

MICRONUTRIENTES EM *PINUS CARIBAEA* MORELET

II. NÍVEIS INTERNOS DE COBRE E BORO SOB SUFICIÊNCIA E SOB OMISSÃO¹

HENRIQUE PAULO HAAG², HERMINIA E.P. MARTINEZ³ e MÁRIO L.T. MORAES⁴

RESUMO - Objetivando determinar os efeitos da omissão no crescimento, nos teores internos, na eficiência do uso de B e Cu em mudas de *Pinus caribaea* var. *hondurensis*, *Pinus caribaea* var. *bahamensis* e *Pinus caribaea* var. *caribaea*, realizou-se um experimento de vasos, em casa de vegetação, em Piracicaba, no Brasil. Usou-se sílica lavada como substrato, irrigando-se as plantas duas vezes ao dia com soluções correspondentes aos tratamentos completos, com omissão de boro e com omissão de cobre. Após o estabelecimento dos sintomas de carência as plantas foram colhidas, separadas em partes, secadas a 75°C, pesadas, moídas e analisadas quanto às concentrações de B e Cu. Obtiveram-se os níveis internos médios desses nutrientes em acúculas superiores, acúculas inferiores, ramos e raízes sob tratamento completo e sob omissão, para as três variedades de *P. caribaea* em estudo. Sob deficiência *P. caribaea* var. *bahamensis* foi a variedade mais eficiente no uso do boro e *P. caribaea* var. *caribaea* e mais eficiente no uso do cobre.

Termos para indexação: *Pinus caribaea*, deficiências minerais, solução nutritiva, sílica lavada.

MICRONUTRIENTS IN CARIBEAN PINE.

II. BORON AND COOPER CORRESPONDING SUFFICIENCY AND DEFICIENCY INTERNAL LEVELS

ABSTRACT - A pot experiment has been conducted in a green house, in Piracicaba, Brazil, in order to determine the effects of B and Cu omission in growth, the corresponding internal levels and the efficiency of that nutrients use for young plants of *P. caribaea* var. *hondurensis*, *P. caribaea* var. *bahamensis* and *P. caribaea* var. *caribaea*. Treatments complete, without boron and without cooper had been employed. Washed sand had been used as substrate, being the plants watered twice a day with the corresponding nutrient solution. After the deficiency symptoms stablishment, the plants had been cut and separated in upper needles, lower needles, branches and roots, dried at 75°C, weighed, ground and analysed for B and Cu concentrations. Upper needles, lower needles, branches and roots mean internal levels of these micronutrients had been obtained in either, complet and deficient treatments. Under deficiency, *P. caribaea* var. *bahamensis* was the most efficient variety in boron use and *P. caribaea* var. *caribaea* the most efficient variety in cooper use.

Index terms: *Pinus caribaea*, micronutrients, nutritional defficiency, nutrient solution, washed sand.

INTRODUÇÃO

Poucos são os trabalhos relacionados à carência de Cu e B em *Pinus caribaea* Morelet, embora problemas dessa ordem tenham aumentado no Brasil à medida que aumentam as

áreas reflorestadas. A maior parte das informações encontradas foram obtidas em outros países, para *P. radiata* D. Don.

Snowdon (1982), em suas revisões sobre a ocorrência de deficiência de B em espécies florestais citando seus trabalhos anteriores, de 1971 e 1973, observou que ela é notável em *Pinus* sp., ocorrendo com freqüência na Tanzânia, Zâmbia, Malásia, Nova Guiné, Nova Zelândia, Brasil e Chile.

Dentre as referências mais antigas à deficiência de B em *Pinus* sp. têm-se as de Will et

¹ Aceito para publicação em 20 de dezembro de 1990

² Dr. Sc., Prof. - Titular, Dep. Química/ESALQ/USP, Caixa Postal 9, CEP 13400 Piracicaba, SP.

³ Dra. Sc., Pós-doutoranda, Dep. Solos/UFV, Viçosa, MG.

⁴ Dr. Sc., Prof. Assistente, FEIS/UNESP, Ilha Solteira, SP.

al. (1963) e de Stone & Will (1965), que a absorveram em plantas adultas de *P. radiata* e *P. pinaster* Ait na Nova Zelândia. Will et al. (1963) verificaram que no distrito de Nelson, árvores nativas dessas espécies com sintomas de deficiência de B continham sempre menos que 15 ppm de B nas acículas, algumas chegando a conter apenas 7 ppm, enquanto que as isentas de sintomas apresentavam sempre teores aciculares acima de 15 ppm. Em Kaiteriteri e Mountere Gravel, em solos de elevada acidez, com teor de matéria orgânica e soma de bases muito baixas, árvores afetadas por sintomas apresentavam menos que 8 ppm de B em acículas do ano sem sintomas. Em acículas de plantas de *P. radiata* e *P. pinaster* não afetadas, os teores médios do elemento foram, respectivamente, 11 e 16 ppm (Stone & Will 1965). Os autores observaram, ainda, grande variação entre as diversas amostras tomadas, o que se deve à imobilidade do B no tecido, que, uma vez acumulado em determinada região, não se desloca para suprir as exigências de crescimento se o suprimento externo for limitado num dado momento. A esse respeito, Sayre (1957), citado por Stone & Will (1965), encontrou teores de B variando entre 11 ppm e 40 ppm em segmentos de uma mesma acícula.

Embora Vail et al. (1961) sugeriram teores aciculares críticos entre 10 e 20 ppm de B para *P. radiata*, Stone & Will (1965) os colocam em torno de 8 ppm e discutem que teores acima de 3 a 4 ppm podem ser suficientes para um desenvolvimento normal se a absorção é ininterrupta ou se a taxa de crescimento é retardada por outros fatores.

Stone et al. (1982) observaram deficiência de B em plântulas de *P. elliotii* Engelm e *P. taeda* (L.) em viveiros do norte da Califórnia. As pontas dos ramos afetados pela deficiência apresentavam, em média, 1,9 ppm de B, e os ramos que brotavam lateralmente abaixo dos meristemas mortos apresentavam concentrações dessa mesma ordem. Nas acículas dos fascículos logo abaixo das regiões de crescimento as concentrações de B variavam entre 1,8 e 4,2 ppm em plântulas danificadas e entre 3,5 e 4,2 ppm nas aparentemente sadias. Mu-

das deficientes foram incapazes de crescer normalmente nos primeiros um ou dois anos após o transplante.

