CRESCIMENTO E ESTADO NUTRICIONAL DE *Eucalyptus citriodora*
CULTIVADO SOB DOSES DE BORO E SUA RELAÇÃO COM A
AGRESSIVIDADE DE *Botryosphaeria ribis*

RONALDO LUIZ VAZ DE ARRUDA SILVEIRA
Engenheiro Florestal

Orientador: Prof. Dr. Antonio Natal Gonçalves

Dissertação apresentada à Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", da Universidade de São Paulo, para obtenção do título de Mestre em Agronomia - Área de concentração: Solos e Nutrição de Plantas.

PIRACICABA
Estado de São Paulo - Brasil
Novembro - 1996

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
DIVISÃO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - Campus "Luiz de Queiroz"/USP

Silveira, Ronaldo Luiz Vaz de Arruda

Crescimento e estado nutricional de *Eucalyptus citriodora* cultivado sob doses de boro e sua relação com a agressividade de *botryosphaeria ribis* / Ronaldo Luiz Vaz de Arruda Silveira. - - Piracicaba, 1996.

100p. : il.

Dissertação (mestrado) - - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 1996.
Bibliografia.

1. Boro em eucalipto 2. Cancro do eucalipto 3. Eucalipto - Crescimento 4. Eucalipto - Nutrição 5. Fungo fitopatogenico 6. Patogenicidade 1. Título.

CDD 634.9734

CRESCIMENTO E ESTADO NUTRICIONAL DE *Eucalyptus citriodora*
CULTIVADOS SOB DOSES DE BORO E SUA RELAÇÃO COM A
AGRESSIVIDADE DE *Botryosphaeria ribis*

RONALDO LUIZ VAZ DE ARRUDA SILVEIRA

Aprovada em: 19/12/1996

Comissão julgadora:

Prof. Dr. Antonio Natal Gonçalves

Prof. Dr. Tasso Leo Krugner

Prof. Dr. Quirino Augusto de Camargo Carmello

ESALQ/USP

ESALQ/USP

ESALQ/USP

Prof. Dr. ANTONIO NATAL GONÇALVES
Orientador

*À minha querida esposa MARTA REGINA ALMEIDA MUNIZ, pelo amor, compreensão
e incentivo durante o desenvolvimento deste trabalho.*

*A meu pai RONALDO IVAN SILVEIRA, com orgulho dos ensinamentos transmitidos
tanto ao nível pessoal como profissional.*

*À minha mãe LUIZA MARIA VAZ DE ARRUDA SILVEIRA, pelo amor e dedicação
concedida durante toda minha vida.*

À minha irmã LICIANA VAZ DE ARRUDA SILVEIRA CHALITA, com carinho.

Dedico

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. Antonio Natal Gonçalves pela orientação e amizade durante o transcorrer deste trabalho.

Ao Prof. Dr. Tasso Leo Krugner pela amizade, sugestões e críticas ao trabalho.

Ao Prof. Dr. Quirino Augusto de Camargo Carmello, pelas sugestões e críticas ao trabalho.

À Prof^a Liciania Vaz de Arruda Silveira Chalita, UNESP/BOTUCATU, pelo auxílio prestado na análise estatística.

Ao Eng^o Marco Antonio Fabiano Camargo pela ajuda durante o desenvolvimento deste trabalho.

Ao Biol. Edson Namita Higashi e ao Eng^o Edward Fagundes Branco, pelo incentivo, convívio e amizade.

Aos estudantes Andreia Maffeis, Ernesto Norio Takashi, Fábio Sgarbi, Renato Fabris e Valéria Carli pela compreensão e amizade.

À Companhia Siderúrgica Guanabara na pessoa do Eng^o Flávio Sérgio Mendes pelo fornecimento das mudas.

Ao técnico de laboratório, Antonio Carlos Ferreira, pela colaboração nas análises químicas de plantas.

Ao fotógrafo, Wladimir José Rosignolo pela produção do material fotográfico.

À Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” através dos Departamentos de Ciência do Solo e Ciências Florestais, pelas estruturas e facilidades proporcionadas.

Ao curso de Pós graduação em Solos e Nutrição de Plantas pela oportunidade de aprimoramento.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico pelo auxílio financeiro concedido.

ÍNDICE

RESUMO	vii
SUMMARY	viii
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	3
2.1. Funções e sintomas de deficiências de boro em espécies florestais	3
2.2. Respostas de <i>Eucalyptus</i> spp à aplicação de boro	10
2.3. Ocorrência de cancro em árvores e fatores de predisposição	15
2.4. Associação de fungos do gênero <i>Botryosphaeria ribis</i> com espécies de <i>Eucalyptus</i> e fatores de predisposição	17
2.5. Taxonomia de <i>Botryosphaeria ribis</i>	20
2.6. Influência do estado nutricional da planta na suscetibilidade ao ataque de patógenos.....	20
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	31
3.1. Condicionamento de <i>Eucalyptus citriodora</i> para obtenção de deficiência e excesso de boro.	31
3.2. Avaliação do desenvolvimento das plantas.....	33
3.3. Inoculação e avaliação das lesões causadas por <i>Botryosphaeria ribis</i>	33
3.4. Observações, colheita e preparo de material vegetal para a análise química.	35
3.5. Análise química.....	36
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	38
4.1. Sintomas visuais de deficiência e excesso de boro	38

4.2. Desenvolvimento das plantas	41
4.2.1. Altura	41
4.2.2. Diâmetro	44
4.2.3. Produção de material seco.	47
4.3. Concentração dos macronutrientes e boro.....	51
4.4. Sintomas da doença.	60
4.5. Agressividade de <i>Botryosphaeria ribis</i>	64
4.6. Influência do boro sobre a agressividade de patógenos oportunistas...	73
4.7. Recomendações para estudos futuros.....	77
5. CONCLUSÕES.....	78
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	79
APÊNDICE	88

CRESCIMENTO E ESTADO NUTRICIONAL DE *Eucalyptus citriodora*
CULTIVADO SOB DIFERENTES DOSES DE BORO E SUA RELAÇÃO COM A
AGRESSIVIDADE DE *Botryosphaeria ribis*

Autor: Ronaldo Luiz Vaz de Arruda Silveira

Orientador: Prof.Dr. Antonio Natal Gonçalves

RESUMO

Um experimento em casa de vegetação foi realizado para verificar o efeito do boro sobre o crescimento e a concentração de nutrientes de *Eucalyptus citriodora*, e sua relação, com a suscetibilidade das plantas a *Botryosphaeria ribis*, um patógeno que está comumente associado aos cancrios e “dieback” no campo. Sete doses de boro em solução nutritiva foram estudadas: 0; 0,125; 0,5; 1,0; 2,0 e 4,0 mg L⁻¹ de B. Aos 12 meses após o início dos tratamentos, o fungo foi inoculado por ferimento na região basal, mediana e apical do caule, usando-se discos de micélio-água. Sessenta dias após a inoculação, as lesões foram avaliadas, medindo-se o comprimento no sentido longitudinal do caule. Antes e após a inoculação, foram realizadas, medições de altura, diâmetro basal e mediano. As plantas foram separadas em folhas superiores e inferiores, ramos e caule, no final do ciclo, para a análise química visando determinar a concentração dos macro e micronutrientes, com exceção de Cl e Mo, além do material seco.

Os resultados obtidos indicaram que a omissão de boro limitou o crescimento das plantas, expresso pelo diâmetro, altura e produção de material seco, e aumentou a agressividade de *B.ribis*. O comprimento das lesões foi maior na posição basal do caule, quando comparado com as outras posições. As concentrações foliares de boro na faixa de 30 a 240 mg kg⁻¹ de B não influenciaram o crescimento das plantas e a sua suscetibilidade a *B.ribis*. Observou-se que a omissão de boro induziu a deficiência de potássio, e que não houve efeito de toxidez de boro até 4,0 mg L⁻¹ de B, sendo o *E.citriodora* assim classificado como uma espécie tolerante ao boro. O *Eucalyptus citriodora* também foi considerado como uma espécie pouco exigente em boro, uma vez que pequenas doses de boro na solução foram suficientes para se ter um crescimento normal da espécie.

**GROWTH AND STATUS NUTRIENT OF *Eucalyptus citriodora* GROWN
UNDER DOSES OF BORON AND THEIR RELATIONSHIP WITH THE
AGGRESSIVENESS OF *Botryosphaeria ribis***

Author: Ronaldo Luiz Vaz de Arruda Silveira

Advisor: Prof. Dr. Antonio Natal Gonçalves

SUMMARY

A greenhouse experiment was carried out in order to verify the effect of boron on the growth and nutrient concentration of *Eucalyptus citriodora* plants and their relationship with the susceptibility of the plants to *Botryosphaeria ribis*, a common secondary pathogen associated with cankers and dieback in the field. Seven doses of boron in nutrient solution were tested: 0, 0.125, 0.25, 0.5, 1.0, 2.0 and 4.0 mg L⁻¹ de B. Twelve months after treatment initiations, the fungus was wound inoculated on the basal, median and apical portion of the stem, by using mycelium agar discs as inoculum. Sixty days after inoculation length of the lesions were measured. Measurements of height, basal and median diameter were taken before and after inoculation. At the end of the experiment, the plant parts (upper and lower leaves, branches and stem) were sampled for chemical analysis (macro and micronutrients, with the exception of Cl and Mo) and dry matter measurement.

The results obtained showed that boron omission limited the growth of the plants, expressed in diameter, height and dry matter weight, and increased the aggressiveness of *B.ribis*. Lesion size was bigger on the basal portion of the main stem than in the other portions. Boron concentration in the leaves in the range of 30 to 240 mg kg⁻¹ de B, did not influence growth of the plants and their susceptibility to the fungus. It was also concluded that boron omission induces potassium deficiency on the plant tissue and there is no toxicity effect of higher boron concentrations, *E. citriodora* being classified as a tolerant species to boron. *Eucalyptus citriodora* was also considered to be a low requiring species to boron, since smaller doses of boron applied to the nutrient solution were sufficient for normal growth of the plants.

1. INTRODUÇÃO

Normalmente, os povoamentos florestais no Brasil têm sido implantados em solos com baixa fertilidade natural, como as areias quartzosas e os latossolos arenosos distróficos ou álicos, onde o boro e outros nutrientes ocorrem em níveis limitantes.

A deficiência de boro tem sido comum nas áreas com plantios de eucalipto, principalmente nas com *Eucalyptus citriodora* Hook. Os sintomas observados dessa deficiência são: folhas novas cloróticas, encarquilhadas e coriáceas que se tornam quebradiças; morte de gema apical; fendilhamento da casca e tronco, com exsudação de goma e necrose dos tecidos. Além de afetar o crescimento e o desenvolvimento das árvores, essa deficiência parece ser um fator de predisposição da planta à ocorrência de fungos patogênicos secundários, conforme levantamento feito em áreas com *Eucalyptus citriodora* de um ano de idade na região de São Manuel - SP. Nessa região e em outras no estado de São Paulo e no Mato Grosso do Sul, especialmente em solos arenosos, verificou-se a presença de dois fungos, *Botryosphaeria ribis* Grossenb & Dugg (sin. *B. dothidea* (Moug. ex Fr.) Ces & de Not) e *Lasiodiplodia theobromae* (pat.) Griff. & Maubl. (sin. *Botryodiplodia theobromae* Pat.). Esses fungos são encontrados em outros países, associados às lesões necróticas no caule de espécies de *Eucalyptus*.

Botryosphaeria ribis, tem sido também observado como um patógeno que apresenta maior agressividade em plantas predispostas à infecção, por fatores como o desfolhamento e a deficiência hídrica. No entanto, o déficit hídrico é a principal causa de deficiência de boro em *Eucalyptus citriodora* e *Eucalyptus urophylla* no cerrado de Minas Gerais, uma vez que interrompe a mineralização da matéria orgânica, diminuindo a disponibilidade de boro (BERGER & TRUOG, 1946), bem como o mecanismo de absorção por fluxo de massa (MALAVOLTA & KLIEMANN, 1985). Isso sugere que, a deficiência de boro, associada ao estresse hídrico, seja um fator de predisposição à infecção de patógenos secundários como os do gênero *Botryosphaeria*.

O presente trabalho teve como objetivos: verificar o efeito de boro aplicado na solução nutritiva sobre a altura, diâmetro e a produção de matéria seca de *Eucalyptus citriodora*, bem como na sua concentração e na dos demais nutrientes na planta; determinar o grau de patogenicidade de *Botryosphaeria ribis* em diferentes posições do caule de *Eucalyptus citriodora* e verificar uma possível relação entre o estado nutricional do *Eucalyptus citriodora* em relação ao boro e a susceptibilidade a *Botryosphaeria ribis*.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Funções e sintomas de deficiência de boro em espécies florestais

O boro é um nutriente de plantas que não satisfaz o critério direto da essencialidade, sendo que não se encontrou nenhum composto vital no qual ele participe e nem se identificou qualquer reação crucial para o metabolismo que é interrompida na sua ausência (MALAVOLTA, 1980). Afirma-se que, o boro influencia a síntese de ácidos nucléicos e proteínas, a síntese de sacarose, a formação da parede celular, a divisão celular, o balanço de fitohormônios, a produção de fenóis e a absorção radicular (ALBERT, 1965; POLLARD *et al.* 1977; GUPTA, 1979; MALAVOLTA, 1980).

Um dos papéis atribuídos ao boro é, facilitar o transporte de açúcares das folhas para os órgãos, que é explicado de duas maneiras : a) pela formação de um complexo carboidrato - boro, responsável por um produto de maior solubilidade nas membranas; b) pelo desorganização da estrutura e do funcionamento dos vasos condutores, que é comum na carência de boro. Esse papel do boro é facilmente notado em condições de deficiência severa, onde ocorre um engrossamento das folhas em razão do acúmulo de carboidratos (PRICE *et al.*, 1972; HEWITT & SMITH, 1975; JACKSON & CHAPMAN, 1975; POLLARD *et al.*, 1977; MALAVOLTA, 1980).

O boro, por outro lado, está estreitamente relacionado com a divisão celular, sendo que em sua carência, ocorre a degeneração dos tecidos meristemáticos, devido a uma limitação na divisão celular, facilmente notada nos pontos de crescimento, como as gemas apicais, raízes, felogênio e câmbio vascular, sendo necessário um suprimento contínuo de boro, para a manutenção da atividade meristemática (ALBERT, 1965; HEWITT & SMITH, 1975; COHEN & LEPPER, 1977; GUPTA, 1979; MALAVOLTA, 1980). Como consequência, a deficiência de boro afeta a atividade do felogênio, dificultando a formação da periderme de cicatrização, um dos mecanismos responsáveis pela defesa das plantas lenhosas à infecção e injúria (MULLICK, 1977). Outro papel atribuído ao boro é a formação de parede celular (HEWITT & SMITH, 1975; MALAVOLTA, 1980), sendo que ácido bórico pode servir como unidade de ligação entre polissacarídeos na parede celular. Na sua falta, ocorrem modificações morfológicas nas plantas, tais como parede celular muito fina e pouco lignificada (HEWITT & SMITH, 1975; LEWIS, 1980; DRUGGER, 1983; MARSCHNER, 1986; MALAVOLTA *et al.*, 1989), diminuindo assim a rigidez dos tecidos.

A deficiência de boro tem sido encontrada em plantações de *Eucalyptus* desde a década de 1950. VAIL *et al.* (1957) e SAVORY (1962) relataram que o principal sintoma é a seca de ponteiro (“dieback”), sendo que as manifestações ocorrem, principalmente, durante as estações secas. Nesse período, a mineralização da matéria orgânica, principal fonte de boro nos solos tropicais, é menor, em razão da baixa

atividade dos microorganismos, além de ocorrer uma menor absorção desse micronutriente, a qual se dá pelo mecanismo de fluxo de massa (MALAVOLTA & KLIEMANN, 1985).

CARVALHO *et al.* (1980) observaram sintomas de deficiência de boro em *Eucalyptus saligna* em condições de campo. Em plantas jovens, ocorreu a morte generalizada dos ponteiros, ramificações excessivas e menor porte das plantas. O aspecto geral das folhas foi de uma coloração vermelho-bronzeada. Os autores, ao realizarem cortes anatômicos de caules de plantas com carência de boro, notaram anomalias caracterizadas por ausência ou baixo número de elementos de vasos, e pelo aumento do número de fibras e traqueídeos. Verificaram ainda, deformações nas estruturas e na configuração dos vasos, sendo que os raios medulares estavam distribuídos em fileiras duplas em vez de fileiras únicas, como ocorria nos tecidos de plantas normais. As células dos raios medulares encontravam-se hipertrofiadas e as meristemáticas do câmbio disformes ou necrosadas, sendo o mesmo observado em relação ao floema.

ROCHA FILHO *et al.* (1978), estudando a carência de macronutrientes, boro e ferro em mudas de *Eucalyptus urophylla*, cultivadas em solução nutritiva, constataram que a deficiência ocorria quando as plantas apresentavam concentrações de $8,0 \text{ mg kg}^{-1}$ de B no material seco, em torno de 28 dias após a omissão do nutriente. Verificaram ainda, que as concentrações normais foram de $30,5 \text{ mg kg}^{-1}$ de B no material seco.

No Brasil, estudos envolvendo micronutrientes em plantações de *Eucalyptus* em termos de seus efeitos sobre o crescimento, a absorção de outros nutrientes e os sintomas de deficiência tem sido relegados a segundo plano, quando de fato, a diferença entre eles e os macronutrientes, está apenas nas menores quantidades absorvidas e não na importância nutricional (BARROS & NOVAIS, 1990). Prova disso é que a deficiência de boro tem sido comumente encontrada nos plantios de *Eucalyptus spp*, sendo os sintomas facilmente identificados, tais como : folhas novas cloróticas, encarquilhadas e coriáceas que se tornam quebradiças; morte de gema apical e seca de ponteiro seguida de bifurcação a partir de gemas axilares ; fendilhamento da casca e tronco, com exsudação de goma e necrose dos tecidos; morte descendentes de ramos (“dieback”) achatamento do caule devido à morte do câmbio (TOKESHI *et al.*, 1976; SILVEIRA *et al.* , 1995b).

