

UFRRJ
INSTITUTO DE FLORESTAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS
AMBIENTAIS E FLORESTAIS

TESE

**Nutrientes e Fungos Micorrízicos Arbusculares
como Fatores Limitantes ao Crescimento de *Toona*
ciliata M. Roem. var. *australis***

Cristiane Alves Fogaça

2010



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE FLORESTAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS E
FLORESTAIS**

**NUTRIENTES E FUNGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES COMO
FATORES LIMITANTES AO CRESCIMENTO DE *Toona ciliata* M.
ROEM. var. *australis***

CRISTIANE ALVES FOGAÇA

Sob a Orientação do Professor
Paulo Sérgio dos Santos Leles

e Co-orientação dos Professores
Eliane Maria Ribeiro da Silva
Everaldo Zonta

Tese submetida como requisito parcial
para obtenção do grau de **Doutor em**
Ciências, no Programa de Pós-
Graduação em Ciências Ambientais e
Florestais, Área de Concentração em
Conservação da Natureza.

Seropédica, RJ
Março de 2010

585.2

F655n

T

Fogaça, Cristiane Alves, 1977-

Nutrientes e fungos micorrízicos arbusculares como fatores limitantes ao crescimento de *Toona ciliata* M. Roem. var. *australis* / Cristiane Alves Fogaça - 2010.

89 f.: il.

Orientador: Paulo Sérgio dos Santos Leles.

Tese (doutorado) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais e Florestais.

Inclui bibliografia.

1. Cedro - Nutrição - Teses. 2. Micorriza - Teses. 3. Alumínio - Teses. I. Leles, Paulo Sérgio dos Santos, 1966-. II. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais e Florestais. III. Título.

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE FLORESTAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS E
FLORESTAIS

CRISTIANE ALVES FOGAÇA

Tese submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Doutor em Ciências**, no Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais e Florestais, Área de Concentração em Conservação da Natureza.

TESE APROVADA EM: 04/03/2010

Paulo Sérgio dos Santos Leles. Prof. Dr. UFRRJ
(Orientador)

Eduardo Francia Carneiro Campello. Dr. Embrapa Agrobiologia

Eduardo Lima. Prof. Dr. UFRRJ

Haroldo Nogueira de Paiva. Prof. Dr. UFV

Silvia Regina Goi. Prof. Dra. UFRRJ

Dedicatória

*Aos meus pais, Edite e Rubens
Às minhas irmãs, Rô, Lú e Sil
Com todo amor e consideração,*

Dedico.

AGRADECIMENTOS

A DEUS, pela minha saúde e “vida”;

A minha família, pelo apoio nos momentos mais difíceis do meu doutorado;

Ao meu namorado, Marcelo pelo companheirismo e afeto;

Ao meu orientador, Prof. Paulo Sérgio dos Santos Leles, muito mais que um orientador, um amigo;

Aos meus co-orientadores, Profs. Eliane e Zonta pelo apoio, incentivo e pela grande contribuição para a realização desta pesquisa;

Aos professores membros da banca de defesa da tese, pelas argumentações e sugestões que possibilitaram o enriquecimento da tese;

Ao UFRRJ, Instituto de Florestas, pela oportunidade de completar mais uma etapa da minha vida;

A FAPERJ, pela concessão da bolsa;

Aos professores da UFRRJ, em especial aos professores Arimatéa e Lenício, pelas palavras de incentivo nos momentos mais propícios;

A Dra. Inês (*in memoriam*), Diretora do CEBREP, pelo imenso carinho e incentivo;

Aos amigos de Pós-graduação e Graduação, pela amizade, em especial a Ester, Lucila e Rosana;

Aos estagiários do LAPER, pelo apoio na realização desta e de outras pesquisas;

As estagiárias Débora e Karine, pela ajuda durante a realização deste trabalho;

A Embrapa Agrobiologia, Laboratório de Micorrizas, ao Itamar e ao estagiário Rafael, pelo apoio na realização do trabalho;