No Brasil, Goor (1965/66) avaliou as relações entre crescimento, local e nutrição em plantios experimentais de *P. caribaea* Morelet var. *hondurensis* Barr & Golf, *P. elliotii*, *P. khasya* Royle e *P. patula* Schiede e Deppe, observando teores aciculares menores que 10 ppm de B em diversos locais, por vezes acompanhados de sintomas de deficiência. Amostras de árvores de *P. caribaea* var. *hondurensis* com sintomas de deficiência apresentaram teores de 6,2 ppm na matéria seca de acículas completamente desenvolvidas, com um ano, situadas no ápice da árvore. Plantas situadas em regiões de precipitação uniformemente distribuída não apresentaram sintomas mesmo com teores de 9,4 ppm na matéria seca.

Snowdon (1982) estudou o efeito da adubação sobre o aparecimento da deficiência de B em plântulas de *P. radiata*. O experimento foi realizado em vasos contendo 18 diferentes tipos de solo ou perlita, sendo os teores de B desses vasos classificados em adequado, marginal ou deficiente. Foram induzidos sintomas em plantas cultivadas em solos deficientes ou com nível marginal, que receberam solução nutritiva completa sem boro. Plântulas com mais de 6 ppm de B na folhagem não mostraram sintomas definidos de deficiência, porém abaixo desse teor, a severidade dos sintomas tendeu a aumentar com o decréscimo nos teores aciculares do elemento. Nos tratamentos não fertilizados e nos fertilizados com solução nutritiva completa contendo B, seu teor nas acículas das pontas dos ramos foi 30% maior que no restante das acículas. Nos tratamentos fertilizados com todos os elementos menos o B, houve 20% menos B nas acículas dos ramos que nas acículas do restante da parte aérea.

Da mesma forma que para o B, os estudos a respeito da nutrição cúprica em *Pinus* sp. praticamente se restringem a observações realizadas em plantas adultas de *P. radiata*.

Segundo Will (1972), árvores de quatro anos de *P. radiata* estabelecidas sobre dunas

arenosas entre Mangawhai Harbour e Rodney Cape, na Nova Zelândia, e que apresentavam sérias anormalidades no crescimento, apresentavam níveis aciculares menores que 1 ppm de Cu. Plantas da mesma idade estabelecidas em áreas adjacentes, em solos podzólicos com 25 ppm de Cu total, não apresentavam crescimento anormal e continham 3 a 4 ppm de Cu na matéria seca. A aplicação de 28 kg/ha de sulfato de cobre reverteu os sintomas e elevou o teor de Cu de 1,6 ppm para 2,9 ppm nas plantas afetadas.

Na Austrália, Ruitter (1969) realizou um experimento de fertilização em uma plantação de *P. radiata* com desenvolvimento anormal. As árvores estavam estabelecidas em solo de areia silicosa, profundo e altamente lixiviado, que apresentava teor baixo de N e muito baixo de P. O teor de Cu nesses solos estava em torno de 2,4 ppm e 3,2 ppm de Cu total, respectivamente nos horizontes A₁ e A₂. O autor empregou calcário agrícola, uréia e superfosfato nas parcelas, e uma mistura dos principais micronutrientes nas subparcelas. Três anos mais tarde, muitas árvores que haviam recebido N, P e micronutrientes, ou N, P, K e micronutrientes continuavam a apresentar desenvolvimento anormal. A análise de acículas mostrou que apenas o teor de Cu poderia estar relacionado às anomalias observadas, apresentando valores sempre menores que 1 ppm na matéria seca. Sua ocorrência mesmo onde o elemento foi adicionado poderia ser atribuída ao rápido crescimento promovido pelo N e pelo P, o que teria tornado a dose aplicada insuficiente para atender a demanda. Will (1972), também na Nova Zelândia, observou que a combinação de Cu com N e P reduziu a eficiência do adubo cúprico. Esse autor apresenta 3 ppm como teor crítico do Cu, salientando que este pode variar com os níveis de outros nutrientes, particularmente N e P. A esse respeito, Marschner (1986) diz que aplicações de N acentuam a deficiência de Cu e que, quando o suprimento de N, é alto, a aplicação de fertilizantes cúpricos é necessária para uma produção máxima. O autor considera que, além do efeito de diluição, o N teria um efeito

específico na disponibilidade e mobilidade do Cu, quer através da complexação do elemento em aminoácido e proteínas de tecidos maduros, quer por redução da sua retranslocação das folhas velhas para as regiões de crescimento, dada pelo atraso na senescência promovido por doses elevadas de N.

No sul da Austrália, Raupach et al. (1972) associaram teores baixos de Cu e altos de Zn na matéria seca de acículas, a distorção moderada dos ramos e teores baixos de Cu e Mn à distorção dos ramos, num povoamento florestal de *P. radiata*. Os teores aciculares de Cu estavam sempre abaixo de 1,85 ppm, sendo este o elemento que apresentou as maiores diferenças na concentração entre plantas com sintoma e sem sintoma. Raupach et al. (1978) observaram que distorção de ramos superiores, acículas amarelas, excesso de brotação lateral e baixa resistência ao vento se associaram, entre outros, a teores menores que 2,3 ppm de Cu na matéria seca das acículas de plantas de *P. radiata* de nove anos de idade em sua segunda rotação. Em plantas sadias, o teor de Cu acicular era o dobro.

Em viveiro, a nutrição cúprica de *P. radiata* foi estudada por Lachica et al. (1979), que concluíram serem as acículas o órgão mais representativo do estado nutricional, apresentando concentrações relativamente estáveis ao longo do ciclo vegetativo da planta no viveiro, e dão como níveis ótimos de Cu para plantas de quatro a cinco meses de idade, 8,14 ppm no ápice, 7,52 ppm em acículas, 7,06 ppm nos ramos e 11,20 ppm na raiz. Em plantas adultas, Knight (1978) e Vidal et al. (1984) observaram grande flutuação nos teores aciculares de Cu ao longo do ano.

Referências à nutrição cúprica em plantas adultas de *P. caribaea* var. *hondurensis* são feitas por Goor (1965/1966) no Brasil. Esse autor avaliou as relações entre crescimento, local e nutrição mineral em plantios experimentais de *P. caribaea* var. *hondurensis*, *P. elliottii*, *P. khasia* e *P. patula* do estado de São Paulo, observando teores semelhantes de Cu em todas essas espécies em nove locais di-

ferentes e, entre 2,5 ppm e 3,0 ppm na matéria seca. Em outros 18 locais em que apenas *P. caribaea* var. *hondurensis* foi avaliado, houve amostras com teores da ordem de 2,7 e 2,8 ppm de Cu. Não havia, entretanto, sintomas visuais de carência, o que foi atribuído à forte deficiência de Mg, que estaria limitando o desenvolvimento das plantas em maior grau.