STONE (1990) fez algumas considerações sobre a deficiência e o excesso de boro em espécies florestais, chamou atenção para a ocorrência da deficiência em muitos países, notadamente em plantações exóticas de *Eucalyptus* e *Pinus*, em solos que sofreram aplicação somente de NPK, queima ou erosão. A deficiência severa causou baixa sobrevivência das árvores no campo, enquanto que uma deficiência leve proporcionou danos nos galhos e troncos (necrose dos tecidos e gomose) e baixa qualidade da madeira. O autor relatou ainda que espécies e genótipos dentro de espécies, diferem quanto à exigência de boro e aos danos causados pela carência.

Segundo DELL & MALAJACZUK (1994), a deficiência de boro foi relatada como a principal causa de caules tortuosos e folhas deformadas em plantações de *Eucalyptus globulus*, *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus tereticornis* e *Eucalyptus urophylla* na China. Sintomas de deficiência em *Eucalyptus globulus* são folhas encarquilhadas e mal formadas, caules retorcidos e morte descendente de ramos. Em *Eucalyptus urophylla*, folhas com clorose, seguida de necrose das margens, coriáceas, morte de brotos seguida de superbrotação das gemas axilares. Em *Eucalyptus grandis*, a morte descendente de ramos é precedida pelo acúmulo de antocianina nas folhas novas. Plantas de *Eucalyptus tereticornis* deficientes em boro, apresentam folhas com clorose marginal, internerval e margens recurvadas. A concentração de boro nas folhas novas de *Eucalyptus globulus* sadio foi de 36 mg kg^{-1} no material seco quando comparada com 10 mg kg^{-1} nas árvores de caule retorcidos. Sintomas não foram constatados em plantações de *Eucalyptus globulus* que receberam fertilizantes boratados no plantio, bem como o crescimento dos brotos terminais de *Eucalyptus urophylla* tornaram-se normais mediante a adição de boro no solo.

DELL *et al.* (1995) descreveram e ilustraram sintomas de deficiências nutricionais em várias espécies de *Eucalyptus*. Em relação ao boro, eles mostram que a deficiência severa danifica os brotos terminais. Inicialmente ocorreu uma mudança de pigmentação das folhas novas e o acúmulo de pigmentos purpúreos e cloróticos ao redor das margens. A clorose pode tornar-se internerval ou estender-se por toda a folha, variando em função da espécie de *Eucalyptus*. As folhas ficam mal

formadas, com a falta de pedaços próximos a margem ou dentro da lamina. Nos casos de deficiência severa, os ramos ficam retorcidos e caídos, devido a não haver lignina suficiente nos ramos para suportar a quantidade de folhas. Esta fase é precedida pela seca dos brotos terminais. Após a seca dos ponteiros, inicia-se uma superbrotção das gemas terminais e laterais, ocorrendo a bifurcação do caule.

Esses autores mostraram ainda as faixas adequadas e deficientes dos nutrientes nas folhas novas totalmente expandidas, de plantações de várias espécies de *Eucalyptus* aos 2 anos de idade: para *Eucalyptus grandis*, a faixa adequada foi: 18 a 34 g kg⁻¹ de N; 1,0 a 2,2 g kg⁻¹ de P; 9 a 18 g kg⁻¹ de K; 3 a 6 g kg⁻¹ de Ca; 1,1 a 2,1 g kg⁻¹ de Mg; 1,5 a 2,3 g kg⁻¹ de S; 15 a 27 mg kg⁻¹ de B; 1,7 a 7,4 mg kg⁻¹ de Cu; 63 a 128 mg kg⁻¹ de Fe; 193 a 547 mg kg⁻¹ de Mn; 17 a 42 mg kg⁻¹ de Zn. Para *Eucalyptus globulus*, a faixa adequada dos nutrientes foi de: 25 a 28 g kg⁻¹ de N; 1,3 a 2,7 g kg⁻¹ de P; 9 a 11 g kg⁻¹ de K; 3 a 13 g kg⁻¹ de Ca; 0,8 a 2,0 g kg⁻¹ de Mg; 1,3 a 2,0 g kg⁻¹ de S; 12 a 23 mg kg⁻¹ de B; 5 a 24 mg kg⁻¹ de Cu; 33 a 709 mg kg⁻¹ de Fe; 100 a 1995 mg kg⁻¹ de Mn; 15 a 50 mg kg⁻¹ de Zn. Para o *Eucalyptus urophylla* obteve-se: 11 a 30 g kg⁻¹ de N; 1,0 a 3,1 g kg⁻¹ de P; 8 a 14 g kg⁻¹ de K; 3 a 5 g kg⁻¹ de Ca; 1,9 a 6,4 g kg⁻¹ de Mg; 1,0 a 2,7 g kg⁻¹ de S; 16 a 52 mg kg⁻¹ de B; 1,8 a 19 mg kg⁻¹ de Cu; 33 a 54 mg kg⁻¹ de Fe; 130 a 658 mg kg⁻¹ de Mn; 16 a 47 mg kg⁻¹ de Zn. A faixa considerada deficiente para o boro conforme as espécies é de: 5 a 8 mg kg⁻¹ de B para *Eucalyptus grandis*, 4 a 10 mg kg⁻¹ de B para *Eucalyptus globulus* e 7 a 15 mg kg⁻¹ de B para *Eucalyptus urophylla*.

SILVEIRA *et al.* (1995a e 1995b), visando avaliar o estado nutricional, realizaram amostragens foliares em talhões de *Eucalyptus grandis* com idades de 1 a 5 anos em 1^a e 2^a rotação, na região de Itatinga-SP. Verificaram que todos os talhões amostrados apresentaram deficiência severa de K, B e Zn, sendo que as concentrações de boro variaram de 6 a 12 mg kg⁻¹ e 9 a 17 mg kg⁻¹ na parte superior e inferior da copa, respectivamente.

SILVEIRA *et al.* (1996a), estudando os sintomas de deficiências de macronutrientes e boro em clone híbrido de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* cultivado em solução nutritiva, descreveram que os sintomas de deficiência de boro foram: folhas novas com intensa clorose marginal seguida de secamento das margens. As nervuras dessas folhas apresentavam-se extremamente salientes com posterior necrose, dando um aspecto de “costelamento”. Relataram ainda, que as folhas apresentavam-se encarquilhadas e espessas, com perda de dominância causada pela morte de gema apical, sendo que no estágio mais avançado, ocorreu uma severa seca de ponteiro e morte descendentes de ramos, precedido do super brotamento das gemas laterais ao longo do caule. Os autores também relataram que a deficiência de boro e a de nitrogênio foram as que mais reduziram o crescimento das plantas. Na omissão de boro, observaram concentrações de 15 mg kg⁻¹ de B nas folhas novas com sintoma, 22 mg kg⁻¹ de B na 5^a e 6^a folhas da parte superior da copa e 43 mg kg⁻¹ de B na parte inferior, enquanto que na presença de boro verificaram 39 mg kg⁻¹ de B nas folhas novas, 38 mg kg⁻¹ de B na 5^a e 6^a folhas da parte superior da copa e 41 mg kg⁻¹ de B na parte inferior.

2.2. Respostas de *Eucalyptus* spp à aplicação de boro

Os estudos tem demonstrado que a aplicação de boro reduz consideravelmente a ocorrência de seca de ponteiro em *Eucalyptus* spp. TOKESHI *et al.* (1976) estudaram a influência da aplicação de boro em um povoamento de *Eucalyptus citriodora* de 12 meses de idade com sintomas generalizados de deficiência de boro. As doses utilizadas foram : 0, 6,0, 12,0 e 18,0 g planta⁻¹ de B. Os resultados mostraram um efeito benéfico da aplicação, reduzindo o número de plantas com sintomas de deficiência de 67,5 % na dose 0 g planta⁻¹ a 2,45 % e 2,85 % nas doses de 12 e 18 g planta⁻¹, respectivamente . Resultados semelhantes foram obtidos por COOLING & JONES (1970) quando estudaram a aplicação de tetraborato de sódio e fertilizante NPK em *Eucalyptus grandis* em Zâmbia. Nas parcelas que receberam boro, verificou-se um maior desenvolvimento das plantas, redução de morte dos ponteiros e uma indução de florescimento. Os autores concluíram que a dose de 8 g planta⁻¹ de B na forma de tetraborato de sódio foram suficientes para suprir as exigências nutricionais do *Eucalyptus grandis* em relação ao boro.

STAPE (1992), estudando a fertilização de *Eucalyptus grandis* em uma areia quartzosa de baixa fertilidade (94 % areia), numa região de déficit hídrico intenso, São Simão-SP. Observou-se ganhos de volume de madeira de 118 e 81 % e a ausência da seca de ponteiro através da aplicação de NPK mais micronutrientes na forma de óxidos silicatados (FTE BR9), quando comparado com a testemunha e a adubação tradicional do *Eucalyptus*, com aplicação somente de NPK.

Estudando a influência do boro no crescimento e na composição química das plantas, MALAVOLTA *et al.* (1978) cultivaram mudas de *Eucalyptus citriodora*, *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus urophylla* em solução nutritiva contendo, níveis crescentes de boro (0; 0,01; 0,5 e 10 mg L⁻¹ de B). Os sintomas de carência de boro evidenciaram-se primeiramente em *Eucalyptus citriodora*, seguindo-se em *Eucalyptus grandis* e finalmente em *Eucalyptus urophylla*. Em relação à toxidez de B, a sensibilidade das espécies foi inversa da deficiência, porém afetou pouco o crescimento das plantas até a idade de 4 meses. Observaram ainda, que os sintomas de toxidez ocorreram quando as plantas apresentavam concentrações foliares de 361 mg kg⁻¹ de B no material seco.

Resultados semelhantes foram obtidos por NOVELINO *et al.* (1982) ao estudarem a exigência de boro por quatro espécies de *Eucalyptus* (*Eucalyptus camaldulensis*, *Eucalyptus citriodora*, *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus paniculata*) em condições de solução nutritiva com diferentes níveis de boro (0; 0,02; 0,1; 0,5; 2,5 mg L⁻¹). Os autores observaram respostas diferenciadas em relação às espécies. A produção máxima de material seco de *Eucalyptus camaldulensis* ocorreu no nível de 0,02 mg L⁻¹ de B. Já para *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus citriodora*, quando eles foram cultivados em 0,1 mg L⁻¹ de B e para *Eucalyptus paniculata*, em torno de 0,5 mg L⁻¹ de B. O *Eucalyptus grandis* foi a espécie que apresentou a faixa mais estreita entre a produção máxima e a fitotoxicidade, ocorrendo perdas de produção para os níveis acima de 0,1 mg L⁻¹ de B. As outras espécies mostraram-se tolerante aos níveis mais elevados desse

micronutriente, havendo pequenas reduções no crescimento entre a dose ótima e o nível mais elevado (2,5 mg L⁻¹ de B).

ROCHA FILHO *et al.* (1979), estudando o efeito de níveis de boro (0; 0,125; 0,25; 0,5; 1,0; 2,0 e 4,0 mg L⁻¹) em solução nutritiva sobre o desenvolvimento de mudas de *Eucalyptus grandis*, verificaram que houve efeito da ausência e das doses de boro sobre a produção de material seco. As maiores produções foram obtidas nas plantas cultivadas nos níveis 0,125, 0,25 e 0,5 mg L⁻¹ de B. Nas concentrações de 1,0, 2,0 e 4,0 mg L⁻¹, entretanto, ocorreu um efeito depressivo no crescimento das plantas de igual intensidade ao do tratamento em que se omitiu o boro. Os autores observaram que a concentração adequada de boro varia conforme o tipo de folha. Para as folhas novas foi de 68,5 mg kg⁻¹ e para as folhas velhas de 85,7 mg kg⁻¹ no material seco. Concentrações foliares acima de 100 mg kg⁻¹ indicaram fitotoxicidade e inferiores a 61 mg kg⁻¹, o nível crítico. Os sintomas de deficiência corresponderam às concentrações de boro em torno de 46 mg kg⁻¹. As concentrações de boro nas folhas novas e velhas em função das doses utilizadas foram respectivamente de: 0,0 mg L⁻¹ = 12 e 10 mg kg⁻¹; 0,125 mg L⁻¹ = 46 e 55 mg kg⁻¹; 0,25 mg L⁻¹ = 55 e 65 mg kg⁻¹; 0,50 mg L⁻¹ = 69 e 73 mg kg⁻¹; 1,0 mg L⁻¹ = 104 e 124 mg kg⁻¹; 2,0 mg L⁻¹ = 152 e 239 mg kg⁻¹; 4,0 mg L⁻¹ = 314 e 374 mg kg⁻¹.

CANNON (1981) observou ganhos em produtividade volumétrica de *Eucalyptus grandis* aos 4 anos de idade, através da adubação NPK + B quando

comparada à NPK sem boro. Verificou ainda a ocorrência de seca de ponteiro nas parcelas onde não houve a aplicação de boro.

Resultados semelhantes foram obtidos por BARROS *et al.* (1992) no cerrado de Minas Gerais, onde *Eucalyptus citriodora* e *Eucalyptus camaldulensis* foram mais sensíveis à deficiência de boro, em sítios afetados por déficit hídrico. Nesse caso, a aplicação de 1 a 1,5 g planta⁻¹ de B reduziu a ocorrência de seca de ponteiro e promoveu ganhos em volume de até 32 % em relação à aplicação de NPK com omissão de boro.

COUTINHO *et al.* (1995) instalaram vários experimentos em diferentes regiões de Portugal, para avaliar o efeito de doses de boro (0, 3, 6 e 12 g planta⁻¹) sobre o crescimento de *Eucalyptus globulus* e constataram que a melhor resposta ocorreu com a aplicação de 3 g planta⁻¹, não havendo diferenças significativas entre essa dose e a de 6 e 12 g planta⁻¹. Os autores determinaram ainda que o nível crítico de boro nas folhas foi de 20 mg kg⁻¹ de B no material seco.

CHRISTO & SANTOS (1990) ao avaliarem o efeito de doses de boro (0; 0,05 e 0,10 mg dm⁻³) e gesso (0; 1 e 2 t ha⁻¹) sobre a produção de mudas de *Eucalyptus citriodora* em Podzólico Vermelho Amarelo arenoso e verificaram que a aplicação de 0,1 mg dm⁻³ reduziu a altura e a produção de material seco das plantas, indicando um efeito fitotóxico, enquanto que as maiores produções foram obtidas com a aplicação de 0,075 mg dm⁻³. A maior produção de material seco ocorreu quando as plantas apresentavam concentração foliar de 42 mg kg⁻¹ de B no material seco.

FERREIRA (1992) estudou o efeito de doses de boro (0; 0,25; 0,75; 2,25 e 6,25 mg dm⁻³) em dois solos com texturas diferentes, submetidos a dois níveis de umidade (-0,33 e -0,10 atm), sobre o crescimento de *Eucalyptus citriodora*. Os resultados mostraram que no Latossolo Vermelho Escuro-textura argilosa, a produção de material seco e a altura das plantas não sofreram influência da umidade, no entanto, no Latossolo Vermelho Amarelo-textura média submetido a - 0,33 atm, observou-se redução de ambos os parâmetros. Independente do solo e da umidade, as doses de boro promoveram um aumento na produção de material seco da parte aérea de forma quadrática, até 2,21 mg dm⁻³ de solo. A faixa crítica estimada de B disponível, para 90 a 95 % da produção máxima, foi de 0,15 a 0,26 mg dm⁻³ para o Latossolo Vermelho Escuro e 0,08 a 0,22 mg dm⁻³ para o Latossolo Vermelho Amarelo. Na planta, a faixa crítica para a mesma produção foram de 16-27 mg kg⁻¹ de B nas folhas novas, 19-29 mg kg⁻¹ nas folhas medianas e 21-35 mg kg⁻¹ nas folhas velhas.

FONSECA *et al.* (1993) avaliaram o efeito de boro e zinco em *Eucalyptus camaldulensis* em um Latossolo Vermelho Amarelo, textura média, na região de Brasilândia-MG. Três doses de bórax foram testadas combinadas com três doses de sulfato de zinco nas dosagens de 0, 10 e 20 g cova⁻¹. Aos 30 meses de idade, os autores verificaram um ganho de volume de 25 e 32 % em relação à testemunha, mediante a aplicação de 10 e 20 g planta⁻¹ de bórax (1 e 2 g planta⁻¹ de B). A aplicação de zinco teve um efeito depressivo no crescimento do *Eucalyptus camaldulensis*, sendo

que na presença de boro esse efeito foi reduzido em maior ou menor proporção em função da combinação das doses.

2.3. Ocorrência de cancos em árvores e fatores de predisposição

O cancro é uma doença caracterizada pela morte de tecidos da casca, câmbio e lenho, decorrentes da ação de patógenos primários ou secundários e agentes abióticos. A presença de estresse hídrico e o desfolhamento tem sido os fatores de predisposição mais associados com a ocorrência dessa doença (CRIST & SCHOENEWEISS, 1975; SCHOENEWEISS, 1975; SCHOENEWEISS, 1978; PINON, 1986; OLD *et al.*, 1990; MULLEN *et al.*, 1991). Os patógenos causadores de cancro em espécies florestais mais comuns são: *Cryphonectria cubensis*, *Botryosphaeria ribis*, *Botryosphaeria spp*, *Cytospora gyrosa*, *Phomopsis*, *Endothia gyrosa*, *Endothia havanensis* e espécies de *Nectria* (LANIER, 1986; PINON, 1986; SHARMA, 1986). Dentre os citados, *Cryphonectria cubensis* é o mais agressivo para o *Eucalyptus spp* nas condições tropicais (KRUGNER, 1980; ALFENAS & FERREIRA, 1982; HODGES, *et al.*, 1976; FERREIRA, 1989). As espécies do gênero *Botryosphaeria*, no entanto, embora menos agressivas tem sido associadas a lesões necróticas no caule, com exsudação de goma, seca de ponteiro, declínios, podridão de colo, morte descendente de ramos e de árvores, especialmente em condições de estresse hídrico e nutricional (AUER & KRUGNER, 1989).

