro: II. Deficiências de micronutrientes na variedade IAC 11. **Anais da ESALQ**, v. 30, p. 93-103, 1973.
- SEDBERRY JÚNIOR, J.E.; NUGENT, A.L.; BRUPBACHER, R.H.; HULDER, J.B.; PHILLIPS, S.A.; MARSHALL, L.G.; SLOANA, L.W.; MELVILLE, D.R.; RABB, J.L. **Boron investigation with cotton in Louisiana**. Baton Rouge: Louisiana Agricultural Experiment Station, 1969. 27p. (Bulletin, 635).
- SHKOL'NIK, M.Y. General conception of the physiological role of boron in plants. **Soviet Plant Physiology**, v. 21, p. 140-150, 1974.
- SILVA, N.M. da. Nutrição mineral e adubação do algodoeiro no Brasil. In: CIA, E.; FREIRE, E. C.; SANTOS, W. J. dos. eds. **Cultura do algodoeiro**. Piracicaba: Potafos, 1999. p. 57-92.
- SILVA, N.M. da; CARVALHO, L.H. de. A importância do boro na adubação do algodoeiro. **O Agrônomo**, Campinas, v. 46, n. 1-3, p. 27-30, 1994.
- SILVA, N.M. da; CARVALHO, L.H. de; BATAGLIA, O.C.; HIROCE, R. Efeitos do boro em algodoeiro cultivado em condições de casa de vegetação. **Bragantia**, Campinas, v. 38, n. 16, p. 153-164, 1979.
- SILVA, N.M. da; CARVALHO, L.H. de; CHIAVEGATO, E.J.; KONDO, J.I.; BATAGLIA, O.C.; HIROCE, R.; BORTOLETTO, N.; SABINO, J.C. Estudo regional da adubação boratada do algodoeiro no Estado de São Paulo. **Bragantia**, Campinas, v. 50 n. 2, p. 341-358, 1991.
- SILVA, N.M. da; CARVALHO, L.H. de; CHIAVEGATO, E.J.; SABINO, N.P.; HIROCE, R. Efeito de doses de boro aplicadas no sulco de plantio do algodoeiro, em solo deficiente. **Bragantia**, Campinas, v. 41, n. 19, p. 181-191, 1982.

- SILVA, N.M. da; CARVALHO, L.H. de; CIA, E.; FUZATTO, M.G.; CHIAVEGATO, E.J.; ALLEONI, L.R.F. Seja o doutor do seu algodoeiro. **Informações Agronômicas**, Piracicaba, n. 69, p. 1-24, 1995a.
- SILVA, N.M. da; CARVALHO, L.H. de; KONDO, J.I.; BATAGLIA, O.C.; ABREU, C.A. Dez anos de sucessivas adubações com boro no algodoeiro. **Bragantia**, Campinas, v. 54, n. 1, p. 177-185, 1995b.

---

*Aceito para publicação em outubro de 2004*