MATERIAL E MÉTODOS

Os ensaios foram conduzidos em casa de vegetação do Departamento de Química da E.S.A. "Luiz de Queiroz" - USP - em Piracicaba, SP, empregando-se vasos de polietileno de 1,5 l de capacidade, munidos de drenos laterais, contendo sílica finamente moída, previamente submetida a lavagem ácida.

Testaram-se os comportamentos de quatro partes, de três variedades de *Pinus caribaea* submetidas a dois tratamentos nutricionais distintos, em delineamento experimental fatorial $4 \times 3 \times 2$ inteiramente casualizado, com três repetições.

Por ocasião da instalação do experimento, cada vaso recebeu uma muda de 2 a 3 cm de altura de *Pinus caribaea* var. *hondurensis*, *Pinus caribaea* var. *bahamensis* e *Pinus caribaea* var. *caribaea*.

Tais plantas foram irrigadas duas vezes por dia com solução nutritiva de Hoagland & Arnon (1950), modificada quanto à concentração de Fe e diluída a 1:4, sendo o excesso drenado descartado, até seu completo pegamento. Após o pegamento, foi realizada uma irrigação com abundante quantidade de água desmineralizada, encerrando-se o período pré-experimental e, iniciando-se os tratamentos de omissão.

Durante o período experimental, as plantas foram irrigadas duas vezes ao dia com um litro de solução tratamento, preparada com base na solução de Hoagland & Arnon (1950), modificada quanto à concentração de Fe e diluída 1:2, que era recoletada em frasco escuro, cujo volume era completado diariamente com água desmineralizada.

As soluções completas continham 7,5 mM de N, 3 mM de K, 2,5 mM de Ca, 1,0 mM de Mg e S, 0,5 mM de P, 89,62 μ M de Fe, 23,06 μ M de B, 6,29 μ M de Mn, 0,65 μ M de Zn, 0,16 μ M de Cu e 0,05 μ M de Mo por litro, e as dos tratamentos de omissão concentrações idênticas, exceto quanto ao nutriente omitido.

Os tratamentos nutricionais empregados foram: completo/omissão de B e completo/omissão de Cu.

As soluções estoque de macronutrientes, ou seja KH_2PO_4 M, KNO_3 M, $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ M e MgSO_4 M, empregadas para o preparo das soluções nutritivas usadas tanto no período pré-experimental, quanto no período experimental, foram purificadas usando-se amoníopirrolidíaditiocarbamato como complexante de metais pesados, efetuando-se sua extração com clorofórmio, conforme o descrito por Mansell & Emmel (1965).

As plantas submetidas a omissão de B receberam 1 ml de solução de ácido bórico 46,13 mM, 50 dias após o início dos tratamentos, para impedir-lhes a morte prematura.

A colheita foi realizada 167 dias após o início dos tratamentos de omissão, sendo as plantas colhidas divididas em acúsculas superiores, acúsculas inferiores, ramos e raízes, secadas a 75°C, pesadas, moídas e analisadas quanto aos seus teores (ppm) de B e Cu. Calcularam-se, ainda, a extração (μ g) realizada pelas diversas partes das três variedades de *Pinus caribaea* empregadas.

Os dados referentes aos teores e extração de B foram transformados em $\sqrt{x+1}$; os referentes aos teores de Cu, em \sqrt{x} ; e os referentes à extração de Cu, em $\log(x+1)$, submetidos a teste de normalidade (Lilliefors) e de homogeneidade das variâncias dentro de tratamentos, variedades, parte das plantas e repetições (Bartlett).

Foi realizada análise da variância, sendo a interação tripla (T x P x V) confundida com o resíduo. Realizaram-se, em cada caso, os desdobramentos pertinentes, comparando-se as médias pelo teste de Duncan a 5% de probabilidade.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Boro

Para as três variedades, o teor e a extração de B foram maiores no tratamento completo que no tratamento em que o elemento foi omitido ($P = 0,05$, Tabelas 1, 2); os teores médios de B na matéria seca das partes das plantas que receberam solução nutritiva completa estiveram entre 27,72 ppm e 36,75 ppm, enquanto que as plantas submetidas a solução deficiente em B apresentaram teores médios entre 11,25 ppm e 24,58 ppm (Tabela 1). A extra-

ção média por parte esteve entre 125,34 µg e 182,85 µg em plantas sob suficiência, e entre 43,33 µg e 74,04 µg sob omissão de B (Tabela 2). A extração total por planta foi de 731,39 µg de B em *P. caribaea* var. *bahamensis*, 582,87 µg/planta em *P. caribaea* var. *caribaea*, e 501,37 µg/planta em *P. caribaea* var. *hondurensis* sob tratamento completo. Sob omissão, *P. caribaea* var. *hondurensis* extraiu 296,03 µg, *P. caribaea* var. *bahamen-*

sis, 224,03 µg, e *P. caribaea* var. *caribaea*, 173,33 µg de B.

Acúculas superiores de *P. caribaea* var. *hondurensis* apresentaram 30,33 ppm de B na matéria seca sob suficiência, e 15,66 ppm do elemento sob omissão. Nas acúculas inferiores, esses valores foram 40,33 ppm e 22,00 ppm. Plantas de *P. caribaea* var. *bahamensis* bem supridas com B apresentaram 53,33 ppm do nutriente na matéria seca de acúculas superio-

TABELA 1. Teores de boro e cobre (ppm) na matéria seca de três variedades de *Pinus caribaea* sob suficiência e sob omissão desses micronutrientes. Médias de doze repetições. (Teores de boro transformados em $\sqrt{x+1}$, teores de cobre transformados em \sqrt{x}).

Trat./Variedade	<i>hondurensis</i>		<i>bahamensis</i>		<i>cariabae</i>	
Completo	5,22 aB	(27,42) ¹	5,88 aA	(34,83)	6,06 aA	(36,75)
- B	3,74 bB	(13,83)	3,46 bB	(11,25)	4,95 bA	(24,58)
Completo	1,02 aA	(1,27)	0,96 aA	(1,27)	1,13 aA	(1,71)
- Cu	0,79 aA	(0,71)	0,76 aA	(0,67)	0,60 bA	(0,40)

As letras minúsculas referem-se às comparações entre as médias dos tratamentos completo e com omissão de cada micronutriente, duas a duas, dentro de variedades, pelo teste de Duncan ao nível de 5% de probabilidade (colunas).