AUER (1991) estudou a incidência de cancos causados por *Cytospora* e *Cryphonectria cubensis* em *Eucalyptus grandis* em diferentes sítios: Altinópolis/SP, com predominância de Areia Quartzosa Álica e Mogi-Guaçu/SP, com predominância de Latossolo Vermelho Amarelo e Podzólico Vermelho Amarelo. Concluiu que os sítios de Altinópolis, com qualidade inferior, expressa pelo menor crescimento em altura das árvores, pela presença de seca de ponteiros e pela maior incidência de árvores mortas e falhas, apresentaram uma maior incidência de cancos em *Eucalyptus grandis*. O autor ainda demonstrou a existência de uma relação negativa entre o teor de argila mais silte do solo e a resposta à incidência de cancro em *Eucalyptus grandis*.

AUER (1991) descreve ainda, um esquema relacionando com a associação de *Valsa* a *Eucalyptus grandis*, conforme mostra a Figura 1.

Figura 1. Esquema da associação de *Cytospora* / *Valsa* a *Eucalyptus grandis*.

2.4. Associação de fungos do gênero *Botryosphaeria* com espécies de *Eucalyptus* e fatores de predisposição

As doenças em que os fungos do gênero *Botryosphaeria* estão associados são geralmente de etiologia complexa, sendo desencadeadas por estresse ambiental envolvendo um ou mais fatores ambientais que debilitam as árvores, tornando-as suscetíveis à ação de organismos denominados secundários. Um exemplo desse tipo de doença é a Seca do Eucalipto do Vale do Rio Doce (SPEVRD), caracterizada por : a) lesões nas extremidades da haste principal, nos pontos de inserções de seus ramos e galhos; b) nos estágios mais avançados, as lesões podem anelar o órgão, causando a morte e ou o secamento da porção distal, a partir do local anelado. Caso não ocorra o anelamento, nota-se a formação de cancrios. Os isolamentos de patógenos a partir de lesões novas, em mais de uma ocasião por ano, revelou os seguintes fungos: 30 % de *Botryosphaeria ribis*, 10 % de *Pestalotia sp*; 30 % de *Coniella fragariae* e 30 % de outros fungos saprófitas inconstantes. O autor não considerou esses fungos como agentes primários das lesões, uma vez que esse fungos são dependentes de ferimentos para atacar o hospedeiro. O autor revelou ainda que a etiologia do problema envolve as áreas de fisiologia vegetal, solos e fitopatologia (FERREIRA, 1989).

As espécies de *Eucalyptus* apresentam respostas diferenciadas quanto à agressividade de fungos do gênero *Botryosphaeria*, com número pequeno de espécies e procedências altamente suscetíveis: SHEARER *et al.* (1987) observaram que a morte de árvores de *Eucalyptus radiata* estava associada a uma descoloração marrom-

escura do floema e marrom-clara do xilema. A descoloração do xilema e a intensiva exsudação de goma freqüentemente formava-se antes da necrose do floema. Ao examinarem os tecidos necrosados, *Botryosphaeria ribis* foi isolado de 59 % das árvores e *Cytospora eucalypticola* de 54 %. Em seguida, realizaram testes de patogenicidade de ambos os fungos em 4 espécies de *Eucalyptus*, verificando que em *Eucalyptus radiata* as lesões se estenderam até o floema. Para *Eucalyptus calophylla* e *Eucalyptus cladocalyx*, o crescimento do fungo foi limitado através de calos de cicatrização formados nas margens da lesão. Em relação ao *Eucalyptus marginata*, notou-se que *Botryosphaeria ribis* estabeleceu-se no floema, mas o seu crescimento foi inibido pela formação da periderme necrofilática.

O estresse hídrico e o desfolhamento das plantas são dois dos fatores que podem predispor as árvores à infecção causada por fungos do gênero *Botryosphaeria*. OLD *et al.* (1990) estudaram o efeito de déficit hídrico e desfolhamento sobre a suscetibilidade de *Eucalyptus* ao cancro causado por *Endothia gyrosa* e *Botryosphaeria ribis*. Verificaram que *Eucalyptus regans* e *Eucalyptus delegatensis* foram mais suscetíveis aos fungos quando comparados com *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna*. Notaram também que as árvores desfolhadas manualmente ou atacadas por insetos apresentaram um maior desenvolvimento de cancro, enquanto que mudas sujeitas ao déficit hídrico não tornaram-se predispostas à formação do cancro. Portanto, sugeriram que a associação de *Endothia gyrosa* com árvores de *Eucalyptus* sofrendo “dieback” e desfolhamento crônico, possa contribuir para a doença no sudeste

da Austrália. Outro experimento foi conduzido, relacionando a agressividade de *Botryosphaeria dothidea* em mudas de *Betula alba* submetidas as condições de estresse hídrico, estresse por frio e desfolhamento. A suscetibilidade à ocorrência de cancro e a colonização de tecidos do lenho e da casca pelo patógeno aumentou com o decréscimo do potencial de água a partir de - 12 bar. Verificaram, no entanto, que a suscetibilidade à doença, induzida pelo estresse hídrico, foi reversível, mediante a volta de rega. A colonização do lenho pelo patógeno aumentou proporcionalmente com o decréscimo da temperatura a partir de -10⁰ C e com a exposição ao desfolhamento das plantas (CRIST & SCHOENEWEIS, 1975).

Os fungos *Cytospora eucalypticola*, *Discosporium eucalypti*, *Endothia havanensis* e *Botryosphaeria ribis* foram associados com cancrios em brotos, ramos e na parte superior do tronco de *Eucalyptus marginata*. Os fungos apresentaram diferentes agressividades quando inoculados, sendo que *Botryosphaeria ribis* e *Endothia havanensis* causaram lesões no floema, enquanto que *Cytospora eucalypticola* e *Discosporium eucalypti* persistiram no floema sem causar lesão. Os autores comentam ainda, que as amostragens de tecidos lesionados em outras espécies nativas de *Eucalyptus*, no oeste da Austrália, mostraram que *Cytospora eucalypticola*, *Endothia havanensis* e *Botryosphaeria ribis* tem uma extensa faixa de hospedeiro. (DAVISON & TAY, 1983).

2.5. Taxonomia de *Botryosphaeria ribis*

Botryosphaeria ribis apresenta ascomas estromáticos, negros, esparso, solitário ou botriídes. Os ascos são clavados, bitunicados, contendo 8 ascósporos ovóides, hialinos, unicelulares e com dimensões de 17-23 x 7-10 μm . A fase anamórfica é caracterizada pela formação de picnídios estromáticos, solitários ou botriídes, globosos e ostiolados. Os macroconídios são fusóides, hialinos, medindo 17-25 x 5-7 μm . Produz também microconídios hialinos, alantóides com dimensões de 2-3 x 1 μm . (PUNITHALINGAM & HOLLIDAY, 1973). De acordo com a literatura, *Botryosphaeria ribis* é um sinônimo de *Botryosphaeria dothidea* e *Botryosphaeria berengeriana*.

O fungo *Botryosphaeria ribis* tem sido associado a cancos, gomoses, lesões necróticas nos ramos, seca de ponteiro e declínios em vários gêneros de plantas. Os principais são: *Araucaria*, *Citrus*, *Cupressus*, *Eucalyptus*, *Grevillea*, *Liquidambar*, *Liriodendron*, *Pinus*, *Prunus*, *Pyrus*, *Quercus*, *Rosa*, *Solanum*. (PUNITHALINGAM & HOLLIDAY, 1973).

2.6. Influência do estado nutricional da planta na susceptibilidade ao ataque de patógenos.

MARSCHNER (1986) relatou que plantas equilibradas nutricionalmente apresentam maior resistência ao ataque de fungos e pragas, como resultado de barreiras bioquímicas ou morfológicas. As barreiras bioquímicas seriam a

produção de compostos fenólicos que atuam como inibidores de patógenos e o acúmulo de compostos de baixo peso molecular como os aminoácidos e os açúcares solúveis que em concentrações satisfatórias são utilizados para a nutrição dos patógenos. As barreiras morfológicas são a espessura da cutícula e da parede celular, formação de tecidos esclerenquimatosos, lignificação, silificação e suberização, controle da permeabilidade da membrana citoplasmática, que evita a saída de compostos solúveis utilizados na nutrição dos patógenos, para o apoplasto ou espaço intercelular.

Ebert¹, citado por SEITZ (1996), relata que no processo de defesa de árvores a injúria ou a infecção por fungos, ocorre alterações químicas no interior das células, sendo novas células formadas para recompor parcialmente a estrutura afetada. Esses processo é denominado de compartimentalização ou cicatrização das lesões e pode ser dividido em 4 fases.:

a) Reação 1 - as células próximas de uma lesão alteram seu metabolismo, passando a produzir taninos, para dificultar a colonização dos tecidos pelo patógeno. Inicialmente são produzidos polifenóis hidrosolúveis, os quais reagem com os aminoácidos, alcalóides e íons metálicos, formando compostos de baixa solubilidade, que recobrem as paredes celulares, alterando a cor do lenho. Essa reação com as proteínas é mortal tanto para as próprias células da árvore quanto para as do patógeno.

b) Reação 2 - em árvores de coníferas, os traqueídeos são bloqueados com resinas. Em árvores folhosas, látex ou gomas são produzidas. Em casos

¹ EBERT, H.P. Wertastung aus botanisher sicht. Allgemeine Forst Zeitschrift, 44-45: 1174-1177, 1989.

especiais, células parenquimáticas podem crescer para dentro dos vasos através de pontuações, formando tilos que obstruem os vasos.

c) Reação 3 - nesta fase, ocorre um aumento da atividade metabólica das células adjacentes à lesão, sendo essas enriquecidas com açúcares. O câmbio passa a produzir mais células parenquimáticas. O metabolismo dessas células altera-se para a síntese de substâncias antibióticas. As substâncias antibióticas mais produzidas para conter os avanços dos fungos são os polifenóis denominados flavanóides. Essas substâncias, embora tóxicas para a árvore, impedem o crescimento os fungos. Dessa maneira, a árvore vai produzindo células e sacrificando as com toxinas, para conter o avanço do micélio.

d) Reação 4 - nessa fase, as células do câmbio e do parênquima floemático se multiplicam numa grande velocidade, para recobrir a lesão. Essas células são ricas em suberinas, protegendo eficientemente o avanço dos fungos, desenvolvendo-se inclusive sobre as células contaminadas. O fechamento da lesão, embora processe-se em todos os lados, é mais ativo nas laterais da lesão, sendo menos intenso na parte inferior e superior.

EDGINGTON & WALKER (1958), trabalhando com tomate, verificaram que o efeito do boro sobre a murcha causada por *Fusarium oxysporum* foi dependente do fornecimento de Ca, sendo que com 100 mg L⁻¹ de Ca a doença decrescia com o aumento da dose de boro, mas com 500 mg L⁻¹ de Ca o índice de doença aumentava com maiores fornecimento de boro.

HUBER (1980) descreveu as interações entre os elementos minerais e a severidade de algumas doenças de plantas. Nota-se que o boro e potássio são os nutrientes que mais decrescem a severidade da doença (Tabela 1).

MALAVOLTA *et al.* (1989) também citam algumas deficiências que aumentam a incidência ou o dano causado por pragas e moléstias, conforme observa-se na Tabela 2. Nota-se também que a carência de boro e potássio são as que mais estão relacionadas com a ocorrência de doenças e pragas em plantas.

Tabela 1. Interações entre nutrientes minerais e doenças de plantas causadas por fungos (HUBER, 1980)

Patógeno	Hospedeiro	Nutrientes												
		N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn	Na	
<i>Alternaria solani</i>	Batata e Tomate	+ -	D	D	+ -	D								
<i>Aphanomyces cochlioides</i>	Beterraba e Ervilha				D			D	D					
<i>Botrytis cinerea</i>	Tomate e Feijão		D	D				A						
<i>Cercospora oryzae</i>	Arroz	A		D										
<i>Curvularia ramosa</i>	Cereais e gramíneas									D	D			
<i>Erysiphe graminis</i>	Cereais		+ -	D				D			D			
<i>Fusarium oxysporum</i>	Tomate, Algodão e Crisântemo		+ -	+ -	+ -	D		D		A	D		A	

Continuação da Tabela 1.

Patógeno	Hospedeiro	Nutrientes											
		N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn	Na
<i>Fusarium udum</i>	Ervilha							D			D	D	
<i>Helminthosporium</i> <i>sacchari</i>	Cana de açúcar	A	D	D									
<i>Helminthosporium</i> <i>sigmoidum</i>	Arroz	A		D							D		
<i>Melampsora lini</i>	linho	A	+-	D				D					
<i>Phymatotrichum</i> <i>omnivorum</i>	Algodão		A	D	A	A							D
<i>Phytophthora infestans</i>	Batata	+-	+-	D					D		D	D	
<i>Plasmodiophora brassicae</i>	Crucíferas e Repolho	+-	A	A	D	D	D	D					

Continuação da Tabela 1.

Patógeno	Hospedeiro	Nutrientes												
		N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn	Na	
<i>Puccinia graminis</i>	Trigo e Cereais		A	D	+ -	A	A	D		+ -			D	
<i>Puccinia recondita</i>	Trigo	A		D	D			D	A			A	D	
<i>Puccinia striiformis</i>	Trigo e Cereais	A		D	+ -	A	A	D		A				
<i>Rhizoctonia solani</i>	Cereais		D	A	D	D	D				D		D	
<i>Sphacelotheca sorghi</i>	Sorgo		D	D					D			D		
<i>Streptomyces scabies</i>	Batata		D	A	A		D						D	
<i>Urocystis oculta</i>	Centeio	A	D	D	A	A								

D, presença do nutriente decresce a severidade da doença; A, presença do nutriente aumenta a severidade da doença; + -, a severidade da doença depende da interação hospedeiro e condições ambientais.

Tabela 2. Relação entre deficiências nutricionais e incidências de doenças e pragas (MALAVOLTA *et al.*, 1989).

Nutriente	Planta	Agente Causal
Boro	Cevada	<i>Erysiphe graminis</i>
	Trigo	<i>Puccinia triticina</i>
		<i>Puccinia glumarum</i>
		<i>Erysiphe cichoracearum</i>
	Beterraba	<i>Phoma betae</i>
	Couve-flor	<i>Botrytis sp</i>
Cálcio	Lúpulo	<i>Pseudoperonospora lupuli</i>
Cobre	Trigo	<i>Puccinia triticina</i>
Magnésio	Amendoim	<i>Mycosphaella arachidicola</i>
Manganês	Aveia	Infecções bacterianas
Molibdênio	Alfafa	Infecções generalizadas
Potássio	Arroz	<i>Ophiobolus</i>
		<i>Helminthosporium</i>
		<i>Xanthomonas</i>
		<i>Sphaerulina</i>
		<i>Corticium</i>
		<i>Sclerotium</i>
		<i>Piricularia</i>
	Cana de açúcar	<i>Helminthosporium sacchari</i>
Fósforo	Soja	Nematóides
	Cafeeiro	<i>Colletotrichum coffeanum</i>
		<i>Oidium heveae</i>
		<i>Phytophthora sp</i>
Zinco	Seringueira	

HUDSON *et al.* (1988) descreveram os sintomas de “dieback” em *Pinus patula* em diferentes sítios no Nepal. A causa da doença foi atribuída à deficiência de boro associada à infecção por *Phomopsis occulta* e *Potrebniamyces coniferarum*, mas as evidências não foram suficientes para considerar a causa da doença como primária. Sugerem, portanto, a substituição das florestas de *Pinus patula* por *Pinus wallichiana* e *Pinus maximoi* [*P. maximinoi*], os quais são resistente a essa doença

KUMAR & KOTUR (1991) verificaram o efeito do boro na suscetibilidade de couve-flor à doença raiz preta, causada por *Xanthomonas campestris* pv. *campestris*. A suscetibilidade foi maior nas plantas que cresceram em níveis deficiente de boro ($<0,4 \text{ mg kg}^{-1}$ de solo) e no excesso de B ($>1,6 \text{ mg kg}^{-1}$ de solo), quando comparada com as plantas cultivadas sob doses adequadas de boro ($0,4 - 1,6 \text{ mg kg}^{-1}$ de solo). As altas correlações entre a absorção de boro, teores nas folhas, boro residual no solo, relações boro/cálcio nas folhas e a incidência da doença, mostraram que o desequilíbrio de boro aumenta a suscetibilidade do hospedeiro.

As respostas sobre a aplicação de boro para o controle do fungo *Streptomyces scabies* em batata (*Solanum tuberosum*) tem sido inconstantes e pouco conclusivas. Num ensaio, a presença de boro reduziu a doença, enquanto que em outros dois estudos a aplicação de bórax no solo não teve qualquer efeito sobre o *Streptomyces scabies* (KEINATH & LORIA, 1989).

Com a finalidade de verificar o efeito do boro na suscetibilidade de *Eucalyptus citriodora* a *Botryosphaeria ribis* e *Lasiodiplodia theobromae*,

SILVEIRA *et al.* (1996b) realizaram um experimento com 4 níveis de boro em solução nutritiva (0; 0,24; 0,48 e 0,96 mg L⁻¹), sendo ambos os fungos inoculados através de discos de ágar com micélio, na região mediana do tronco. Os fungos foram menos agressivos em plantas com concentrações de boro nas folhas superiores, na faixa de 30 a 35 mg kg⁻¹ do material seco. Ocorreu uma relação inversa entre a produção de matéria seca e o comprimento das lesões, sendo que as plantas deficientes foram menos vigorosas e mais suscetíveis aos fungos. *Botryosphaeria ribis* foi mais agressivo que *Lasiodiplodia theobromae* (SILVEIRA *et al.*, 1995).