Aos técnicos do Laboratório de Fertilidade, em especial ao Bruno e Jair, pelo apoio;

Aos funcionários do IF, em especial a secretária da Pós-graduação, Lenice, pelo apoio e incentivo;

Aos colegas de alojamento pela boa convivência, em especial a Flávia e Marcela;

Aos meus médicos, pela enorme contribuição no meu crescimento como ser humano;

Aos amigos de Seropédica, em especial a família do Sr. Barbosa, pela acolhida em seus lares;

A todos enfim que de alguma maneira, positiva ou negativa, colaboraram para a concretização deste trabalho.

RESUMO

FOGAÇA, Cristiane Alves. **Nutrientes e fungos micorrízicos arbusculares como fatores limitantes ao crescimento de *Toona ciliata* M. Roem. var. *australis***. 2010. 79p. Tese (Doutorado em Ciências Ambientais e Florestais). Instituto de Florestas, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2010.

O presente trabalho teve como objetivo avaliar alguns fatores limitantes ao crescimento de *Toona ciliata* M. Roem. var. *australis* (cedro-australiano). No capítulo I, avaliou-se o crescimento de mudas de cedro-australiano inoculadas com fungos micorrízicos arbusculares (FMAs), *Acaulospora laevis*, *A. morrowiae*, *Entrophospora colombiana*, *E. contigua*, *Gigaspora margarita*, *Glomus clarum*, *Scutellospora calospora*, *S. gilmorei*, *S. heterogama* e *S. pellucida*. No capítulo II, foram avaliados os teores e acúmulos de nutrientes em mudas de cedro-australiano, submetidas à solução nutritiva de Hoagland & Arnon modificada, completa, diluída a 1/2 e a 1/4 de força iônica. No capítulo III, verificou-se os sintomas de deficiência de macronutrientes, teores e acúmulos de nutrientes nas plantas de cedro-australiano crescidas em solução nutritiva com omissão de N, P, K, Ca e Mg. No Capítulo IV, observou-se a resposta da espécie estudada na presença de alumínio, empregando tratamentos com solução nutritiva diluída a 1/4 com adição de 5 e 20 mg.L⁻¹ de Al, além de uma testemunha. Entre os fungos micorrízicos arbusculares testados, *A. morrowiae*, *E. contigua* e *S. pellucida* foram os mais eficientes em promover o acúmulo de matéria seca da parte aérea, desenvolvimento da área foliar e teor de fósforo foliar em mudas de *Toona ciliata*, além de apresentarem as maiores densidades de esporos por 50 cm³ de substrato. A maior colonização micorrízica em mudas de *Toona ciliata* foi obtida com a espécie fúngica *S. pellucida*. O comportamento da espécie em resposta ao emprego de soluções nutritivas completas, diluída a 1/2 e 1/4, mostrou que o maior incremento em altura, diâmetro e matéria seca ocorreram em plantas submetidas à solução diluída a 1/4. Os teores e acúmulos de macronutrientes em plantas de cedro-australiano seguiram a seguinte ordem decrescente: N > K > Ca > P > Mg. Com relação à deficiência nutricional, verificou-se que a omissão de K foi a que mais afetou o crescimento em altura. A limitação no crescimento em diâmetro do coleto das plantas ocorreu em todos os tratamentos, com exceção da solução de Hoagland & Arnon. A produção de massa seca total das plantas foi afetada em todos os tratamentos com omissão de nutrientes, obedecendo à seguinte ordem decrescente: Completo > -P > -Mg > -N > -K > -Ca. O crescimento inicial de mudas de *Toona ciliata* é afetado pela omissão de todos os macronutrientes, sendo os sintomas semelhantes com os sintomas de outras espécies da mesma família. Os danos mais intensos e imediatos foram observados na omissão de K e Ca. Assim, a espécie *Toona ciliata* demonstrou ser exigente em macronutrientes na seguinte ordem decrescente: K > N > Mg > Ca > P. A resposta da espécie à presença de alumínio demonstrou que o crescimento, teor e acúmulo de nutrientes em plantas de cedro-australiano foram estimulados na presença de 5mg.L⁻¹ de alumínio. A adição de 20 mg.L⁻¹ de Al reduziu o crescimento das plantas e o acúmulo de macronutrientes, na seguinte ordem decrescente: Ca > Mg > N > P > K. Os sintomas visuais de fitotoxicidade associados à dose de 20 mg.L⁻¹ de Al foram típicos da toxicidade a este elemento, além das folhas apresentarem coloração verde intensa progredindo para o amarelecimento; com a acentuação dos sintomas, as folhas mais velhas progrediram para amarelo-castanho, dos bordos para o centro do limbo e enrolamento ou encurvamento de folhas novas.