As letras maiúsculas referem-se a comparações entre as médias das variedades, dentro dos tratamentos pelo teste de Duncan ao nível de 5% de probabilidade (linhas).

Médias seguidas de letras iguais não diferem estatisticamente entre si.

¹ Os números entre parênteses correspondem aos valores reais.

TABELA 2. Extração de boro e cobre (µg) por partes de três variedades de *Pinus caribaea* sob suficiência e sob omissão desses micronutrientes. Médias de doze repetições. (Extração de B transformada em $\sqrt{x+1}$, extração de cobre, transformada em $\log(x+1)$).

Trat./Variedade	<i>hondurensis</i>		<i>bahamensis</i>		<i>cariabae</i>	
Completo	10,94 aB	(125,34) ¹	13,08 aA	(182,85)	11,60 aAB	(145,72)
- B	8,37 bA	(74,01)	7,40 bAB	(56,01)	6,52 bB	(43,33)
Completo	0,71 aA	(6,31)	0,67 aA	(6,70)	0,70 aA	(7,96)
- Cu	0,46 bA	(2,38)	0,25 bB	(0,94)	0,17 bB	(0,51)

As letras minúsculas referem-se às comparações entre as médias dos tratamentos completo e com omissão de cada micronutriente, duas a duas, dentro de variedades, pelo teste de Duncan ao nível de 5% de probabilidade (colunas).

As letras maiúsculas referem-se a comparações entre as médias das variedades, dentro dos tratamentos pelo teste de Duncan ao nível de 5% de probabilidade (linhas).

Médias seguidas de letras iguais não diferem estatisticamente entre si.

¹ Os números entre parênteses correspondem aos valores reais.

res e 34,00 ppm na de acículas inferiores. As mal nutridas apresentaram 8,33 ppm e 16,33 ppm, respectivamente. Para *P. caribaea* var. *caribaea*, os teores de B na matéria seca de acículas superiores e inferiores de plantas sob tratamento completo foram 43,43 ppm e 50,00 ppm. Nas plantas sob omissão do elemento, esses valores caíram para 27,67 ppm e 26,00 ppm (Tabela 3).

A literatura apresenta teores variáveis em plantas de diferentes espécies de *Pinus* deficientes ou bem supridas com B (Will et al. 1963, Stone & Will 1965, Vail et al. 1961, Stone et al. 1982, Goor 1965/66, Hopmans & Flinn 1984, Gonzalez et al. 1984 e Snowdon 1982), embora grande parte dos trabalhos refiram-se a plantas adultas de *Pinus radiata*. De qualquer modo, a maior parte deles dá como limite para a manifestação de sintomas de carência de B teores entre 8 e 20 ppm na matéria seca das acículas, e como teores suficientes, valores mais elevados, o que concorda, em linhas gerais, com os resul-

tados do presente trabalho. Teores da ordem de 4 ppm na matéria seca são referidos, entretanto, em plântulas sadias de *P. elliottii* e *P. taeda* por Stone et al. (1982). Stone & Will (1965) atribuem a pequena correspondência entre o teor interno de B, e a presença de sintomas de carência a imobilidade do B no tecido, que, uma vez acumulado numa determinada região, não se desloca para suprir as exigências de crescimento se o suprimento se tornar limitado. Além disso, o transporte do B é dependente da transpiração, e as relações hídricas no sistema solo-planta-atmosfera afetam sua distribuição nas diversas partes das plantas (Mengel & Kirkby 1982). Sayre (1957), citado por Stone & Will (1965), por exemplo, encontrou teores de B variando entre 11 ppm e 40 ppm em segmentos de uma mesma acícula, e afirmam que o suprimento contínuo é mais importante que o valor absoluto da concentração. No presente trabalho, 50 dias após o início dos tratamentos as plantas receberam 1 ml de ácido bórico 46,13 mM, para impedir-lhes a

TABELA 3. Teores de boro e cobre (ppm), em acículas superiores, acículas inferiores, ramos e raízes de *Pinus caribaea* var. *hondurensis*, *Pinus caribaea* var. *bahamensis* e *Pinus caribaea* var. *caribaea* sob suficiência e sob omissão desses micronutrientes. Médias de três repetições. (Os dados referentes aos teores de B foram transformados em $\sqrt{x+1}$, e os referentes aos teores de Cu, em \sqrt{x}).

Variedade	Parte da planta	+ B		- B		+ Cu		- Cu	
		Valor	(x)	Valor	(x)	Valor	(x)	Valor	(x)
<i>Pinus caribaea</i> var. <i>hondurensis</i>	Ac. superiores	5,50	(30,33) ¹	4,03	(15,66)	1,08	(1,25)	0,57	(0,33)
	Ac. inferiores	6,36	(40,33)	4,74	(22,00)	0,76	(0,58)	0,83	(0,75)
	Caules	4,44	(19,00)	3,19	(9,33)	0,50	(0,25)	0,62	(0,42)
	Raízes	4,57	(20,00)	3,00	(8,33)	1,73	(3,00)	1,14	(1,33)
<i>Pinus caribaea</i> var. <i>bahamensis</i>	Ac. superiores	5,89	(53,33)	3,03	(8,33)	0,77	(0,75)	0,86	(0,83)
	Ac. inferiores	7,36	(34,00)	4,15	(16,33)	0,57	(0,33)	0,57	(0,33)
	Caules	5,29	(27,33)	3,55	(11,67)	0,57	(0,33)	0,50	(0,25)
<i>Pinus caribaea</i> var. <i>caribaea</i>	Raízes	4,99	(24,67)	3,09	(8,67)	1,91	(3,67)	1,09	(1,25)
	Ac. superiores	6,65	(43,43)	5,33	(27,67)	1,15	(1,92)	0,50	(0,25)
	Ac. inferiores	7,13	(50,00)	5,16	(26,00)	0,89	(0,92)	0,50	(0,25)
	Caules	5,86	(33,33)	5,80	(32,67)	0,57	(0,33)	0,57	(0,33)
	Raízes	4,60	(20,33)	3,50	(12,00)	1,91	(3,67)	0,82	(0,75)
C.V. (%)		13,40				33,23			

¹ Os números entre parênteses correspondem aos valores reais.

morte prematura, o que certamente resultou em concentrações finais mais elevadas.