BERTRAND *et al.* (1976) observaram que o alto teor de argila e o baixo teor de potássio no solo favoreceram a ocorrência de cancos de *Cytospora* em *Prunus*. Vários outros trabalhos tem mostrado o efeito desse macronutriente sobre a ocorrência de doenças em plantas. YLIMARTINO & HAANUM (1993) ao simularem desbalanços nutricionais que ocorrem no *Pinus silvestris* sobre o crescimento de *Gremmeniella abietina* (causador de cancro) *in vitro*, verificaram que aumentos na concentração de potássio e cálcio resultaram num menor crescimento micelial do patógeno, enquanto que o inverso foi observado em relação ao nitrogênio. Portanto, os autores sugerem que o desequilíbrio nutricional pode aumentar a colonização do hospedeiro por *Gremmeniella abietina*. O efeito do potássio sobre o ataque de patógenos tem sido bastante verificado na literatura, devendo ser destacado os trabalhos de: ITO *et al.* (1993) ao estudar a queima foliar da soja (*Glycine max* L.(Merrill)) causada por *Cercospora kikuchii*, observaram que a adubação potássica elevou a produtividade, bem

como as concentrações do nutriente nas folhas, conjuntamente ocorreu o decréscimo da incidência da doença.

Resultados semelhantes foram obtidos por ITO *et al.* (1994) também em soja (*Glycine max* L.(Merrill)), ao estudarem o efeito residual da adubação potássica e da calagem sobre a incidência de *Phomopsis spp* em sementes de soja. Verificaram que na ausência da adubação potássica ocorreu maior incidência do fungo, enquanto menor incidência foi observada com aplicação de 300 a 450 kg ha⁻¹ de K₂O. Com relação às concentrações de potássio nas folhas, as menores incidências correspondiam a valores na faixa de 15,6 a 16,7 g kg⁻¹ de K no material seco.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Condicionamento do hospedeiro para obtenção de deficiência e excesso de boro

O experimento foi conduzido na casa de vegetação do Depto. de Ciência do Solo, ESALQ/USP.

Foram utilizadas mudas de *Eucalyptus citriodora* obtidas de sementes originárias de uma área de produção da procedência Ouriçangas-BA (ex. Zimbabwe, origem Queensland, Austrália). As mudas foram formadas em tubetes contendo substrato de vermiculita, terra de sub-solo e casca de arroz carbonizada. Aos 120 dias de idade, as mudas com a altura em torno de 20 cm, foram selecionadas e após as raízes terem sido lavadas com água destilada para eliminar os resíduos do substrato, foram transplantadas, colocando-se uma por vaso de alumínio, com capacidade de 10 litros, revestido internamente com sacos plásticos e contendo sílica moída. Passados 15 dias do transplante, fez-se o retransplante das mudas que não sobreviveram.

As plantas foram irrigadas diariamente com solução nutritiva completa (SARRUGE, 1975), renovada a cada quinze dias. Aos 13 meses de idade, quando as plantas atingirem uma altura média de 2 m e um diâmetro médio basal de aproximadamente 3 cm, o qual possibilitava a inoculação do fungo, foi realizada uma lavagem do substrato com água destilada para remover os nutrientes existentes. Em seguida, iniciou-se os tratamentos que consistiram de solução contendo todos os

nutrientes (N ,P ,K ,Ca ,Mg ,S ,Cl ,Cu ,Fe ,Mn ,Mo e Zn), com exceção do boro, que foi adicionado nos níveis de 0; 0,125; 0,25; 0,50 ;1,0 ;2,0 e 4,0 mg L⁻¹) conforme a Tabela 3.

Tabela 3. Composição química dos tratamentos utilizados (ml L⁻¹) no experimento.

SOLUÇÕES ESTOQUE	TRATAMENTOS (mg L ⁻¹ de B)							
		0	0,125	0,25	0,50	1,0	2,0	4,0
K ₂ H ₂ PO ₄	M	1	1	1	1	1	1	1
Ca(NO ₃) ₂	M	5	5	5	5	5	5	5
KNO ₃	M	5	5	5	5	5	5	5
MgSO ₄	M	2	2	2	2	2	2	2
Micronutrientes menos B*	-	1	1	1	1	1	1	1
0,735g H ₃ BO ₃ L ⁻¹	-	-	1	-	-	-	-	-
1,470g H ₃ BO ₃ L ⁻¹	-	-	-	1	-	-	-	-
2,94g H ₃ BO ₃ L ⁻¹	-	-	-	-	1	-	-	-
5,88g H ₃ BO ₃ L ⁻¹	-	-	-	-	-	1	-	-
11,76g H ₃ BO ₃ L ⁻¹	-	-	-	-	-	-	1	-
23,52g H ₃ BO ₃ L ⁻¹	-	-	-	-	-	-	-	1
Fe-EDTA**	-	1	1	1	1	1	1	1

* A solução de micronutrientes menos boro tem a seguinte composição (g L⁻¹): MnCl₂-1,81; ZnCl₂- 0,10; CuCl₂- 0,04; H₂MoO₄ H₂O- 0,02.

** Dissolver 26,1g de EDTA dissódico em 286 ml de NaOH, misturar 24,9 g de FeSO₄ 7H₂O. Arejar por uma noite e completar um litro.

3.2. Avaliação do desenvolvimento das plantas

As plantas de *Eucalyptus citriodora* tiveram suas alturas e diâmetros basais (a 10 cm de altura em relação a sílica) medidos no início e aos 6, 8, 10, 11 e 14 meses após o início dos tratamentos. Calculou-se o crescimento relativo em altura e em diâmetro basal das plantas, considerando a altura na entrada dos tratamentos e aos 14 meses, conforme fórmula a seguir:

$$H \text{ relativa} = H-14 \text{ meses} \times 100 / H-0 \text{ mês}$$

$$D \text{ relativo} = D-14 \text{ meses} \times 100 / D-0 \text{ mês}$$

Aos 11, 13 e 14 meses de cultivo em diferentes doses de boro, realizou-se a medição do diâmetro da região mediana da árvore (130 cm de altura em relação à sílica).

Aos 15 meses após o início dos tratamentos, as plantas foram coletadas e separadas em folhas superiores, folhas inferiores, ramos e caule, sendo cada parte colocada em sacos de papel e levadas para secagem em estufa até atingir peso constante. Em seguida determinou-se o peso do material seco de cada parte da planta e a produção de material seco total.

3.3. Inoculação e avaliação das lesões causadas por *Botryosphaeria ribis*

O isolado de *Botryosphaeria ribis* utilizado, foi obtido em área de *Eucalyptus citriodora* situada na região de São Manuel, sendo cultivado em placas de Petri com meio batata-dextrose-água (BDA) até a época da inoculação.

A inoculação de *Botryosphaeria ribis* foi realizada quando a manifestação visual dos sintomas de deficiência de boro era máxima, 12 meses após o início dos tratamentos, com as plantas apresentando seca de ponteiro, folhas novas cloróticas e deformadas. O fungo foi inoculado nas regiões basal, mediana e apical do caule. A inoculação foi feita através de perfuração no caule, com o auxílio de um vazador metálico de 4 mm de diâmetro, que permitiu a retirada da casca e a exposição do lenho. Em cada orifício aberto foi colocado um disco de BDA com micélio, de 3 mm de diâmetro, que ficou em contato com o lenho. Após a inoculação, esses pontos foram envolvidos com plásticos contendo algodão umedecido para proteger contra a dessecação, os quais foram mantidos até 15 dias após a inoculação.

A evolução das lesões foi fotografada e descrita desde o estágio inicial, em torno de 10 dias após a inoculação, até a cicatrização, 60 dias após a inoculação.

A avaliação da doença foi realizada 60 dias após a inoculação do fungo, através da cicatrização e da medição do comprimento (mm) das lesões (mm) no sentido longitudinal do caule, com base na metodologia aplicada por KRUGNER (1981). Tecidos de caule lesionados de árvores inoculadas foram coletados para reisolamento. Esses foram plaqueados em batata dextrose ágar (BDA) após desinfecção rápida em álcool (95%) e hipoclorito de sódio (2% de Cl ativo) por 30 segundos.

3.4. Observações, colheita e preparo de material vegetal para a análise química

Os sintomas de deficiência foram descritos e fotografados desde o estágio inicial, com 5 meses até 12 meses após o início dos tratamentos, época de inoculação de *Botryosphaeria ribis*.

Um mês antes da inoculação do fungo, foi realizada uma amostragem de folhas superiores e inferiores para determinar a concentração de boro nesses tecidos. Coletou-se 4 ramos por árvore, situados na parte mediana da copa, separando as folhas em superiores e inferiores (Figura 2). Em seguida, reuniu-se as amostras simples de cada árvore de um mesmo tratamento, para formar uma amostra composta que representava o tratamento. Os procedimentos de secagem, moagem e análise química foram os mesmos adotados no final do experimento.

As plantas foram coletadas e separadas em folhas superiores, folhas inferiores, tronco e ramos, no período de 70 a 80 dias após a inoculação (15 meses após o início dos tratamentos). As folhas superiores correspondiam à metade do número total de folhas localizadas nos ramos, a partir do ápice, enquanto que as inferiores, correspondiam aos outros 50 % que extendiam-se da região mediana até a base dos ramos (Figura 2). As partes colhidas da planta foram lavadas inicialmente em água de torneira e em seguida em água desmineralizada, deixando-se secar a temperatura ambiente. Posteriormente, o material vegetal foi acondicionado em saco de papel e colocado em estufa com circulação forçada de ar, temperatura entre 70-75°C, até atingir peso constante. Após a determinação do peso do material seco, procedeu-se a moagem

do material em moinho de aço inoxidável tipo Willey, com peneira de malha 20 (20 malhas por polegada linear) de acordo com as instruções de Bataglia *et al* (1978).

Figura 2. Distribuição das folhas em superiores e inferiores conforme posição no ramo.

3.5. Análise química

As determinações dos macro e micronutrientes contidos no material vegetal foram realizadas no laboratório de análise foliar do Departamento de Ciência do Solo da ESALQ/USP.

As amostras secas e moídas e secas foram submetidas às digestões nitro-perclórica e sulfúrica para a obtenção dos extratos, visando a determinação dos macro e micronutrientes, conforme metodologia descrita por SARRUGE & HAAG

(1974). A determinação de P foi realizada pelo método da colorimetria de molibdato-vanadato; K por fotometria de chama; Ca, Mg, Cu, Fe, Mn e Zn por espectrometria de absorção atômica; S por turbidimetria de suspensão de sulfato de bário; B por colorimetria de azometina. As determinações de nitrogênio foram realizadas através do método micro Kjeldahl.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Sintomas visuais de deficiência e excesso de boro

Aos 5 meses após o início dos tratamentos, as plantas cultivadas na ausência de boro mostravam os primeiros sintomas da deficiência, caracterizados por folhas mais novas de tamanho reduzido, deformadas, encarquilhadas e coriáceas, com uma leve clorose, geralmente marginal (Figura 3A e 3B). Num estágio mais avançado, em torno de 10 meses após o início dos tratamentos, ocorreu a morte das gemas apicais, seguida de seca descendente do ponteiro da planta, associada à emissão de brotação das gemas laterais ao longo do tronco, ou na base do lignotuber (Figura 3C), resultando em paralisação do crescimento em altura.

Os sintomas iniciais da deficiência de boro apresentados na figura 3A-C, foram observados em uma planta das 6 plantas do tratamento $0,12 \text{ mg L}^{-1}$ de B.

Os sintomas de deficiência de boro foram semelhantes àqueles descritos por VAIL *et al.* (1957), SAVORY (1962), TOKESHI *et al.* (1976), CARVALHO *et al.* (1980), DELL & MALAJACZUK (1994), DELL *et al.* (1995), SILVEIRA *et al.* (1996a), mostrando que a deficiência inicial, compreendida pelos sintomas foliares, pode sofrer pequenas variações de espécie para espécie, mas todas apresentam, no estágio mais avançado, a morte das gemas apicais seguida da seca de ponteiro (“dieback”), sintoma de fácil identificação nas condições de campo.

Vários autores verificaram que a aplicação de boro reduzia consideravelmente o número de árvores com morte (seca) de ponteiro. TOKESHI *et al.* (1976) verificaram que a aplicação de 12 g planta⁻¹ de B reduziu de 67,5 % para 2,45 % o número de árvores de *Eucalyptus citriodora* com esse sintoma. Resultados parecidos também foram obtidos por COOLING & JONES (1970) para *Eucalyptus grandis* com a aplicação de 8 g de tetraborato de sódio por planta e por STAPE (1992) ao aplicar óxidos silicatados contendo micronutrientes (FTE BR 9), em áreas de *Eucalyptus grandis* sob solo arenoso, em região de déficit hídrico.

Os sintomas de toxidez não ficaram bem evidentes neste estudo. Verificou-se em duas das 6 plantas cultivadas com 4,0 mg L⁻¹ de B, uma necrose nas margens das folhas velhas (Figura 3D). No entanto, a inconstância desse sintoma nas outras plantas do tratamento não permitiu um diagnóstico visual seguro em relação à toxidez de boro, conforme foi observado para a deficiência.

Figura 3. Sintomas de deficiência e excesso de boro em *Eucalyptus citriodora*. Folhas novas e recém maduras cloróticas, deformadas e coriáceas das plantas cultivadas na ausência de boro (A); quando comparadas com o tratamento completo (B); morte de ponteiro seguida de brotações das gemas laterais na base de inserção do ramo das plantas cultivadas na ausência de boro (C) e folhas velhas com necrose marginal de planta cultivada na dose de $4,0 \text{ mg L}^{-1}$ de B (D).

4.2. Desenvolvimento das plantas

4.2.1. Altura

As doses de boro influenciaram significativamente a altura a partir de 11 meses do início dos tratamentos (Apêndice-A 1-6) e no crescimento relativo em altura (Apêndice-A 7). Ocorreu resposta das plantas de *Eucalyptus citriodora* a aplicação de boro, sendo que a omissão de boro resultou em menor altura aos 11 e 14 meses de cultivo, quando comparada com as demais doses, as quais não mostraram diferenças significativas entre si (Figura 4). Nota-se que não houve efeito fitotóxico para a dose mais elevada de boro ($4,0 \text{ mg L}^{-1}$ de B), uma vez que esta não inibiu o crescimento em altura das plantas.

Em relação ao crescimento relativo em altura, observou-se resultados semelhantes, sendo que na ausência de boro, as plantas apresentaram menor crescimento, em torno de 116 %, quando comparado com as outras doses de boro, cujo crescimento relativo variou de 144,1 % na dose de $1,0 \text{ mg L}^{-1}$ até 155,1 % na de $0,5 \text{ mg L}^{-1}$ (Figura 5). A pequena variação no crescimento em altura entre a dose de $0,125 \text{ mg L}^{-1}$ e a de $4,0 \text{ mg L}^{-1}$ mostram que o *Eucalyptus citriodora* apresenta uma faixa ampla entre a deficiência e a toxidez, conforme foi observado por NOVELINO *et al.* (1982) e FERREIRA (1992). MALAVOLTA *et al.* (1978) também notou que o *Eucalyptus citriodora* foi a espécie mais tolerante à aplicação de boro, quando comparada a *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus urophylla*. No entanto, os resultados obtidos com

Eucalyptus citriodora no presente trabalho discordam dos obtidos por CHRISTO & SANTOS (1990) que constataram um efeito fitotóxico para *Eucalyptus citriodora* através da redução em altura, mediante a aplicação de $0,10 \text{ mg kg}^{-1}$ de B em um podzólico arenoso.

Figura 4. Altura de plantas de *Eucalyptus citriodora* aos 11 e 14 meses de cultivo em doses de boro na solução nutritiva (colunas com a mesma letra dentro da mesma época, não diferem entre si, pelo teste Tukey ao nível de 5 % de probabilidade).

O efeito da idade sobre o crescimento em altura das plantas cultivadas na ausência de boro foi quadrático, mostrando um aumento crescente da altura na fase compreendida entre 0 e 4 meses após a omissão de boro. Em seguida, verificou-se pequenos incrementos na altura até a idade de 9,5 meses, a partir da qual ocorreu uma

paralisação total do crescimento em altura (Figura 6). Como visto anteriormente, esses resultados estão de acordo com a visualização dos sintomas, onde os primeiros sintomas visuais de deficiência foram observados em torno de 5 meses de cultivo na ausência de boro, período em que a altura das plantas começou a se estabilizar. No estágio mais avançado da manifestação visual do sintomas, aos 10 meses, onde as plantas apresentavam seca de ponteiro, observa-se através da Figura 6, que houve uma paralisação do crescimento em altura. Para as demais doses, verificaram-se respostas lineares da altura em função da idade. A dose de $4,0 \text{ mg L}^{-1}$ não foi suficiente para caracterizar a toxidez de boro, uma vez que não se verificou queda de produção em relação às outras doses.

Figura 5. Altura relativa das plantas de *Eucalyptus citriodora* cultivadas em doses de boro na solução nutritiva (colunas com a mesma letra não diferem entre si, pelo teste Tukey, ao nível de 5 % de probabilidade).

Figura 6. Altura de *Eucalyptus citriodora* em função da idade nas diferentes doses de boro na solução nutritiva.

4.2.2. Diâmetro

As análises de variância mostraram que as doses de boro utilizadas influenciaram significativamente o diâmetro basal a partir dos 6 meses de cultivo das plantas (primeira medição) sob diferentes doses de boro (Apêndice- A 8-13). Em conformidade com a altura, as plantas cultivadas na ausência de boro apresentaram um diâmetro menor em relação às cultivadas nas outras doses (Figura 7). Em relação ao diâmetro da região mediana do caule, também verificou-se aos 13 e 14 meses, que a omissão de boro inibiu o crescimento, contrário ao observado nas demais doses de boro (Figura 8). O crescimento relativo do diâmetro, na ausência de boro, foi de 159,9 %, menor que o das outras doses, o qual variou de 185,7 % na dose de 1,0 mg L⁻¹ a 205,9 % na de 0,125 mg L⁻¹ (Figura 9).