Palavras-chave: Nutrição mineral, omissão de nutrientes, diagnose visual, alumínio, micorrizas, cedro-australiano.

ABSTRACT

FOGAÇA, Cristiane Alves. **Nutrients and arbuscular mycorrhizal fungi as factors limiting the growth of *Toona ciliata* M. Roem. var. *australis***. 2010. 79p. Tese (Doctor's degree in Environmental and Forest Sciences). Instituto de Florestas, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2010.

The present study aimed to evaluate some limiting factors to the growth of *Toona ciliata* M. Roem. var. *australis* (Australian red cedar). In chapter I, it was evaluated the growth of *Toona ciliata* seedlings inoculated with arbuscular mycorrhizae fungi (FMAs), *Acaulospora laevis*, *A. morrowiae*, *Entrophospora colombiana*, *E. contigua*, *Gigaspora margarita*, *Glomus clarum*, *Scutellospora calospora*, *S. gilmorei*, *S. heterogama* e *S. pellucida*. In chapter II, it was evaluated the contents and accumulations of nutrients in Australian red cedar seedlings, submitted the complete solution, diluted solution 1/2 and 1/4. In chapter III, it was verified the symptoms of macronutrients deficiency, nutrients contents and accumulations in the Australian red cedar plants submitted the complete solution with omission of N, P, K, Ca and Mg. Chapter IV, it was observed the reply of the species the aluminum presence, using treatments with complete solution diluted the 1/4 with addition of 0, 5 and 20 mg. L⁻¹ de Al. Between AMF tested, *A. morrowiae*, *E. contigua* e *S. pellucida* were most efficient in promoting the accumulation of dry weight of aerial part, development of the area leaf and phosphorous content on leaf in *Toona ciliata* seedlings, beyond presenting the biggest densities of esporos.50 cm⁻³ of substrate. And the biggest incidence of mycorrhizae settling in *Toona ciliata* seedlings was gotten with the species *S. pellucida*. The behavior of the species in reply to the use of nutritional solutions complete and diluted 1/2 and 1/4, showed that the biggest increment in height, diameter and dry weight had occurred in plants submitted at diluted solution the 1/4. The macronutrients contents and accumulations in Australian red cedar plants presented the following decreasing order: N > K > Ca > P > Mg. With regard to nutritional deficiency it verified that the omission of K was the one that more affected the development of the plant in height. The limitation in the increment stem diameter of the plants occurred in all the treatments, with exception of the complete solution. The production of total weight dry of the plants was affected in all the treatments with omission of nutrients, in according the following decreasing order: Complete Solution > - P > - Mg > - N > - K > - Ca. The initial growth of *Toona ciliata* seedlings was affected by the omission of all the macronutrients, having been the similar symptoms with the symptoms of other species of the same family. The immediate damages most intense and had been observed in the omission of K and Ca. Thus, the *Toona ciliata* species demonstrated to be demanding in macronutrients in the following decreasing order: K > N > Mg > Ca > P. The reply of the species the aluminum presence demonstrated that the growth, nutrient content and accumulation in Australian red cedar plants were stimulated in the presence of 5mg.L⁻¹ of aluminum. The addition of 20 mg.L⁻¹ de Al reduced the growth of the plants and macronutrients accumulation, in the following decreasing order: Ca > Mg > N > P > K. The visual symptoms of fitotoxicity had been typical to this element, beyound of the leaf with intense green coloration progressing for the yellow; the leaves oldest had progressed for yellow-brown, the edges to the limb center; and curving of new leaves.