Sob tratamento completo, o teor médio de B em *P. caribaea* var. *hondurensis* foi menor ($P = 0,05$) que o de *P. caribaea* var. *bahamensis* e *P. caribaea* var. *caribaea* (27,42 ppm & 34,83 ppm e 36,75 ppm). Isso pode indicar maior eficiência de *P. caribaea* var. *hondurensis* no uso de suprimento adequado de B, já que a variedade usa menor quantidade do elemento por unidade de matéria seca produzida (Tabela 1).

Sob omissão do nutriente, o teor médio interno em *P. caribaea* var. *caribaea* foi mais elevado ($p = 0,05 - 24,58$ ppm) que em *P. caribaea* var. *hondurensis* e *P. caribaea* var. *bahamensis* (13,63 ppm e 11,25 ppm). Os percentuais de redução nos teores internos quando o elemento foi omitido foram de 33% para *P. caribaea* var. *caribaea*, 50% para *P. caribaea* var. *hondurensis* e 68% para *P. caribaea* var. *bahamensis*. As plantas de *P. caribaea* var. *bahamensis*, que apresentaram o maior percentual de redução no teor interno de B, foram também as que sofreram menor redução no crescimento, evidenciando sua maior eficiência na utilização do elemento sob disponibilidade limitada. Plantas de *P. caribaea* var. *caribaea*, apresentaram menor redução percentual no teor interno de B, porém mantiveram um nível interno elevado, às expensas do desenvolvimento, apresentando reduções médias de 50% na produção de matéria seca, o que evidencia sua menor eficiência no uso de quantidades limitadas de B em relação às duas outras variedades estudadas. Plantas de *P. caribaea* var. *hondurensis*, embora tenham-se mostrado mais eficientes no uso do B quando seu suprimento foi adequado, mostraram eficiência intermediária entre *P. caribaea* var. *bahamensis* e *P. caribaea* var. *caribaea* quando o suprimento do elemento foi limitado. Tais plantas apresentaram grande redução no crescimento em altura (52,9% em relação ao tratamento completo) e sintomas acentuados de carência, ao mesmo tempo que os níveis médios internos caíram de 27,42 ppm para 13,83 ppm de B na matéria seca (Tabela 1).

As extrações médias de B pelas partes das plantas sob tratamento completo levam às mesmas conclusões que as concentrações médias (Tabelas 1 e 2). Sob omissão, plantas de *P. caribaea* var. *hondurensis* extraíram mais B (74 $\mu\text{g}/\text{parte}$ - $p = 0,05$) que plantas de *P. caribaea* var. *caribaea* (43,33 $\mu\text{g}/\text{parte}$), ocupando *P. caribaea* var. *bahamensis* posição intermediária entre estas, sem delas diferir (56,01 $\mu\text{g}/\text{parte}$). Cabe, entretanto, salientar, que apesar da extração semelhante à de *P. caribaea* var. *caribaea*, *P. caribaea* var. *bahamensis* não apresentou sintomas acentuados de carência, mantendo um crescimento quase normal, enquanto que a primeira foi severamente afetada pela omissão. Isso confirma a maior eficiência de *P. caribaea* var. *bahamensis* no uso de quantidades limitadas de B (Tabela 2).

Sob suficiência de B, as acículas superiores apresentaram, em média, 35,89 ppm; as inferiores, 47,89 ppm; os ramos, 25,56 ppm; e as raízes, 21,67 ppm do elemento na matéria seca. Sob omissão, tais valores foram menores ($p = 0,05$), ou seja, 17,22 ppm, 21,44 ppm, 17,89 ppm e 9,67 ppm respectivamente (Tabela 4). A extração média pelas diversas partes também foi menor quando o elemento foi omitido (Tabela 5). Os decréscimos em relação ao tratamento completo em termos percentuais foram da mesma ordem (52% a 55% no teor e 61% a 63% na extração) em todas as partes, exceto nos ramos, que apresentaram decréscimos percentuais menores (33% no teor e 43% na extração, o que evidencia a alocação preferencial do nutriente nesse órgão, quando o suprimento foi limitado, em detrimento da alocação em acículas e raízes. Esse comportamento está de acordo com seu papel na manutenção da atividade meristemática (Gupta 1979), através da síntese de bases nitrogenadas como a uracila, um componente essencial do RNA (Albert 1968). Na ausência de uracila, os ribossomos sequer se formam, comprometendo a síntese de ácidos nucleicos, a formação de ribose e a síntese de proteínas, processos de suma importância nos meristemas. Além disso, o B parece complexar inibidores

da AIA-oxidase, impedindo o acúmulo de AIA nos meristemas e sua conseqüente necrose (Mengel & Kirkby 1982). Por outro lado, também desempenha papel de fundamental importância na lignificação e diferenciação do xilema (Marschner 1986).

Cobre

As plantas de *P. caribaea* var. *hondurensis* apresentaram, em média, 1,25 ppm de Cu na matéria seca de acúsculas superiores, 0,58 ppm na de acúsculas inferiores, 0,25 ppm em ramos e 3,00 ppm em raízes quando submetidas a tratamento completo. Sob omissão, acúsculas

superiores apresentaram 0,33 ppm; acúsculas inferiores, 0,75 ppm; ramos, 0,42 ppm; e raízes, 1,33 ppm de Cu. Em *P. caribaea* var. *bahamensis*, acúsculas superiores, acúsculas inferiores, ramos e raízes apresentaram, respectivamente, 0,75 ppm, 0,33 ppm, 0,33 ppm e 3,67 ppm de Cu na matéria seca sob tratamento completo; sob omissão, esses valores foram 0,83 ppm, 0,33 ppm, 0,25 ppm e 1,25 ppm. Em *P. caribaea* var. *caribaea*, acúsculas superiores apresentaram 1,92 ppm; as inferiores, 0,92 ppm; os ramos, 0,33 ppm; e as raízes, 3,67 ppm de Cu na matéria seca quando receberam solução nutritiva completa. Nas plantas cultivadas em solução nutritiva em que

TABELA 4. Efeito da omissão de boro e cobre, sobre o teor desses micronutrientes (ppm) em acúsculas superiores, acúsculas inferiores, ramos e raízes de três variedades de *Pinus caribaea*, médias de nove repetições. (Os teores de boro foram transformados em $\sqrt{x+1}$, e os de cobre, em \sqrt{x}).