Figura 7. Diâmetro basal de plantas de *Eucalyptus citriodora* aos 6, 8, 10, 11 e 14 meses de cultivo em doses de boro na solução nutritiva (colunas com mesma letra, dentro da mesma idade, não diferem entre si pelo teste Tukey ao nível de 5 % de probabilidade).

Figura 8. Diâmetro da região mediana de plantas de *Eucalyptus citriodora* aos 11, 13 e 14 meses de cultivo em doses de boro na solução nutritiva (colunas com mesma letra, dentro da mesma idade, não diferem entre si pelo teste Tukey ao nível de 5 % de probabilidade)

Figura 9. Diâmetro relativo de plantas de *Eucalyptus citriodora* cultivadas em doses de boro na solução nutritiva (colunas com mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey, ao nível de 5 % de probabilidade).

Na ausência de boro, a resposta em crescimento do diâmetro basal em função da idade foi quadrática, mostrando um aumento de diâmetro até 12,6 meses, ocorrendo a partir dessa idade uma paralisação do crescimento (Figura 10). Para as outras doses, verificaram-se respostas lineares do diâmetro em função do período de cultivo. Conforme foi observado para a altura, a maior dose de boro também não inibiu o crescimento em diâmetro, mostrando que 4,0 mg L⁻¹ de B não foi fitotóxica para o desenvolvimento do *Eucalyptus citriodora*.

Figura 10. Diâmetro basal de plantas de *Eucalyptus citriodora* em função da idade nas diferentes doses de boro na solução nutritiva.

4.2.3. Produção de material seco

As análises de variância mostraram que houve efeito de boro sobre a produção de material seco para as folhas superiores, caule e total. O mesmo não foi verificado para os ramos e as folhas inferiores (Apêndice - A 18-22). De acordo com o observado para a altura e o diâmetro, verificou-se também, que a omissão de boro promoveu uma redução do material seco total produzido, enquanto que para as demais doses houve pequenas variações, porém, não significativas (Figura 11). Analisando o material seco relativo produzido, tomando-se como base a dose 0,25 mg L⁻¹ de B,

observou-se que a carência de boro reduziu a produção de material seco em 45 % quando comparada a essa dose (Figura 12).

Resultados semelhantes foram obtidos por NOVELINO *et al.* (1982) e MALAVOLTA *et al.* (1978) que observaram a produção máxima quando as plantas de *Eucalyptus citriodora* foram cultivadas na dose de 0,1 mg L⁻¹ de B em solução nutritiva. NOVELINO *et al.* (1982) não encontraram variações significativas na produção entre a dose 0,125 mg L⁻¹ e a dose 2,5 mg L⁻¹, confirmando que o *Eucalyptus citriodora* é uma espécie tolerante a níveis elevados de boro.

FERREIRA (1992) também relatou a alta tolerância do *Eucalyptus citriodora* à aplicação de boro em condição de solo, mostrando que a produção máxima foi obtida na faixa de 0,15 a 0,26 mg dm⁻³ para o Latossolo Vermelho Escuro e 0,08 a 0,22 mg dm⁻³ para o Latossolo Vermelho Amarelo, enquanto que as perdas de produção devido à toxicidade só ocorreram quando as plantas foram submetidas a dose maiores que 2,21 mg dm⁻³, em ambos os solos. Esses resultados juntamente com os obtidos no presente estudo, confirmam que dentre as espécies de *Eucalyptus*, o *Eucalyptus citriodora* é considerada uma espécie altamente tolerante ao boro, apresentando uma extensa faixa entre a deficiência e a toxidez, sendo que pequenas adições de boro são suficientes para o desenvolvimento da planta, enquanto que perdas de produção só ocorrem em níveis bastante elevados desse micronutriente tanto ao nível de solução nutritiva como do solo, ao contrário de *Eucalyptus grandis*.

ROCHA FILHO *et al.* (1979) observaram que doses acima de $1,0 \text{ mg L}^{-1}$ de B na solução nutritiva decresciam a produção das plantas de *Eucalyptus grandis*, sendo o mesmo verificado por NOVELINO *et al.* (1982) para *Eucalyptus grandis*, que observaram um efeito negativo sobre o crescimento quando as doses eram superiores a $0,1 \text{ mg L}^{-1}$, dose essa bem inferior a relatada por ROCHA FILHO *et al.* (1979).

Figura 11. Produção de material seco de folhas superiores, inferiores, ramos, caule e total de plantas de *Eucalyptus citriodora* em função das doses de boro na solução nutritiva. (colunas com a mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey ao nível de 5 % de probabilidade)

Figura 12. Material seco relativo de plantas de *Eucalyptus citriodora* em função das doses de boro na solução nutritiva.

Em conformidade com os resultados obtidos neste trabalho, vários outros tem demonstrado que a deficiência de boro é comumente encontrada em condições de campo e que as aplicações de boro são essenciais para o desenvolvimento de espécies de *Eucalyptus*, principalmente para *Eucalyptus citriodora*. SILVEIRA *et al.* (1996a) observaram que a omissão de boro e de nitrogênio foram as que mais limitaram o crescimento de um híbrido de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*, quando comparada com a omissão dos demais macronutrientes. CANNON (1981) observou que a aplicação de NPK + B, quando comparada a somente NPK, promovia ganhos consideráveis de produtividade de *Eucalyptus grandis* aos 4 anos de idade. BARROS *et al.* (1992) verificaram que a aplicação de 1,0 a 1,5 g planta⁻¹ de B em *Eucalyptus*

citriodora e *Eucalyptus camaldulensis* resultou em ausência de seca de ponteiro e ganhos em volume de madeira de até 32 % em relação à aplicação de NPK sem boro. FONSECA *et al.* (1993) verificaram que a aplicação de 1 e 2 g planta⁻¹ de B promoveu, respectivamente, ganhos de 25 e 32 % em relação à omissão de boro.

STAPE (1992) encontrou resultados mais expressivos que os obtidos por BARROS *et al.* (1992), sendo que a aplicação de NPK + óxidos contendo micronutrientes (FTE-BR9) em *Eucalyptus grandis* sob areia quartzosa promoveu ganhos de 81 % em relação à aplicação de NPK. Ainda conforme BARROS *et al.* (1992), STAPE (1992), FONSECA *et al.* (1993) e COUTINHO *et al.* (1995), em Portugal, verificaram resposta no crescimento de *Eucalyptus globulus*, mediante a aplicação de 3,0 g planta⁻¹ de B, dose essa acima das normalmente utilizadas nos reflorestamentos com *Eucalyptus* no Brasil, as quais variam de 1,0 a 2,0 g planta⁻¹. Esses autores observaram também, que a aplicação de 12 g planta⁻¹ de B não teve efeito depressivo sobre o crescimento, mostrando que o *Eucalyptus globulus* pode ser considerado uma espécie tão tolerante ao boro quanto ao *Eucalyptus citriodora*.

4.3. Concentrações dos macronutrientes e boro

As concentrações de boro nas folhas superiores e inferiores antes da inoculação de *Botryosphaeria ribis*, encontram-se na tabela 4. Nota-se que as concentrações de boro, tanto nas folhas superiores como inferiores foram menores, quando esse nutriente não foi adicionado à solução nutritiva. As concentrações nas

folhas superiores na ausência de boro estavam dentro da faixa considerada deficiente para *Eucalyptus spp* (MALAVOLTA, 1987) e *Eucalyptus urophylla* (DELL *et al*, 1995), as quais variam de 15 a 20 mg kg⁻¹ e 7 a 15 mg kg⁻¹, respectivamente, porém, acima da faixa considerada deficiente para *Eucalyptus grandis*- 5 a 8 mg kg⁻¹ e *Eucalyptus globulus*- 4 a 10 mg kg⁻¹ (DELL *et al*, 1995). Verificou-se ainda, que a concentração de boro nas folhas inferiores foi maior, quando comparada com das folhas superiores

Tabela 4. Concentração de boro nas folhas superiores e inferiores de *Eucalyptus citriodora* antes da inoculação com *Botryosphaeria ribis* em função das doses de boro na solução nutritiva .

B na planta (mg kg ⁻¹)	B na solução (mg L ⁻¹)							
	0,0	0,125	0,25	0,5	1,0	2,0	4,0	Média
Folhas superiores	13	25	35	68	85	151	233	87,1
Folhas inferiores	22	36	48	87	135	200	251	111,3
Média	17,5	30,5	46,5	77,5	110,0	175,5	242,0	-

Houve um efeito significativo das doses de boro sobre a concentração desse nutriente nas diferentes partes da planta no final do ciclo (Apêndice - A 23-26). Como era de se esperar, para as folhas superiores, as plantas cultivadas na ausência de boro apresentaram menores concentrações desse micronutriente quando comparada com as outras doses (Tabela 5). As doses de boro na solução nutritiva de 0,0

até $0,5 \text{ mg L}^{-1}$ não promoveram em diferenças significativas na concentração desse micronutriente nos ramos e folhas inferiores.

Para a concentração de boro no caule, não houve diferença significativa entre as doses $0,0$ e $0,25 \text{ mg L}^{-1}$. Em relação aos níveis mais elevados de boro na solução, $2,0$ e $4,0 \text{ mg L}^{-1}$, constatou-se diferenças significativas para as concentrações desse micronutriente tanto para folhas superiores como inferiores, ao contrário do que foi observado para os ramos e caule. Na ausência de boro, as concentrações nas folhas superiores e inferiores foram de $7,2 \text{ mg B kg}^{-1}$ e $13,8 \text{ mg B kg}^{-1}$, valores esses considerados deficientes por MALAVOLTA (1987) para o gênero *Eucalyptus* e por DELL *et al.* (1995) para *Eucalyptus urophylla*.

SILVEIRA *et al.* (1995a-b) encontraram concentrações próximas das obtidas no presente estudo, quando analisaram florestas de *Eucalyptus grandis* deficientes em potássio, boro e zinco. As concentrações de boro obtidas variaram de 6 a 12 mg kg^{-1} na parte superior e de 9 a 17 mg kg^{-1} na parte inferior da copa. ROCHA FILHO *et al.* (1979), ao cultivar plantas de *Eucalyptus grandis* na ausência de boro, obtiveram resultados semelhantes aos do presente estudo, sendo que as concentrações desse micronutrientes nas folhas novas e velhas foram de 12 mg kg^{-1} e 10 mg kg^{-1} , respectivamente. Resultado próximo do encontrado no presente estudo também foi verificado por ROCHA FILHO *et al.* (1978), que observaram concentrações de $8,0 \text{ mg kg}^{-1}$ nas plantas de *Eucalyptus urophylla* cultivadas na carência de boro.

Em relação à dose mais elevada de boro, as concentrações obtidas foram de 201,2 mg kg⁻¹ e 240,3 mg kg⁻¹ para folhas superiores e inferiores, respectivamente (Tabela 5). Esses valores são bem menores que os encontrados por ROCHA FILHO *et al.* (1979) para *Eucalyptus grandis* cultivado na mesma dose, os quais foram de 314 mg kg⁻¹ para folhas novas e 374 mg kg⁻¹ para as velhas. Ainda em relação à concentração de boro nas folhas, observou-se no presente estudo, que não houve efeito sobre a altura, diâmetro e o material seco, quando as plantas apresentavam concentrações na faixa de 29,4 a 201,2 mg kg⁻¹ de B para as superiores e de 31,9 a 240,3 mg kg⁻¹ de B para as inferiores. Portanto, concentrações nas folhas superiores de 29,4 mg kg⁻¹ e de 31,9 mg kg⁻¹ nas inferiores foram suficientes para o desenvolvimento do *Eucalyptus citriodora*, sem afetar o seu crescimento e a sua produção de material seco. Essas concentrações, porém, estão um pouco abaixo da concentração adequada para o *Eucalyptus citriodora* (42 mg kg⁻¹), *Eucalyptus spp* (40 a 60 mg kg⁻¹) e híbrido de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* (38 a 41 mg kg⁻¹) segundo CHRISTO & SANTOS (1990), MALAVOLTA (1987) e SILVEIRA *et al.* (1996a), respectivamente, enquanto que um pouco acima da faixa considerada ótima para *Eucalyptus globulus* (12-23 mg kg⁻¹) e *Eucalyptus grandis* (15-27 mg kg⁻¹) segundo DELL *et al.* (1995) e da faixa crítica estabelecida para folhas novas de *Eucalyptus citriodora* (16-27 mg kg⁻¹) de acordo com FERREIRA (1992). Essas concentrações, no entanto, estão dentro da faixa crítica estabelecida por FERREIRA (1992) para folhas medianas (19 a 25 mg kg⁻¹) e velhas de *Eucalyptus citriodora* (21 a 35 mg kg⁻¹), como também da concentração

adequada estabelecida para *Eucalyptus urophylla* (30,5 mg kg⁻¹), por ROCHA FILHO *et al.* (1978).

Foram observadas ainda, correlações significativas e positivas entre a dose de boro na solução e a concentração desse micronutriente nos tecidos, sendo que a concentração de boro nas folhas superiores foi a que melhor expressou a presença deste na solução (Tabela 6). Isso pode ser explicado pela baixa mobilidade do boro no floema, o que se reflete numa melhor expressão do estado nutricional em relação ao boro nesse órgão e nos pontos de crescimento, tais como sistema radicular e gemas apicais, locais de máxima manifestação de sintomas dessa deficiência (GUPTA, 1979; MALAVOLTA, 1980; MALAVOLTA *et al.*, 1989).

Em relação aos outros órgãos, notou-se que as concentrações de boro nos ramos foram as que menos correlacionaram tanto com a dose de boro na solução (Tabela 6), como com as concentrações nas diferentes partes da planta (Tabela 7), mostrando que os ramos foram os órgãos da planta menos indicados para a avaliação da condição nutricional de boro em *Eucalyptus citriodora*.

Tabela 5. Concentração de boro nas folhas superiores, folhas inferiores, ramos e caule em função das doses de boro na solução nutritiva, ao final do ciclo.

B na solução (mg L ⁻¹)	B na planta (mg kg ⁻¹)			
	Folhas superiores	Folhas inferiores	Ramos	Caule
0,0	7,2e	13,8d	10,4c	5,2e
0,125	29,4d	31,9d	16,3bc	8,7de
0,25	31,7d	35,6d	23,2abc	8,5cde
0,5	51,0d	57,1cd	23,6abc	14,0bc
1,0	84,4c	113,2bc	25,2abc	13,0bcd
2,0	132,2b	155,8b	25,8a	16,3ab
4,0	201,2a	240,3a	29,3ab	21,0a
Teste F	87,65**	42,06**	8,92**	19,99**
C.V.(%)	22,37	32,07	22,64	22,88

** significativo ao nível 1 % de probabilidade.

médias seguidas por letras iguais em cada órgão, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Tabela 6. Coeficientes de correlação entre o nível de boro na solução e a concentração de boro nas diferentes partes das plantas de *Eucalyptus citriodora*.

	B na planta (mg kg ⁻¹)			
	Folhas superiores	Folhas inferiores	Ramos	Caule
B na solução (mg L ⁻¹)	0,95559**	0,92173**	0,57638**	0,82143**

** significativo ao nível de 1 % de probabilidade.

Tabela 7. Coeficientes de correlação dos teores de boro entre as diferentes partes da planta.

	Folhas Inferiores	Caule	Ramos
Folhas Superiores	0,86470 **	0,84090 **	0,64738 **
Folhas Inferiores	-	0,77512 **	0,59822 **
Caule	-	-	0,57405 **

** significativo ao nível de 1% de probabilidade.

Através das análises de correlação entre a concentração de boro e a dos macro e micronutrientes nas diferentes partes da planta (Apêndice-A 27-28), constatou-se correlações positivas para as folhas superiores e inferiores com potássio e magnésio e para as inferiores com enxofre. Obteve-se ainda, correlações negativas para as folhas superiores com cobre, para o caule com enxofre e fósforo e, para os ramos com manganês (Tabela 8).

Tabela 8. Correlações significativas entre as concentrações de boro e as dos macro e micronutrientes nas diferentes partes da planta.

Folhas superiores	Folhas inferiores	Caule	Ramos
K	K	S	Mn
r=0,68637 **	r= 0,73213**	r= -0,55532**	r= -0,44779**
Mg	Mg	P	-
r=0,51439**	r= 0,46024**	r= -0,45469**	
Cu	S	-	-
r= -0,56701**	r= 0,54670**		

** significativo ao nível de 1% de probabilidade.

As doses de boro na solução influenciaram significativamente a concentração de potássio nas folhas superiores e principalmente nas inferiores (Apêndice- A 29 e 30). As plantas cultivadas nos níveis mais baixos de boro (0; 0,125 e 0,25), apresentaram concentrações menores de potássio nas folhas inferiores, quando comparadas com as das cultivadas nos níveis acima de 0,5 mg L⁻¹ (Apêndice - A 29 e 30). O mesmo efeito foi verificado para as concentrações de potássio nas folhas superiores (Tabela 9). A Figura 13 ilustra o efeito das doses de boro na solução sobre as concentrações de boro e de potássio nas folhas superiores e inferiores, observando-se respostas lineares para o boro e quadráticas para o potássio. Adições crescentes de boro na solução resultaram em aumentos nas concentrações foliares de boro. Já em relação ao potássio esses aumentos ocorreram para as folhas superiores até 2,48 mg B L⁻¹ e para as inferiores até 2,54 mg B L⁻¹ na solução.

A dose de boro na solução teve efeito também sobre a relação K/B nas folhas superiores e inferiores, principalmente (Figura 14). Na carência de boro, as plantas apresentaram elevadas relações, as quais diminuíram com o aumento da dose de boro na solução.

Figura 13. Concentrações de boro e de potássio nas folhas superiores e inferiores de *Eucalyptus citriodora* em função das doses de boro na solução nutritiva.

Tabela 9. Concentração de potássio nas folhas superiores e inferiores de plantas de *Eucalyptus citriodora* em função das doses de boro na solução nutritiva.