	Ac. superiores		Ac. inferiores		Ramos		Raízes	
Completo	6,01 a	(35,89) ¹	6,95 a	(47,89)	5,20 a	(26,56)	4,72 a	(21,67)
- B	4,13 b	(17,22)	4,68 b	(21,44)	4,18 b	(17,89)	3,20 b	(9,67)
Completo	1,00 a	(1,30)	0,74 a	(0,61)	0,55 a	(0,30)	1,85 a	(3,44)
- Cu	0,64 b	(0,47)	0,63 a	(0,44)	0,56 a	(0,33)	1,02 b	(1,11)

Médias seguidas por letras iguais não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Duncan ao nível de 5% de probabilidade (colunas).

¹ Os números entre parênteses correspondem aos valores reais.

TABELA 5. Efeito da omissão de boro e cobre, sobre a extração desses micronutrientes (μg) por acúsculas superiores, acúsculas inferiores, ramos e raízes de três variedades de *Pinus caribaea* médias de nove repetições. Os dados de extração de boro foram transformados em $\sqrt{x+1}$, e os de extração de cobre, transformados em $\log(x+1)$.

	Ac. superiores		Ac. inferiores		Ramos		Raízes	
Completo	13,18 a	(177,79) ¹	15,22 a	(239,33)	9,03 a	(80,03)	10,06 a	(105,06)
- B	8,12 b	(69,41)	8,61 b	(75,98)	6,86 b	(47,42)	6,13 b	(38,82)
Completo	0,73 a	(7,36)	0,55 a	(3,08)	0,29 a	(1,00)	1,22 a	(16,52)
- Cu	0,31 b	(1,18)	0,24 b	(0,88)	0,13 a	(0,40)	0,49 b	(2,66)

Médias seguidas por letras iguais não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Duncan ao nível de 5% de probabilidade (colunas).

¹ Os números entre parênteses correspondem aos valores reais.

se omitiu o Cu, esses valores foram de 0,25 ppm, 0,25 ppm, 0,33 ppm e 0,75 ppm (Tabela 3).

Embora os teores médios de Cu na matéria seca das diversas partes em que as plantas foram divididas não tenham sofrido alterações muito acentuadas sob omissão do nutriente, excetuando-se o teor nas raízes, a extração foi sempre menor sob insuficiência de Cu. *P. caribaea* var. *hondurensis* teve sua extração reduzida de 25,24 µg/planta para 9,53 µg/planta; *P. caribaea* var. *bahamensis*, de 26,81 µg/planta para 3,77 µg/planta, e *P. caribaea* var. *caribaea* de 31,83 µg/planta, para 2,05 µg/planta (Tabela 6).

As concentrações aqui observadas, tanto sob suficiência quanto sob omissão de Cu, são bem mais baixas que as referidas na literatura, tanto para plantas jovens quanto para plantas adultas de *P. radiata*. Para plantas adultas de *P. radiata* Will (1972) indica 3 ppm de Cu em acúculas como teor crítico, e Lastra et al.

(1988) relatam teores variáveis entre 3 e 6 ppm na matéria seca de partes de *P. radiata* de 2,5 a 9,0 meses de idade, cultivadas em solução nutritiva com 0,3 µM/l do elemento.

A partição do Cu (concentração, extração), tanto sob tratamento completo quanto sob omissão, foi raízes > acúculas superiores > acúculas inferiores > caules. Sob tratamento completo, houve maior retenção de Cu nas raízes (3,44 ppm na MS), reduzindo-se a diferença de concentração, entre esta e as demais partes das plantas sob omissão. Isso mostra que sob carência nutricional, proporcionalmente menos Cu é alocado nas raízes, de modo a preservar, dentro de certos limites, as concentrações na parte aérea. Ainda assim, as raízes apresentaram sempre as maiores concentrações e extrações médias do elemento (Tabelas 4 e 5). A esse respeito, Lastra et al. (1988) observaram que em *P. radiata* a concentração de Cu na matéria seca se reduzia à medida que o órgão se distanciava da solução

TABELA 6. Extração de boro e cobre, (µg) por acúculas superiores, acúculas inferiores, ramos e raízes de *P. caribaea* var. *hondurensis*, *P. caribaea* var. *bahamensis* e *P. caribaea* var. *caribaea* sob suficiência e sob omissão desses micronutrientes. Médias de três repetições. Os dados referentes à extração de B foram transformados em $\sqrt{x+1}$, e os referentes à extração de Cu, em $\log(x+1)$.

Variedade	Parte da planta	+ B		- B		+ Cu		- Cu	
<i>Pinus caribaea</i> var. <i>hondurensis</i>	Ac. superiores	12,93	(167,03) ¹	10,38	(110,00)	0,87	(6,38)	0,38	(1,48)
	Ac. inferiores	12,68	(166,17)	9,89	(96,13)	0,52	(2,33)	0,45	(1,88)
	Ramos	8,17	(68,57)	6,25	(39,80)	0,27	(0,92)	0,26	(0,83)
	Raízes	9,98	(99,20)	6,95	(48,10)	1,20	(15,60)	0,76	(5,33)
	Total		(501,37)		(295,03)		(25,24)		(9,53)
<i>Pinus caribaea</i> var. <i>bahamensis</i>	Ac. superiores	13,63	(189,67)	6,80	(47,50)	0,60	(4,87)	0,38	(1,62)
	Ac. inferiores	17,65	(312,83)	9,19	(84,67)	0,46	(2,00)	0,15	(0,43)
	Ramos	9,87	(96,67)	7,21	(51,33)	0,33	(1,20)	0,05	(0,12)
	Raízes	11,15	(132,23)	6,38	(40,33)	1,28	(18,73)	0,41	(1,60)
	Total		(731,39)		(224,03)		(26,81)		(3,77)
<i>Pinus caribaea</i> var. <i>caribaea</i>	Ac. superiores	12,97	(176,67)	7,19	(50,73)	0,71	(10,83)	0,16	(0,45)
	Ac. inferiores	15,34	(239,00)	6,73	(45,13)	0,67	(4,90)	0,12	(0,33)
	Ramos	9,03	(83,47)	7,11	(50,93)	0,26	(0,87)	0,09	(0,23)
	Raízes	9,05	(83,73)	5,06	(26,53)	1,18	(15,23)	0,30	(1,04)
	Total		(582,87)		(173,33)		(31,83)		(2,06)
C.V. (%)		20,24				44,24			

¹ Os números entre parênteses correspondem aos valores reais.

nutritiva. Esses autores relacionaram a maior retenção de Cu nas raízes e um mecanismo protetor contra o aumento de Cu nas acículas, onde poderia mostrar efeito deletério ao sistema fotossintético. Os autores relatam ainda que o Cu é transportado para as acículas como quelatos de aminoácidos, mas uma grande percentagem é aprisionada nas paredes das células radiculares na forma de complexos multifuncionais com átomos de N, O ou S, como ocorre nas tioneiras de Cu e, em peptídios de metais pesados recentemente descobertos, as fitoquelatinas.

Em acículas superiores e raízes, as concentrações de cobre do tratamento completo foram significativamente maiores que as do tratamento em que o elemento foi omitido ($P = 0,05$). A redução no teor foi de 64% (1,30 e 0,47 ppm) em acículas superiores, e 68% nas raízes (3,44 e 1,11 ppm), enquanto que em acículas inferiores foi de 28%, e em caules manteve-se em valores da mesma ordem (Tabela 4). Desse modo, pode-se inferir que as acículas superiores se prestem bem à diagnose foliar quanto ao Cu, já que apresentam teores sensivelmente menores sob carência do elemento. Lachica et al. (1979) concluíram o mesmo para plantas de *P. radiata*, embora tenham encontrado teores médios aciculares bem mais elevados que os observados no presente trabalho.

O teor médio de cobre na matéria seca das partes em que foram divididas as plantas só foi significativamente diferente ($P = 0,05$) sob suficiência e sob omissão do elemento em *Pinus caribaea* var. *caribaea*, correspondendo a 1,71 ppm sob tratamento completo e a 0,40 ppm quando o nutriente foi omitido (Tabela 1). *P. caribaea* var. *hondurensis* apresentou 1,27 ppm e 0,71 ppm e, *P. caribaea* var. *bahamensis* 0,96 ppm e 0,76 ppm, respectivamente, sob tratamento completo e sob deficiência de Cu. Entretanto, as três variedades apresentaram extrações ($\mu\text{g}/\text{parte}$) significativamente diferentes ($p = 0,05$) sob tratamento completo e sob omissão do elemento (Tabela 2). *Pinus caribaea* var. *hondurensis* extraiu 6,31 μg Cu/parte sob tratamento com-

pleto e 2,38 μg de Cu/parte quando o elemento foi omitido. Isso representa uma queda de 62%. *Pinus caribaea* var. *bahamensis* extraiu 6,70 μg de Cu/parte sob suficiência e 0,94 μg Cu/parte sob insuficiência do elemento, o que representa uma redução de 86% na extração. *P. caribaea* var. *caribaea* extraiu 7,96 μg Cu/parte sob tratamento completo e 0,51 μg Cu/parte sob omissão, apresentando portanto 94% de redução na quantidade de Cu extraída.

Esses comportamentos, associados à sintomatologia, e as alterações na produção de matéria seca apresentadas pelos autores em trabalho anterior, dão uma idéia da eficiência dessas variedades quanto à nutrição cúprica. Os autores observaram que *P. caribaea* var. *hondurensis* foi a primeira a manifestar sintomas visuais de carência de Cu, mas apesar disso apresentou a menor queda na produção de matéria seca, da ordem de 25% a 30%, não diferindo estatisticamente do tratamento completo ($p = 0,05$) quanto a esse parâmetro durante o intervalo experimental. No presente trabalho, essa foi também a variedade que sofreu menor redução na extração sob deficiência de Cu (62%). Embora não tenha apresentado extração significativamente diferente das demais sob tratamento completo, manteve-a em nível mais elevado que as duas outras variedades sob omissão (Tabela 2).

De acordo com Clarckson (1985) as plantas podem apresentar mecanismos de ajuste ao estresse nutricional, de modo a garantir um suprimento mínimo quando a concentração do meio externo se reduz. Fazem parte desses mecanismos de ajuste o aumento na proporção relativa do sistema radicular, ou seja, o aumento na relação raiz:parte aérea, a redução no km (que mede a afinidade entre o íon e seu carregador) e o aumento no número de moléculas do carregador a nível radicular. Neste caso, a parte da planta que sofreu menor redução na produção de matéria seca quando o Cu foi omitido foi o sistema radicular (17% de redução, contra 31% nas acículas e 28% nos ramos). Conseqüentemente, a relação raiz: parte aérea se elevou de 0,297 para 0,378,

o que não exclui a operação concomitante de outros mecanismos. O aumento na eficiência de absorção é evidenciado pela maior extração sob estresse, em comparação com as duas outras variedades.

P. caribaea var. *bahamensis* e *P. caribaea* var. *caribaea* tiveram comportamento semelhante, quer quanto ao teor de Cu na matéria seca, quer quanto à extração, tanto sob tratamento completo quanto sob omissão do Cu (Tabelas 1 e 4). Trabalho anterior mostra uma redução de 62% na produção de matéria seca total por *P. caribaea* var. *caribaea*, e de 72% por *P. caribaea* var. *bahamensis* sob omissão de Cu, enquanto que as reduções nas extrações foram, respectivamente, 94% e 86%. Ao mesmo tempo, *P. caribaea* var. *caribaea* foi a única variedade a apresentar teor médio de Cu significativamente menor ($p = 0,05$) na matéria seca das partes, quando o nutriente foi omitido (Tabela 1). Isso pode indicar que o limite mínimo de Cu para que a atividade metabólica se mantenha inalterada é menor para esta variedade que para as duas outras, o que reflete maior eficiência de utilização sob suprimento externo limitado. *P. caribaea* var. *caribaea* sob estresse nutricional apresentou alterações na relação raiz:parte aérea da mesma ordem que *P. caribaea* var. *hondurensis* (0,356 sob suficiência e 0,447 sob omissão), enquanto que *P. caribaea* var. *bahamensis*, que sofreu maior redução na produção de matéria seca total, não apresentou alterações significativas na concentração interna nem alterou a relação raiz:parte aérea sob insuficiência de Cu (0,337 sob suficiência e 0,328 sob omissão).

Dessa discussão infere-se que *P. caribaea* var. *hondurensis* seria mais eficiente que as demais sob estresse cúprico, devendo-se o fato principalmente à maior capacidade de absorção de quantidades limitadas do nutriente. *P. caribaea* var. *caribaea* e *P. caribaea* var. *bahamensis* parecem ter eficiências semelhantes, com pequena vantagem para a primeira, decorrente da sua maior eficiência de utilização do nutriente em condições de estresse.

CONCLUSÕES

1. Os níveis internos médios de B e Cu na matéria seca de acículas superiores de plantas sadias de *P. caribaea* var. *hondurensis*, *P. caribaea* var. *bahamensis* e *P. caribaea* var. *caribaea* foram 30,33 ppm e 1,25 ppm, 53,33 ppm e 0,75 ppm, e 43,43 ppm e 1,92 ppm, respectivamente.