B na solução (mg L ⁻¹)	K(mg kg ⁻¹)	
	Folhas superiores	Folhas Inferiores
0,0	8,3b	6,8d
0,125	9,4b	9,0cd
0,25	9,1b	8,6d
0,5	12,0ab	11,7bc
1,0	14,1a	12,3b
2,0	15,5	15,2a
4,0	14,6a	13,7ab
Teste F	9,89**	21,96**
C.V.(%)	19,51	13,68

** significativo ao nível de 1 % de probabilidade.

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade).

Figura 14. Relação K/B nas folhas superiores e inferiores de plantas de *Eucalyptus citriodora* submetidas a doses de boro na solução nutritiva (colunas com a mesma letra, na mesma parte da planta, não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade).

4.4. Sintomas da doença

Os sintomas de infecção iniciaram-se uma semana após a inoculação dos fungos, sendo caracterizados pelo escurecimento da casca e do lenho nas proximidades do ponto de inoculação. Num estágio mais avançado, em torno de 20 dias após a inoculação, verificou-se nas plantas deficientes em boro, que esse escurecimento progredia rapidamente ao longo do tronco, dando origem a lesões extensas (Figura 15 A). Nas plantas desse tratamento, verificou-se o achatamento do caule (Figura 15 B-C), enquanto que nos demais tratamentos notou-se uma maior reação das plantas, ficando o

desenvolvimento das lesões delimitado pela formação de calo cicatricial, originando cancos típicos (Figura 16 A-B). Nesta fase, as células do câmbio e do parênquima floemático devem ter-se multiplicado numa alta velocidade em todos os lados da lesão, embora de forma mais ativa nas laterais (Ebert,1989, citado por SEITZ,1996). A formação de calos também foi verificada por SHEARER *et al.* (1987) em *Eucalyptus calophylla* e *Eucalyptus cladocalyx* como forma de reação à infecção causada por *Cytospora eucalypticola* e *Botryosphaeria ribis*. FERREIRA (1989) ao descrever cancos causados por *Botryosphaeria ribis* em espécies de *Eucalyptus*, também relatou que era comum a delimitação das lesões através da formação de calos cicatriciais

Outro sintoma observado foi a formação de bolsas de quino na casca e no lenho, cujo o extravasamento originou o surgimento de gomose típica (Figura 16 C). A gomose tem sido associada à infecção por fungos do gênero *Botryosphaeria* em espécies de *Eucalyptus*, principalmente em *Eucalyptus citriodora* conforme descritos por AUER & KRUGNER (1989). PUNITHALINGAN & HOLLIDAY (1973) citam que também é comum o aparecimento de gomose e lesões necróticas associadas à infecção por *Botryosphaeria ribis*, em várias espécies de plantas.

A

B

C

Figura 15. Lesões necróticas produzidas pela infecção de *Botryosphaeria ribis* nas plantas cultivadas na ausência de boro, 60 dias após a inoculação. Falta de cicatrização das lesões (A); falta de cicatrização das lesões e achatamento do caule (B-C).

Figura 16. Lesões cicatrizadas obtidas pela inoculação com *Botryosphaeria ribis*. Delimitação das lesões causadas por *Botryosphaeria ribis* através da formação de calo cicatricial, em plantas cultivadas na dose de $0,25 \text{ mg L}^{-1}$ de B (A-B); reação à infecção por *Botryosphaeria ribis* de planta cultivada na dose de $0,25 \text{ mg L}^{-1}$, através da formação de calo cicatricial e gomose (C).

4.5. Agressividade de *Botryosphaeria ribis*

Na carência de boro, as plantas apresentaram baixa capacidade de cicatrização das lesões (Figura 17). A menor capacidade de defesa dessas plantas pode ser explicada devido à deficiência de boro diminuir a atividade meristemática e, em situações extremas, até causar a morte do câmbio (TOKESHI *et al.*, 1976, CARVALHO *et al.*, 1980), tecido esse, responsável pela formação dos calos cicatriciais, os quais tem a função de recompor a estrutura afetada, bem como impedir a colonização de novos tecidos pelo patógeno (MULLICK, 1977; Ebert, 1989, citado por SEITZ, 1996).

Figura 17. Porcentagem média de lesões cicatrizadas de *Botryosphaeria ribis* em função das doses de boro na solução nutritiva.

A interação entre a dose de boro e o local de inoculação sobre o comprimento de lesão não foi significativa (Tabela 10). No entanto, verificou-se que a dose de boro e o ponto de inoculação na região do caule influenciaram significativamente o comprimento das lesões. Para o local de inoculação, constatou-se que a região basal do caule foi mais suscetível à infecção por *Botryosphaeria ribis* em relação à região apical, não havendo diferenças dessas duas regiões com a mediana (Figura 18).

Tabela 10. Análise de variância para o comprimento das lesões, 60 dias após a inoculação com *Botryosphaeria ribis*

Causas de variação	G.L	S.Q.	Q.M.	F	P > F
Dose de boro	6	28183,5124	4697,2521	5,30	0,0001**
Local da inoculação	2	7288,2060	3644,1030	4,12	0,0192*
Dose de boro x Local da inoculação	12	3535,8549	294,6546	0,3	0,9814 ^{ns}
Resíduo	99	87666,8667			
Total	119	126668,8947			

** significativo ao nível de 1 % de probabilidade; * significativo ao nível de 5 % de probabilidade; n.s-não significativo.

Considerando as lesões causadas por *Botryosphaeria ribis*, observou-se que a omissão de boro aumentou a suscetibilidade das plantas à infecção

pelo fungo, quando comparada com as doses de 0,125 até a 4,0 mg L⁻¹, as quais não diferiram estatisticamente quanto ao tamanho da lesão (Figura 19). A dose de 0,125 mg L⁻¹ foi suficiente para diminuir a patogenicidade do fungo, reduzindo em 40 % o comprimento das lesões em relação à ausência de boro. Como visto anteriormente, além da maior agressividade do fungo, a deficiência de boro inibiu também o crescimento em diâmetro, altura e a produção de material seco, ao contrário do que foi observado para as demais doses, as quais não apresentaram diferenças significativas para essas variáveis.

Figura 18. Comprimento de lesões de *Botryosphaeria ribis*, 60 dias após a inoculação, em diferentes posições do caule de *Eucalyptus citriodora* (colunas com a mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 1 % de probabilidade).

Figura 19. Comprimento médio das lesões de *Botryosphaeria ribis*, 60 dias após a inoculação, em *Eucalyptus citriodora* submetido a diferentes doses de boro na solução nutritiva (colunas com a mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 1% de probabilidade).

As plantas que foram mais suscetíveis a *Botryosphaeria ribis* apresentaram concentrações de boro de 7,2 mg kg⁻¹ nas folhas superiores e 13,8 mg kg⁻¹ nas inferiores, concentrações essas, consideradas deficientes para as espécies de *Eucalyptus* por ROCHA FILHO *et al.* (1978), MALAVOLTA (1987), DELL *et al.* (1995) e SILVEIRA *et al.* (1996a). Observou-se ainda que as plantas com concentrações de boro na faixa de 29,4 a 201,2 mg kg⁻¹ nas folhas superiores e 31,9 a 240,3 mg kg⁻¹ nas inferiores não apresentaram diferenças quanto a agressividade do fungo (Figura 20).

Estes resultados estão de acordo com SILVEIRA *et al.* (1996b), os quais constataram baixa agressividade de *Botryosphaeria ribis* e *Lasiodiplodia theobromae* em *Eucalyptus citriodora* com concentrações foliares na faixa de 30 a 35

mg kg⁻¹ no material seco, enquanto que as plantas com concentrações inferiores a 10 mg kg⁻¹ foram altamente suscetíveis a ambos os fungos. Portanto, as concentrações de boro nas folhas em torno de 30 mg kg⁻¹ são suficientes para reduzir a agressividade do fungo, sem restringir o crescimento do *Eucalyptus citriodora*, como foi verificado anteriormente.

Esses resultados mostram que o *Botryosphaeria ribis* é um patógeno secundário, conforme relatado na doença Seca do Eucalipto do Vale do Rio Doce por FERREIRA (1989), uma vez que sua agressividade depende de fatores de estresse, quer seja nutricional (SILVEIRA *et al.*, 1996b), hídrico ou por desfolhamento (CRIST & SCHOENEWEISS, 1975; SCHOENEWEISS, 1975; SCHOENEWEISS, 1978; OLD *et al.*, 1990, MULLEN *et al.*, 1991). *Botryosphaeria ribis*, nas condições tropicais, tem sido menos agressivo quando comparado com o *Cryphonectria cubensis*, principal agente causal de cancos nas espécies de *Eucalyptus* (KRUGNER, 1980; ALFENAS & FERREIRA, 1982; HODGES *et al.*, 1976; FERREIRA, 1989). Isso demonstra que *Botryosphaeria ribis* é mais dependente dos fatores de predisposição para que ocorra a doença, tais como as deficiências e desequilíbrios nutricionais, do que *Cryphonectria cubensis*.

Figura 20. Relação entre o comprimento das lesões de *Botryosphaeria ribis* e a concentração de boro nas folhas superiores e inferiores de *Eucalyptus citriodora*, em função das doses de boro na solução nutritiva.

HUDSON *et al.* (1988) também verificaram a associação da deficiência de boro em *Pinus patula* com a infecção por *Phomopsis occulta* e *Potebniomyces coniferarum*. Embora não muito estudado, outros autores também encontraram efeito de boro sobre a suscetibilidade de plantas às doenças. KUMAR & KOTUR (1991) verificaram maior suscetibilidade de couve-flor à doença raiz preta, causada por *Xanthomonas campestris* pv. *campestris*, quando as plantas foram cultivadas em níveis menores que 0,4 mg kg⁻¹ de solo, ou maiores que 1,6 mg kg⁻¹ de solo. Nota-se ainda, que os autores observaram efeito de excesso de boro sobre a doença, discordando dos resultado deste experimento.

EDGINGTON & WALKER (1958) observaram que a murcha por *Fusarium wilt* (*Fusarium oxysporium*) em tomate foi dependente do fornecimento de Ca, sendo que com 100 mg Ca kg⁻¹ de solo a incidência da doença decrescia com o aumento da dose de boro, mas com 500 mg Ca kg⁻¹ de solo, o índice de doença aumentava com maiores fornecimentos de boro.

HUBER (1980) e MALAVOLTA *et al.* (1989) afirmam que a deficiência de boro e a de potássio estão bastante relacionadas com a ocorrência de doenças, sendo que a carência de boro predispõe a cevada à infecção por *Erysiphe graminis*, o trigo por *Puccinia spp*, girassol por *Erysiphe cichoracearum*, beterraba por *Phoma betae* e por *Aphanomyces cochlioides*, couve flor por *Botrytis sp*, tomate, algodão e crisântemo por *Fusarium oxysporum* e ervilha por *Fusarium udum*.

KEINATH & LORIA (1993), no entanto, verificaram que a aplicação de boro visando o controle do fungo *Streptomyces scabies* em batata (*Solanum tuberosum*) foi pouco conclusiva, sendo que num experimento, a aplicação reduziu a doença, enquanto que em outros dois não houve qualquer efeito.

Como foi observado anteriormente, a ausência de boro na solução nutritiva afetou a concentração de potássio nas folhas, principalmente nas inferiores (Figura 13). Na carência de boro, a concentração de potássio nas folhas inferiores foi de 6,8 g kg⁻¹, estando dentro da faixa deficiente para *Eucalyptus globulus* (4 a 7 g kg⁻¹) e para o gênero *Eucalyptus* (6 a 8 g kg⁻¹) segundo DELL *et al.* (1995) e MALAVOLTA (1987), respectivamente. Para as outras doses de boro, as concentrações de potássio

variaram de $8,6 \text{ g kg}^{-1}$ na dose de $0,25 \text{ mg L}^{-1}$ de B até $15,2 \text{ g kg}^{-1}$ de K na de $2,0 \text{ mg L}^{-1}$ de B, fora da zona considerada deficiente por MALAVOLTA (1987) e DELL *et al.* (1995), conforme ilustra a Figura 21. Portanto, constatou-se que a deficiência de boro induziu à de potássio, e que nessas condições as plantas apresentaram menor resistência a *Botryosphaeria ribis*.

Na literatura existem vários trabalhos que demonstram o efeito do potássio sobre a ocorrência de doenças de plantas, destacando-se ITO *et al.* (1994), que verificaram maior incidência de *Phomopsis* em soja, quando as plantas não receberam adubação potássica, enquanto que a menor incidência ocorreu nas doses de 300 a 450 kg ha^{-1} de K_2O . As menores incidências de *Phomopsis* ocorreram quando as concentrações de potássio nas folhas correspondiam de $14,5$ até $16,7 \text{ g kg}^{-1}$. ITO *et al.* (1993) observaram que a adubação potássica elevou a produtividade, bem como as concentrações do nutriente nas folhas, com correspondente decréscimo na incidência da queima foliar causada por *Cercospora kikuchii*.

Resultados semelhantes foram obtidos por BERTRAND *et al.* (1976), ao observarem que a carência de potássio, favoreceu a agressividade de *Cytospora* (agente causal de cancro) em *Prunus*, e por YLIMARTINO & HAANUM (1993), que constataram que os aumentos na concentração de K e Ca no meio de cultura reduziam o crescimento micelial de *Gremmeniella abietina* (causador de cancro em *Pinus silvestris*), ao contrário do que foi verificado para o nitrogênio.

HUBER (1980) e MALAVOLTA *et al.* (1989) também citaram que a deficiência de potássio é uma das que mais predis põem a planta à ocorrência de doença, destacando-se a infecção do arroz por *Helminthosporium*, *Xanthomonas*, *Piricularia*, *Ophiobolus* e *Cercospora oryzae*, cana de açúcar por *Helminthosporium sacchari*, batata e tomate por *Alternaria solani*, tomate e feijão por *Botrytis cinerea*, linho por *Melampsora lini*, batata por *Phytophthora infestans*, trigo e cereais em gerais por *Puccinia graminis*, *Puccinia recondita* e *Puccinia striiformis* e centeio por *Urocystis oculta*.

Figura 21. Relação entre o comprimento das lesões de *Botryosphaeria ribis* e a concentração de potássio nas folhas inferiores de *Eucalyptus citriodora*, em função das doses de boro na solução nutritiva.

Correlações significativas foram encontradas ainda, entre o comprimento da lesão e a concentração de boro, a relação Mg/B nas folhas superiores, a relação K/B e a relação S/B nas folhas inferiores (Tabela 11). Constatou-se que, diminuindo as concentrações de boro nas folhas superiores aumentava-se a patogenicidade do fungo. O mesmo sendo verificado quando se elevava a relação Mg/B nas folhas superiores e K/B e S/B nas folhas inferiores.

Tabela 11. Correlações significativas entre o comprimento de lesão e a concentração de boro e a relação magnésio/boro nas folhas superiores, a relação potássio/boro e enxofre/boro nas folhas inferiores.

	Folhas superiores		Folhas inferiores	
	B (mg kg ⁻¹)	Mg/B	K/B	S/B
Comprimento de lesão (mm)	-0,30799	0,39838	0,39693	0,33229
	0,0502*	0,0109*	0,0199*	0,0362*

* significativos ao nível de 5 % de probabilidade.

4.6. Influência do boro sobre a agressividade de patógenos oportunistas

MARSCHNER (1986) relatou que as plantas equilibradas nutricionalmente são mais resistentes à ocorrência da doença, em razão do melhor funcionamento de barreiras bioquímicas e morfológicas. As barreiras bioquímicas seriam a produção de compostos fenólicos o acúmulo de compostos de cadeia menor, como os

aminoácidos e carboidratos solúveis. Em relação às barreiras morfológicas, citou a espessura da cutícula, a formação de tecidos esclerenquimatosos, lignificação, silificação e o controle de permeabilidade da membrana. A influência benéfica do boro, diminuindo a patogenicidade de *Botryosphaeria ribis*, parece estar mais relacionada com as barreiras morfológicas, em razão das funções que o elemento desempenha na planta.

Uma das funções atribuídas ao boro é a formação da parede celular, sendo que o ácido bórico pode servir como unidade de ligação de polissacarídeos na parede celular (HEWITT & SMITH, 1975; MALAVOLTA, 1980). Como consequência dessa função, as plantas deficientes em boro apresentam modificações morfológicas, como a má formação da parede celular, a qual torna-se muito fina e pouco lignificada (HEWITT & SMITH, 1975; LEWISS, 1980; DUGGER, 1983; MARSCHNER, 1986; MALAVOLTA *et al.*, 1989), diminuindo a rigidez dos tecidos e conseqüentemente facilitando a penetração e a colonização dos tecidos pelo patógeno.

Verifica-se ainda, uma estreita relação entre esse micronutriente e a atividade meristemática (HEWITT & SMITH, 1975; CONHEN & LEPPER, 1977; MALAVOLTA, 1980). Na carência de boro, ocorre uma menor divisão celular devido a uma redução da atividade da AIA oxidase, facilmente notada nos pontos de crescimento. Deve-se ressaltar ainda, que nos mecanismos de plantas lenhosas, em resposta à infecção pelo patógeno, estão envolvidos processos de restauração dos tecidos meristemáticos, como o felogênio e o câmbio vascular, sendo o primeiro responsável pela formação da

periderme necrofilática ou cicatrização (MULLICK, 1977; Ebert, 1989 citado por SEITZ, 1996). Relacionado a isso, TOKESHI *et al.* (1976) verificaram que nas plantas deficientes em boro ocorria o achatamento do caule, devido à morte do câmbio.

TOKESHI *et al.* (1976) e CARVALHO *et al.* (1978), ao analisarem os tecidos dos caules de *Eucalyptus* deficientes em boro, constataram que as células meristemáticas do câmbio estavam disformes ou totalmente necrosadas. Em concordância com essas informações, observou-se no presente estudo, que nas plantas deficientes em boro não houve fechamento das lesões, em razão da não formação de calos cicatriciais, como consequência da baixa atividade do câmbio e do felogênio, e em casos extremos até a morte do câmbio, conforme foi visto anteriormente nas figuras 15A e 15B. O papel desempenhado pelo boro na atividade meristemática, mostra, portanto, que a carência desse micronutriente diminuiu a cicatrização das lesões, sejam elas causadas por agentes patogênicos ou por injúrias mecânicas.

Ebert (1989), citado por SEITZ (1996), relata que numa das fases de reação da árvore à infecção por fungos, ocorre um aumento da atividade metabólica das células adjacentes à lesão, sendo essas enriquecidas com açúcares. No entanto, um suprimento adequado de boro facilita o transporte de carboidratos dentro da planta, devido a formação de um produto boro-carboidrato mais solúvel na membrana celular (PRICE *et al.*, 1972; JACKSON & CHAPMAN, 1975; POLLARD *et al.*, 1977; MALAVOLTA, 1980). Quando há deficiência de boro, a translocação de açúcares é afetada, podendo diminuir o enriquecimento com açúcar das células adjacentes à lesão,

causando a redução do metabolismo dessas células, que acaba resultando em um menor acúmulo de polifenóis, substâncias inibidoras do patógeno.

AUER (1991) observou que o déficit hídrico e deficiência/desequilíbrio nutricional podem ocasionar fissuras na casca e a seca do ponteiro favorecendo a penetração e a infecção por fungos causadores de cancro, como os do gênero *Botryosphaeria*. No entanto, em condições de campo, TOKESHI *et al* (1976) mostrou que um dos sintomas da deficiência de boro em *Eucalyptus citriodora* foram rachaduras e fissuras no caule. Isso mostra que a deficiência de boro no campo constitui-se num dos fatores de predisposição mais importante para a ocorrência de cancos em espécies de *Eucalyptus*, principalmente em solos arenosos, nas regiões com períodos de déficit hídrico.

Alguns estudos tem tratado apenas a deficiência hídrica como fator de predisposição à infecção por *Botryosphaeria ribis* e *Endothia gyrosa* (CRIST & SCHOENEWEISS, 1975; SCHOENEWEISS, 1975; SCHOENEWEISS *et al.*, 1978; OLD *et al.*, 1990; MULLEN *et al.*, 1991). Porém, o déficit hídrico é uma das principais causas de deficiência de boro, porque ele paralisa ou diminui a atividade dos microorganismos na mineralização da matéria orgânica, principal fonte de boro nos solos tropicais, bem como o mecanismo de absorção por fluxo de massa (MENGEL & KIRKBY, 1987; MALAVOLTA & KLIEMANN, 1985). Isso sugere a existência de relações entre o déficit hídrico e a deficiência nutricional, especialmente a de boro e a

ocorrência de cancos em espécies de *Eucalyptus*, conforme foi relatado por AUER (1991).

4.7. Recomendações para estudos futuros

Os resultados obtidos permitem as seguintes recomendações para estudos futuros: a) deverão constar de doses intermediárias entre 0 e 0,125 mg L⁻¹, para que se possa ter uma melhor superfície de resposta, uma vez que a dose de 0,125 mg L⁻¹ já foi suficiente para a produção do *Eucalyptus citriodora* e redução da agressividade do fungo; b) para estudos visando o efeito da toxidez de boro sobre o crescimento de *Eucalyptus citriodora*, devem ser escolhidas doses superiores a 4,0 mg L⁻¹ na solução nutritiva; c) instalar um experimento fatorial com doses de boro e potássio para verificar o efeito dessa interação no crescimento de *Eucalyptus citriodora*, bem como na agressividade de *Botryosphaeria ribis*; d) devem ser realizados estudos anatômicos (“cortes”) para determinar o efeito do boro sobre a doença, levando em consideração o funcionamento das barreiras anatômicas, tais como parede celular, câmbio vascular, felogênio e outros.

5. CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos, foi possível concluir que:

A deficiência de boro em plantas de *Eucalyptus citriodora* limitou o crescimento em diâmetro, altura e a produção de material seco, aumentou a agressividade de *Botryosphaeria ribis* e induziu a deficiência de potássio;

O fungo *Botryosphaeria ribis* foi mais agressivo na região basal e mediana do caule da planta;

Eucalyptus citriodora com concentrações de boro nas folhas superiores e inferiores nas faixas de 29,4 a 201,2 mg kg⁻¹ e 31,9 a 240,3 mg kg⁻¹, respectivamente, não sofreram restrições de crescimento e foram menos suscetíveis à infecção por *Botryosphaeria ribis*;

Não houve efeito de toxidez para *Eucalyptus citriodora* com até 4,0 mg L⁻¹ de B na solução, classificando *Eucalyptus citriodora* como uma espécie tolerante ao excesso de boro;

Eucalyptus citriodora pode ser considerado como uma espécie pouco exigente em boro, pois baixas doses do nutriente na solução foram suficientes para se ter um crescimento normal.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALBERT, L.S. Ribonucleic acid content, boron deficiency symptoms, and elongation of tomato root tips. **Plant Physiology**, Lancaster, **40**: 649-54, 1965.
- ALFENAS, A.C.; FERREIRA, F.A. Colonização do lenho de *Eucalyptus* por *Cryphonectria cubensis* na enfermidade do cancro do eucalipto. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, **8**(3): 585. 1982.
- AUER, C.G.; KRUGNER, T.L. Associação de *Botryosphaeria rhodina* a cancro de tronco e seca de ponteiro de *Eucalyptus citriodora* e *Eucalyptus. maculata*, em duas regiões do Estado de São Paulo. **Summa Phytopatologica**, Jaguariúna, **15**(1): 17, 1989.
- AUER, C.G. Cancros em *Eucalyptus grandis*: Relação entre a incidência e a qualidade de sítio, taxonomia da espécie *Valsa* associada e sua patogenecidade comparada a *Cryphonectria cubensis*. Piracicaba, 1991. 93p. (Doutorado- Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"/USP).
- BARROS, N.F.; NOVAIS, R.F.; NEVES, J.C.L. Fertilização e correção do solo para o plantio de eucalipto. In: BARROS, N.F.; NOVAIS, R.F. ed. **Relação Solo-Eucalipto**, Folha de Viçosa, Viçosa.1990. p.127-86.
- BARROS, N.F.; NOVAIS, R.F.; NEVES, J.C.L.; LEAL, P.G.L. Fertilizing eucalypt plantations on the Brazilian savannah soils. **South African Forest Journal**, **160**: 7-12, 1992.
- BATAGLIA, O.C., TEIXEIRA, J.P.F., FURLANI, A.M.C., FURLANI, A.M.C., GALLO, J.R. **Análise química de plantas**. Campinas, Instituto Agronômico, 1978. 31 p. (Circular, 87).

- BERGER, K.C.; TRUOG, E. Boron availability in relation to soil reaction and organic mater content. **Soil Science Society of America Proceedings**, Madison, **10**: 113-6, 1946.
- BERTRAND, P.F.; ENGLISH, H.; CARLSON, R.M. Relation of soil physical and fertility proprieties to the occurrence of *Cytospora cankers* in french prune orchards. **Phytopatology**, Saint Paul, **66**(11) : 1321-24, 1976.
- CANNON, P.G. Fourth results of forest fertilization with NPK, calfos and bórax on an Andept soil. **Research Report Investigacion Forestal**, Carton de Colombia, **68**, 10p. 1981.
- CARVALHO, C.M; CORSO, G.M.; VEIGA, R.A.A.; COUTINHO, C.J. BAENA, E.S. Aspectos sintomatológicos, morfológicos e anatômicos da deficiência de boro em plantações de *Eucalyptus*. In: SYMPOSIUM AND WOORKSHOP ON GENETIC, IMPROVEMENT AND PRODUCTIVITY OF FAST GROWING TREE SPECIES. Aguas de São Pedro, 8p. (mimeografado), 1980.
- CHRISTO, S.S.M.; SANTOS, O.S. Efeitos do gesso e do boro na produção de mudas de *Eucalyptus citriodora* Hook. **Revista do Centro de Ciências Rurais**, Santa Maria, **20**(1-2): 173-84, 1990.
- CONHEN, M.S.; LEPPER, R. Jr. Effect of boron on cell elongation and division in squash roots. **Plant Physiology**, Washington, **59**(5): 884-7, 1977.
- COOLING, E.N.; JONES, B.E. The importance of boron and NPK fertilizers to *Eucalyptus* in the Southern Province Zâmbia. **Empire African Agriculture Forest Journal**, **36**(2): 185-94, 1970.
- COUTINHO, J.; BENTO, J.; VALE, R. Efeito da aplicação de boro em povoamentos de *Eucalyptus globulus* no norte e no centro de Portugal. **2º Relatório intercalar do projeto de investigação do CEDR, Universidade de Trás-os-Monte e Alto Douro, Sporcel S.A. e Boráx Consalidated Ltda.** 1995. 31p.

- CRIST, C.R.; SCHOENEWEISS, D.F. The influence of controlled stresses on susceptibility of European white birch stems to attack by *Botryosphaeria dothidea*. **Phytopathology**, Saint Paul, **65**: 369-73, 1975.
- DELL, B.; MALAJACZUK, N. Boron deficiency eucalypt in China. **Canadian Journal Forest Research**, Ottawa, **24**: 2409-16, 1994.
- DELL, B., MALAJCZUK, N., GROVE, T.S. **Nutrient disorders in plantation eucalypts**. Camberra, Austrália. Australian Centre For International Agricultural Research, 1995. 104 p.
- DAVISON, E.M.; TAY, F.C.S. Twig, branch and upper trunk cankers of *Eucalyptus marginata*. **Plant disease**, Saint Paul, **67**: 1285-7, 1983.
- DUGGER, W.M. Boron in plant metabolism. In LÄUCHLI, A.; BIELESKI, R.L., ed. **Inorganic Plant Nutrition**. Encyclopedia of Plant Physiology. New Series. Berlin, Springer-Verlag, 1983. v.15B. p.625-650.
- EDGINGTON, L.V.; WALKER, J.C. Influence of calcium and boron nutrition on development of *Fusarium* wilt of tomato. **Phytopathology**, Saint Paul, **48**: 324-26, 1958.
- FERREIRA, F.A. Cancro em eucalipto. In: **Patologia florestal** : principais doenças florestais no Brasil. Viçosa, Sociedade de Investigações Florestais , 1989. p152-189.
- FERREIRA, R.M.A. Crescimento de *Eucalyptus citriodora* em dois latossolos sob influência de níveis de boro e umidade. Lavras, 1992. 113p. (Mestrado-Escola Superior de Agricultura de Lavras).
- FONSECA, S.; MALUF, J.L.P; OLIVEIRA, A.C. Adubação com boro e zinco de *Eucalyptus camaldulensis* em solos de cerrado na região de Brasilândia. In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO. 6., Resumo de Trabalhos Voluntários. Campos do Jordão, Sociedade Brasileira de Silvicultura, 1993. p.69.

- GUPTA, V.C. Boron nutrition of crops. **Advances in Agronomy**, New York, **31**: 273-307, 1979.
- HODGES, C.S.; REIS, M.S.; FERREIRA, F.A.; HENFLING, J.D.M. O cancro do eucalipto causado por *Diaporthe cubensis*. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, **1**(2) : 129-70, 1976.
- HEWITT, E.J.; SMITH, T.A. **Plant mineral nutrition**. The English Universities Press Ltd. 1975. 298p.
- HUBER, D.M. The role of Mineral Nutrition in defense. In : **Plant disease**, Vol. V. Academic Press Inc, ed. 1980. cap 21, p. 381-406.
- HUDSON, J.; ADHIKARI, M.K.; JOSHI, S. Die-back em *Pinus patula*. **Forest Survey and Research Office**, Banko Janakari, **2**(1): 41-4, 1988.
- ITO, M.F.; TANAKA, M.A.S.; MASCARENHAS, H.A.A.; TANAKA, R.T.; DUDIENAS, C.; GALLO, P.B. Efeito residual da calagem e da adubação potássica sobre a queima foliar (*Cercospora kikuchii*) da soja. **Summa Phytopathologica**, Jaguariúna, **19**(1): 21-3, 1993.
- ITO, M.F.; MASCARENHAS, H.A.A.; TANAKA, M.A.S.; DUDIENAS, C.; TANAKA, R.T.; GALLO, P.B.; MIRANDA, M.A.C. Efeito residual da adubação potássica e da calagem sobre a incidência de *Phomopsis* spp em sementes de soja. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, **19**(1): 44-9, 1994.
- JACKSON, J.F.; CHAPMAN, S.R. **Trace elements in soil-plant-animal systems**. In: NICHOLAS, D.J.D.; EGAN, A.R. ed. New York, Academic Press. 1975. p. 213-225.
- KEINATH, P.A.; LORIA, R. Management of common scab of potato with plant nutrients. In : ENGELHARD, A.W., ed. **Soilborne Plant Pathogens: Management of disease with Macro e Microelements**. Saint Paul, The American Phytopathological Society, 1989. cap11 . p.152-66.

- KRUGNER, T.L. Doenças do eucalipto. In: GALLI, F.(coord.) **Manual de Fitopatologia**. 2.ed. São Paulo, Agronômica Ceres, 1980. v2. p.275-96.
- KRUGNER, T.L Variação em resistência do hospedeiro e em grau de patogenicidade do patógeno no sistema *Eucalyptus grandis*. Hill ex Maiden- *Cryphonectria cubensis*.(Bruner) Hodges. Piracicaba, 1981. 47p. (Livre-docência- Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” / USP).
- KUMAR, S.; KOTUR, S.C. Effect of boron on susceptibility of cauliflower to black rot. **Indian Phytopathology**, Ranchi, **44**(2): 153-157, 1991.
- LANIER, L. Maladies de l'eucalyptus. **EPPO Bulletin**, Oxford, **16**: 255-63, 1986.
- LEWIS, D.H. Boron, lignification and the origin of vascular plants - a unified hypothesis. **New Phytologist**, Lancaster, **84**: 209-29, 1980.
- MALAVOLTA, E.; TRANI, P.E.; ATHAYDE, M.F.; BRAGA, N.R.; NOGUEIRA, S.S.S.; MORAES, S.A. Nota sobre deficiência e toxidez de boro em espécies cultivadas do gênero *Eucalyptus*. **Revista da Agricultura**, Piracicaba, **53**(4): 243-6, 1978.
- MALAVOLTA, E.; KLIEMANN, H.J. **Desordens nutricionais do cerrado**. Piracicaba, Potafos,. 1985. p.7-66.
- MALAVOLTA, E. Elementos minerais . In: MALAVOLTA, E. **Elementos de Nutrição Mineral de Plantas**. São Paulo, Editora Agronômica Ceres, 1980. p. 104-219.
- MALAVOLTA, E. **Manual de calagem e adubação das principais culturas**. Cap.10. Essências Florestais- Eucalipto e Pinus. São Paulo, Editora Agronômica Ceres, 1987. p.376-96.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. Funções, Princípios, métodos e técnicas de avaliação do estado nutricional. In: MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. (ed.). **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. Piracicaba, Associação Brasileira para a pesquisa da potassa e do fosfato, 1989. p.31-129.

- MARSCHNER, H. **Mineral Nutrition of Higher Plantas**. San Diego, Academic Press, 1986. 674p.
- MENGEL, K.; KIRKBY, E.A. **Principles of plant nutrition**. International Potash Institute, Berne, 1987. 593p.
- MULLEN, J.M.; GILLIAN, C.H.; HAGAN, A.K. ; MORGAN, J.G. Canker of dogwood caused by *Lasiodiplodia theobromae*, a disease influenced by drought stress or cultivar selection. **Plant Disease**, Saint Paul, **75**(9): 886-89, 1991.
- MULLICK, D.B. The non-specific nature of defense in bark and woo during wounding, insect and pathogen attack. In: LOEWEISS, F.A.; RONECKLES, V.C. (ed.) **Recent advances in phytochemistry**. New York, Plenum Press, 1977. v.11. p. 395-441.
- NOVELINO, J.O.; NEVES, J.C.L.; BARROS, N.F.; NOVAIS, R.F.; MUNIZ, A.S. Efeito de níveis de boro no crescimento de *Eucalyptus* spp. **Revista Árvore**, Viçosa, **6**(1): 45-51, 1982.
- OLD, K.M.; GIBBS, R.; CRAIG, I.; MYERS, B.J.; YUAN, Z.Q. Effect of drought and defoliation on the susceptibility of *Eucalyptus* to cankers caused by *Endothia gyrosa* and *Botryosphaeria ribis*. **Australian Journal of Botany**, Camberra, **38**: 571-81, 1990.
- PINON, J. Les maladies de faiblesse en plantation. **Revue Forestière Française**, Versailles, **38**(3): 324 - 30, 1986.
- POLLARD, A.S., PARR, A.J.; LOUGHMAN, B.C. Boron in relation to membrane function in higher plantas. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, **28** (105 t):831-41,1977.
- PRICE, C.A.; CLARK, H.E. & FUNKHOUSER, E.A. Micronutrients in agriculture. In: MORTVEDT, J.J. GIORDANO, P.M.; LINDSAY, W.L. (ed.) **Soil Science Society of America Proceedings**, Madison, 1972. p 231-42.