2. Os níveis internos médios de B e Cu na matéria seca de acículas superiores de plantas neles deficientes foram 15,66 ppm e 0,33 ppm para *P. caribaea* var. *hondurensis*, 8,33 ppm e 0,83 ppm para *P. caribaea* var. *bahamensis*, e 26,67 ppm e 0,25 ppm para *P. caribaea* var. *caribaea*, respectivamente.

3. Os níveis internos médios de B e Cu na matéria seca de acículas inferiores de plantas sadias foram 40,33 ppm e 0,58 ppm para *P. caribaea* var. *hondurensis*, 34,00 ppm e 0,33 ppm para *P. caribaea* var. *bahamensis*, e 50,00 ppm e 0,92 ppm para *P. caribaea* var. *caribaea*, respectivamente.

4. Os níveis internos médios de B e Cu na matéria seca de acículas inferiores neles deficientes foram 22,00 ppm e 0,75 ppm para *P. caribaea* var. *hondurensis*, 16,33 ppm e 0,33 ppm para *P. caribaea* var. *bahamensis*, e 26,00 ppm e 0,25 ppm para *P. caribaea* var. *caribaea*, respectivamente.

5. Sob omissão, *P. caribaea* var. *bahamensis* foi a variedade mais eficiente no uso do B, seguindo-se a ela *P. caribaea* var. *hondurensis* e *P. caribaea* var. *caribaea*. *P. caribaea* var. *hondurensis* foi a mais eficiente no uso do Cu, seguindo-se *P. caribaea* var. *caribaea*, com pequena vantagem em relação a *P. caribaea* var. *bahamensis*.

REFERÊNCIAS

- ALBERT, L.S. Induction and antagonism of boron deficiency symptoms of tomato plants by selected nitrogen bases. *Plant Physiology*. Lancaster, v.43, p.51-54, 1968.
- CLARKSON, D.T. Factors affecting mineral nutrient acquisition by plants. *Annual Review of Plant Physiology*, v.36, p.77-115, 1985.

- GONZALES, C.; KONOW, V.; LACHICA, M. El *Pinus radiata* D. Don en Chile, ensayos de fertilización con cobre y boro. **Anales de Edafología y Agrobiología**. Madrid, v.42, n.9/10, 1599-1613, 1984.
- GOOR, C.P. von. A nutrição de alguns pinheiros tropicais. **Silvicultura em São Paulo**, v.415, n.4, p.313-340, 1965/66.
- GUPTA, U.G. Boron nutrition of crops. **Advances in Agronomy**. New York, v.31, p.273-307, 1979.
- HOAGLAND, D.R.; ARNON, D.I. **The water culture method for growing plants without soil**. California: Agricultural Experimental Station, 1950. (California Agricultural Experimental Station, Circular 347).
- HOPMANS, P.; FLINN, D.W. Boron deficiency in *Pinus radiata* D. Don and the effect of applied boron on height growth and nutrient uptake. **Plant and Soil**. Hague, v.79, p.295-298, 1984.
- KNIGHT, P.J. Foliar concentrations of ten mineral nutrients in nine *Pinus radiata* clones during a 15 month period. **New Zealand Journal of Forestry Science**. Private Bag, v.8, n.3, p.351-367, 1978.
- LACHICA, M.; KOSCHE, P.R.; GONZALEZ, O.C. El *Pinus radiata* D. Don en Chile, determinación de los índices nutritivos óptimos de las plántulas. **Anales de Edafología y Agrobiología**, Madrid, v.38, p.2141-2157, 1979.
- LASTRA, O.; CHUECA, C.; LACHICA, M.; GEORGE, J.L. Root uptake and partition of copper, iron, manganese and zinc in *Pinus radiata* seedlings under different copper supplies. **Plant Physiology**, New York, v.132, p.16-22, 1988.
- MANSELL, R.E.; EMMEL, H.W. Trace metal extractions from brine with APDC and oxine. **Atomic Absorption Newsletter**. Dambury, v.4, n.10, p.365-366, 1965.
- MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. London: Academic Press, 1986. 674p.
- MENGEL, K.; KIRKBY, E.A. **Principles of plant nutrition**. 3. ed. Bern: International Potash Institute. 1982. 655p.
- RAUPACH, M.; CLARKE, A.R.P.; DELLIER, K.M. Disorder symptoms of a forest of *Pinus radiata* in relation to foliar nutrient levels. **Australian Forest Research**, Melbourne, v.8, n.1, p.1-11, 1978.
- RAUPACH, M.; DE VRIES, M.P.C.; RUITER, J.H. A disorder in radiata pine involving micronutrients. in: **AUSTRALIAN FORESTRY TREE NUTRITION CONFERENCE**. Glen Osmond: CSIRO Division of Soils, 1972. p.344-348.
- RUITER, J.H. Suspected copper deficiency in radiata pine (Short Communication). **Plant and Soil**, Hague, v.31, n.1, p.197-200, 1969.
- SNOWDON, P. Diagnosis of boron deficiency in soils by pot experiments with *Pinus radiata*. **Australian Forest Research**, Melbourne, v.12, p.217-229, 1982.
- STONE, E.L.; HOLLIS, C.A.; BARNARD, E.L. Boron deficiency in a Southern pine nursery. **Southern Journal of Applied Forestry**, Melbourne, v.6, n.2, p.108-112, 1982.
- STONE, E.L.; WILL, G.M. Boron deficiency in *Pinus radiata* and *Pinus pinaster*. **Forest Science**, London, v.11, n.4, p.425-433, 1965.
- VAIL, J.W.; PARRY, M.S.; CALTON, W.E. Boron deficiency dieback in pinus. **Plant and Soil**, Hague, v.14, n.4, p.393-398, 1961.
- VIDAL, I.; FERRADA, R.; RIQUELME, E. Evolución estacional de nutrientes en *Pinus radiata* D. Don en Chile. **Turrialba**, Turrialba, v.34, n.3, p.261-266, 1984.
- WILL, G.M. Copper deficiency in radiata pine planted on sands at Mangawhai forest. **New Zealand Journal of Forestry Science**, Rotorua, v.2, n.2, p.217-221, 1972.
- WILL, G.M.; APPLINGTON, E.J.; SLOW, E.J.; STONE, E.L. Boron deficiency - The cause of dieback in pines in the Nelson district. **Research Leaflet**, Rotorua, v.1, p.1-2, 1963.