- PUNITHALINGAM, E.; HOLLIDAY, P. *Botryosphaeria ribis*. In : **CMI Descriptions of Pathogenic Fungi and Bacteria**, Great Britain by The Eastern Press Ltd, London, 1973. p. 395.
- ROCHA FILHO, J.V.C.; HAAG, H.P.; OLIVEIRA, G.D. Deficiência de macronutrientes, boro e ferro em *Eucalyptus urophylla*. **Anais da E.S.A.L.Q. "Luiz de Queiroz" ESALQ**, Piracicaba, **35**: 19-34, 1978.
- ROCHA FILHO, J.V.C.; HAAG, H.P.; OLIVEIRA, G.D.; SARRUGE, J.R. Influência do boro no crescimento e na composição química de *Eucalyptus grandis*. **Anais da E.S.A.Q. "Luiz de Queiroz" ESALQ**, Piracicaba, **36(1)**: 139-51, 1979.
- SARRUGE, J.R.; HAAG, H.P. **Análise química em plantas**. Piracicaba, ESALQ, Departamento de Química, 1974. 56p.
- SARRUGE, J.R. Soluções nutritivas. **Summa Phytopathologica**, Piracicaba, **1**: 231-3, 1975.
- SAVORY, B.M. Boron deficiency in Eucalyptus in Norther Rhodesia. **Empire Forest Review**, **41**: 118-25, 1962.
- SCHOENEWEISS, D.F. Predisposition, stress and plant disease. **Annual Review of Phythopatology**, Palo Alto, **13**: 193-211, 1975.
- SCHOENEWEISS, D.F. Water stress as a predisposition factorin plant disease. In: KOZLOWSKI, T.T. (ed.), **Water and plant disease** New York, Academic Press, 1978. v.5. p.61-9.
- SEITZ, R.A. **A poda de árvores urbanas** Fundação de Pesquisas Florestais do Paraná, Curitiba, 1996. 22p.
- SHARMA, J.K. Potential threat of native pathogens on exotic eucalypts in Kerala. In : SHARMA, J.K.; NAIR, C.T.S.; KEDHARNATH, S.; KONDAR, S. (ed.) **Eucalyptus in India: past, present and future**. Kerala, Kerala Forest Research Institute, 1986. p. 367-76.

- SHEARER, B.L.; TIPPETT, J.T.; BARTLE, J.R. *Botryosphaeria ribis* infection associated with death of *Eucalyptus radiata* in species selection trials. **Plant Disease**, Saint Paul, 71: 140-5, 1987.
- SILVEIRA, R.L.V.A.; GONÇALVES, A.N.; SILVEIRA, R.I.; BRANCO, E.F. Levantamento nutricional de florestas de *Eucalyptus grandis* da região de Itatinga-SP. I. macronutrientes. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 25., Anais da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, 1995a. p.896-98
- SILVEIRA, R.L.V.A.; GONÇALVES, A.N.; SILVEIRA, R.I.; BRANCO, E.F. Levantamento nutricional de florestas de *Eucalyptus grandis* da região de Itatinga-SP. II. micronutrientes. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 25., Anais da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, 1995b. p.899-901.
- SILVEIRA, R.L.V.A.; SILVEIRA, R.I.; KRUGNER, T.L.; BRANCO, E.F. The role of nutrients in *Eucalyptus citriodora* through leaf fertilization and its relation to the appearance of nutritional disturbances. In: PROCEEDINGS OF THE INTERNATIONAL CONGRESS ON SOILS OF TROPICAL FOREST ECOSYSTEMS 3RD CONFERENCE ON FOREST SOILS (ISSS-AISS-IBG), Simorangkir, D. ed. 1995c. v. 8. p. 262-68.
- SILVEIRA, R.L.V.A.; TAHASHI, E. N.; SGARBI, F.; BRANCO, E.F. Sintomas de Deficiências de macronutrientes e boro em híbrido de *Eucalyptus grandis* x *E. citriodora* em solução nutritiva. In: CONGRESSO LATINO AMERICANO DE CIÊNCIA DO SOLO, 13., Anais da Sociedade Latino Americana de Ciência do Solo, CD ROM. Águas de Lindóia, 1996a.
- SILVEIRA, R.L.V.A.; KRUGNER, T.L.; SILVEIRA, R.I.; GONÇALVES, A.N. Efeito do boro na suscetibilidade de *Eucalyptus citriodora* a *Botryosphaeria ribis* e *Lasiodyplodia theobromae*. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, 1996b (no prelo)
- STAPE, J.L. Potencial de crescimento do *Eucalyptus grandis* numa Areia Quartzosa do Estado de São Paulo. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO

- E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 20., Piracicaba, 1992. Anais da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Piracicaba, 1992. p.172-73.
- STONE, E.L. Boron deficiency and excess in forest trees: a review. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, **37**(1-3): 49-75, 1990.
- TOKESHI, F.; GUIMARÃES, R.F.; TOMAZELLO FILHO, M. Deficiência de boro em *Eucalyptus* em São Paulo. **Summa Phytopathologica**, Jaguariúna, **2**(2): 122-6, 1976.
- VAIL, J.W.; CALTON, W.E.; STRANG, R.M. Dieback of Wattle boron deficiency. **Empire African Agriculture Journal**, **23**(2): 100-3, 1957.
- YLIMARTINO, A.; HAANUM, P. Growth of *Gremmeniella abietina* on artificial media simulating the effects of mineral nutrient imbalances of Scots pine. **European Journal of Forest Pathology**, **23** (6-7): 372-84, 1993.

Apêndice

A 1. Análise de variância para altura de plantas de *Eucalyptus citriodora* na época de início das doses de boro na solução nutritiva.

Causas de variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	P>F
Dose de B	6	0,68611429	0,11435238	2,63	0,0728 ^{ns}
Resíduo	35	1,5219333	0,04348381		
Total	41	2,20804762			

n.s- não significativo; C.V. (%) = 9,44

A 2. Análise de variância para altura de plantas de *Eucalyptus citriodora* aos 6 meses de cultivo em doses de boro na solução nutritiva.

Causas de variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	P>F
Dose de B	6	0,88654762	0,14775794	1,48	0,2138 ^{ns}
Resíduo	35	3,49541667	0,09986905		
Total	41	4,38196429			

n.s- não significativo; C.V. (%) = 12,41

A 3. Análise de variância para altura de plantas de *Eucalyptus citriodora* aos 8 meses de cultivo em doses de boro na solução nutritiva.

Causas de variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	P>F
Dose de B	6	1,18226190	0,19704365	1,78	0,1315 ^{ns}
Resíduo	35	3,87041667	0,11058333		
Total	41	5,05267857			

n.s- não significativo; C.V. (%) = 12,49

A 4. Análise de variância para altura de plantas de *Eucalyptus citriodora* aos 10 meses de cultivo em doses de boro na solução nutritiva.

Causas de variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	P>F
Dose de B	6	1,40116667	0,23352778	1,82	0,1242 ^{ns}
Resíduo	34	4,35883333	0,12820098		
Total	40	5,7600000			

n.s- não significativo; C.V. (%) = 13,02

A 5. Análise de variância para altura de plantas de *Eucalyptus citriodora* aos 11 meses de cultivo em doses de boro na solução nutritiva.

Causas de variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	P>F
Dose de B	6	3,48538083	0,58089681	7,21	0,0001**
Resíduo	33	2,66015667	0,08061081		
Total	39	6,14553750			

** - significativo a 1 % de probabilidade; C.V. (%) = 9,48

A 6. Análise de variância para altura de plantas de *Eucalyptus citriodora* aos 14 meses de cultivo em doses de boro na solução nutritiva

Causas de variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	P>F
Dose de B	6	4,65330417	0,77555069	6,69	0,0001**
Resíduo	33	3,82787333	0,11599616		
Total	39	8,48117750			

** - significativo a 1 % de probabilidade; C.V. (%) = 11,00

A 7. Análise de variância para altura relativa de plantas de *Eucalyptus citriodora* em função das doses de boro na solução nutritiva.

Causas de variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	P>F
Dose de B	6	5076,59359	846,09893	4,30	0,0026
Resíduo	33	6486,09359	196,54829		
Total	39	11562,68717			

** - significativo a 1 % de probabilidade; C.V. (%) = 9,69

A 8. Análise de variância para diâmetro basal de plantas de *Eucalyptus citriodora* na época de entrada das doses de boro na solução nutritiva.

Causas de variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	P>F
Dose de B	6	4,87619048	0,81269841	2,55	0,0572 ^{ns}
Resíduo	35	11,14500000			
Total	41	16,02119048			

ns - não significativo à 5 % de probabilidade; C.V.(%) = 3,85

A 9. Análise de variância para diâmetro basal de plantas de *Eucalyptus citriodora* aos 6 meses de cultivo em doses de boro na solução nutritiva.

Causas de variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	P>F
Dose de B	6	39,9633333	6,6605556	3,72	0,0057**
Resíduo	35	62,6350000	1,7895714		
Total	41	102,5983333			

** significativo à 1 % de probabilidade; C.V.(%) = 6,23

A 10. Análise de variância para diâmetro basal de plantas de *Eucalyptus citriodora* aos 8 meses de cultivo em doses de boro na solução nutritiva.

Causas de variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	P>F
Dose de B	6	63,1300000	10,5216667	4,49	0,0018**
Resíduo	35	82,0433333	2,3440952		
Total	41	145,1733333			

** significativo à 1 % de probabilidade; C.V.(%) = 6,61

A 11. Análise de variância para diâmetro basal de plantas de *Eucalyptus citriodora* aos 10 meses de cultivo em doses de boro na solução nutritiva.

Causas de variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	P>F
Dose de B	6	93,5247619	15,5874603	4,87	0,0010**
Resíduo	35	112,0200000	3,2005714		
Total	41	205,5447619			

** significativo à 1 % de probabilidade; C.V.(%) = 7,33

A 12. Análise de variância para diâmetro basal de plantas de *Eucalyptus citriodora* aos 11 meses de cultivo em doses de boro na solução nutritiva.

Causas de variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	P>F
Dose de B	6	89,2111077	14,8685179	4,43	0,0023**
Resíduo	32	107,5166667	3,3598958		
Total	38	196,7277744			

** significativo à 1 % de probabilidade; C.V.(%) = 7,34

A 13. Análise de variância para diâmetro basal de plantas de *Eucalyptus citriodora* aos 14 meses de cultivo em doses de boro na solução nutritiva.

Causas de variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	P>F
Dose de B	6	207,008128	34,501355	11,13	0,0001**
Resíduo	33	102,258750	3,098750		
Total	39	309,266877			

** significativo à 1 % de probabilidade; C.V.(%) = 6,29

A 14. Análise de variância para diâmetro basal relativo de plantas de *Eucalyptus citriodora* em função das doses de boro na solução nutritiva.

Causas de variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	P>F
Dose de B	6	7057,37845	1176,22974	11,66	0,0001**
Resíduo	33	3329,64273	100,89826		
Total	39	10387,02118			

** significativo à 1 % de probabilidade; C.V. (%) = 5,27

A 15. Análise de variância para diâmetro da região mediana de plantas de *Eucalyptus citriodora* aos 11 meses de cultivo em doses de boro na solução nutritiva.

Causas de variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	P>F
Dose de B	6	22,2885808	3,7147635	3,72	0,0062**
Resíduo	33	32,9474167	0,9884066		
Total	39	55,2359975			

** significativo à 1 % de probabilidade; C.V. (%) = 7,52

A 16. Análise de variância para diâmetro da região mediana de plantas de *Eucalyptus citriodora* aos 13 meses de cultivo em doses de boro na solução nutritiva.

Causas de variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	P>F
Dose de B	6	41,6614167	6,9435694	5,97	0,0003**
Resíduo	33	38,3583333	1,1623737		
Total	39	80,0197500			

** significativo à 1 % de probabilidade; C.V.(%) = 7,32

A 17. Análise de variância para diâmetro da região mediana de plantas de *Eucalyptus citriodora* aos 14 meses de cultivo em doses de boro na solução nutritiva.

Causas de variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	P>F
Dose de B	6	68,1143333	11,352389	8,80	0,0001**
Resíduo	33	42,561667	1,2897475		
Total	39	110,676000			

** significativo à 1 % de probabilidade; C.V. (%) = 7,40

A 18. Análise de variância para produção de material seco das folhas superiores de *Eucalyptus citriodora* no final do ciclo, em função das doses de boro na solução nutritiva.

Causas de variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	P>F
Dose de B	6	1854,93238	309,15540	7,43	0,0001**
Resíduo	33	1373,45082	41,61972		
Total	39	3228,38320			

** significativo à 1 % de probabilidade; C.V. (%) = 27,71

A 19. Análise de variância para produção de material seco das folhas inferiores de *Eucalyptus citriodora* no final do ciclo, em função das doses de boro na solução nutritiva.

Causas de variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	P>F
Dose de B	6	1045,92344	174,32057	1,36	0,2613 ^{ns}
Resíduo	33	4243,01130	128,57610		
Total	39	5288,93474			

** não significativo à 5 % de probabilidade; C.V. (%) = 24,37

A 20. Análise de variância para produção de material seco de ramos de *Eucalyptus citriodora* no final do ciclo, em função das doses de boro na solução nutritiva.

Causas de variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	P>F
Dose de B	6	752,118460	125,353077	2,01	0,0930 ^{ns}
Resíduo	33	2062,794450	62,508923		
Total	39	2814,912910			

ns- não significativo à 5 % de probabilidade; C.V. (%) = 27,74

A 21. Análise de variância para produção de material seco do caule de *Eucalyptus citriodora* no final do ciclo, em função das doses de boro na solução nutritiva.

Causas de variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	P>F
Dose de B	6	60679,2194	10113,2032	3,98	0,0042**
Resíduo	33	83829,5107	2540,2882		
Total	39	144508,7302			

** significativo à 1 % de probabilidade; C.V. (%) = 20,44

A 22. Análise de variância para produção de material seco total de *Eucalyptus citriodora* no final do ciclo, em função das doses de boro na solução nutritiva.

Causas de variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	P>F
Dose de B	6	105081,730	17513,622	6,12	0,0002**
Resíduo	33	94459,310	2862,403		
Total	39	199541,040			

** significativo à 1 % de probabilidade; C.V. (%) = 25,52

A 23. Análise de variância para concentração de boro nas folhas superiores *Eucalyptus citriodora* no final do ciclo, em função das doses de boro na solução nutritiva.

Causas de variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	P>F
Dose de B	6	164578,538	27429,756	87,61	0,0001**
Resíduo	33	10331,533	313,077		
Total	39	174910,071			

** significativo à 1 % de probabilidade; C.V. (%) = 22,37

A 24. Análise de variância para concentração de boro nas folhas inferiores de *Eucalyptus citriodora* no final do ciclo, em função das doses de boro na solução nutritiva.

Causas de variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	P>F
Dose de B	6	236096,333	39349,389	42,07	0,0001**
Resíduo	33	30866,645	935,353		
Total	39	266962,978			

** significativo à 1 % de probabilidade; C.V. (%) = 32,07

A 25. Análise de variância para concentração de boro nos ramos de *Eucalyptus citriodora* no final do ciclo, em função das doses de boro na solução nutritiva.

Causas de variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	P>F
Dose de B	6	1355,40833	225,9014	8,92	0,0001**
Resíduo	33	835,56667	25,3202		
Total	39	2190,97500			

** significativo à 1 % de probabilidade; C.V. (%) = 22,65

A 26. Análise de variância para concentração de boro no caule de *Eucalyptus citriodora* no final do ciclo, em função das doses de boro na solução nutritiva.

Causas de variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	P>F
Dose de B	6	985,0083	164,1680	19,99	0,0001**
Resíduo	33	270,9666	8,2111		
Total	39	1255,9750			

** significativo à 1 % de probabilidade; C.V. (%) = 22,88

A 27. Correlações entre a concentração de boro e dos macronutrientes nas folhas superiores, inferiores, ramos e caule.

Macronutrientes (g kg ⁻¹) l)	B(mg kg ⁻¹)			
	Folhas superiores	Folhas inferiores	Ramos	Caule
N	-0,07345 0,6524 ^{ns}	0,13138 0,4191 ^{ns}	-0,2460 0,1246 ^{ns}	-0,12393 0,4461 ^{ns}
P	-0,06088 0,7090 ^{ns}	-0,07670 0,6378 ^{ns}	-0,45469 0,0032**	-0,01497 0,9270 ^{ns}
K	0,68637 0,0001**	0,73213 0,0001**	-0,26592 0,0972 ^{ns}	-0,03624 0,8243 ^{ns}
Ca	-0,14672 0,3663 ^{ns}	0,21662 0,1794	-0,15708 0,3331 ^{ns}	-0,19660 0,2239 ^{ns}
Mg	0,51439 0,0007**	0,46024 0,0028**	-0,19638 0,2245 ^{ns}	-0,11913 0,4645 ^{ns}
S	-0,10570 0,5103 ^{ns}	-0,54670 0,0003**	0,16848 0,3120 ^{ns}	0,55532 0,0002**

ns-não significativo ao nível de 1 % de probabilidade; **- significatvo ao nível de 1 % de probabilidade.

A 28. Correlações entre a concentração de boro e dos micronutrientes nas folhas superiores, inferiores, ramos e caule.

Micronutrientes (mg kg ⁻¹) l)	B(mg kg ⁻¹)			
	Folhas superiores	Folhas inferiores	Ramos	Caule
Cu	-0,56701 0,0001**	-0,30024 0,0598 ^{ns}	0,13353 0,4114 ^{ns}	0,29922 0,0607 ^{ns}
Fe	-0,29459 0,0650 ^{ns}	-0,17298 0,2585 ^{ns}	0,13473 0,4072 ^{ns}	0,28028 0,0798 ^{ns}
Mn	0,0321 0,8439 ^{ns}	-0,15065 0,3535 ^{ns}	-0,44779 0,0038**	0,03089 0,8499 ^{ns}
Zn	-0,01368 0,9332 ^{ns}	-0,07028 0,6665 ^{ns}	-0,11920 0,4638 ^{ns}	0,13960 0,3903 ^{ns}

ns-não significativo; **- significatvo ao nível de 1 % de probabilidade.

A 29. Análise de variância para concentração de potássio nas folhas superiores de *Eucalyptus citriodora* no final do ciclo, em função das doses de boro na solução nutritiva.

Causas de variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	P>F
Dose de B	6	331,391427	55,231904	9,89**	0,0001
Resíduo	33	184,2093333	5,582101		
Total	39	515,600760			

** significativo à 1 % de probabilidade; C.V. (%) = 19,51

A 30. Análise de variância para concentração de potássio nas folhas inferiores de *Eucalyptus citriodora* no final do ciclo, em função das doses de boro na solução nutritiva.

Causas de variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	P>F
Dose de B	6	305,208966	50,808161	21,96**	0,0001
Resíduo	33	76,424833	2,315904		
Total	39	381,633799			

** significativo à 1 % de probabilidade; C.V. (%) = 13,68