Key words: Mineral nutrition, nutrients omission, visual diagnosis, aluminum, mycorrhizae, australian red cedar.

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO GERAL	1
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	4
CAPÍTULO I – CRESCIMENTO DE MUDAS DE <i>Toona ciliata</i> M. ROEM. var. <i>australis</i> INOCULADAS COM FUNGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES	7
RESUMO	8
ABSTRACT	9
1. INTRODUÇÃO	10
2. MATERIAL E MÉTODOS	11
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	13
4. CONCLUSÕES	18
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	18
CAPÍTULO II – TEORES E ACÚMULOS DE MACRONUTRIENTES EM MUDAS DE <i>Toona ciliata</i> M. ROEM. var. <i>australis</i>	21
RESUMO	22
ABSTRACT	23
1. INTRODUÇÃO	24
2. MATERIAL E MÉTODOS	25
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	27
4. CONCLUSÕES	38
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	38
CAPÍTULO III – DEFICIÊNCIA NUTRICIONAL EM MUDAS DE <i>Toona ciliata</i> M. ROEM. var. <i>australis</i>	40
RESUMO	41
ABSTRACT	42
1. INTRODUÇÃO	43
2. MATERIAL E MÉTODOS	45
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	46
3.1. Avaliações biométricas	46
3.2. Teores e acúmulos de macronutrientes	48
Nitrogênio	48
Fósforo	48
Potássio	49
Cálcio	50
Magnésio	51
3.3. Sintomatologia de deficiência	52
Nitrogênio	52
Fósforo	52
Potássio	53
Cálcio	53
Magnésio	54
4. CONCLUSÕES	54
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	55

CAPÍTULO IV – COMPORTAMENTO DE <i>Toona ciliata</i> M. ROEM. var. <i>australis</i> NA PRESENÇA DE ALUMÍNIO	57
RESUMO	58
ABSTRACT	59
1. INTRODUÇÃO	60
2. MATERIAL E MÉTODOS	62
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	63
4. CONCLUSÕES	74
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	74
CONCLUSÕES GERAIS	78
CONSIDERAÇÕES FINAIS	79

INTRODUÇÃO GERAL

O Brasil conta com 6.583.074 ha de florestas plantadas, entre áreas com pinus, eucalipto e outras espécies. O total destas florestas para o ano de 2008 correspondeu a 28,4% de pinus, 64,7% de eucalipto e 6,9% de outras espécies. Com destaque histórico, as áreas de florestas plantadas no Brasil acumularam em 2008 o total estimado de 6.126.000 ha com eucalipto e pinus. Este total representa um acréscimo de cerca de 282.000 ha plantados em relação ao total estimado do ano anterior (5.844.367 ha). Estes valores apontam um crescimento de 7,3% na área plantada com eucalipto e queda de 0,4% no pinus, o que resultou em aumento de 4,38% da área com florestas plantadas acumulada até 2008, em relação a 2007 (Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas - ABRAF, 2009).

Segundo a Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas - ABRAF (2009), as áreas estimadas de plantios de outras espécies podem chegar a 181.780 ha para acácia, 117.506 ha para seringueira, 80.177 ha para paricá, 58.813 ha para teca e 12.600 ha para araucária. Em 2008, as empresas associadas da ABRAF preservaram aproximadamente 1,67 milhões de hectares de florestas nativas, representando crescimento de 14,4% sobre a área declarada em 2007 (1,46 milhão ha). Este percentual justifica-se principalmente pela aquisição e incorporação de novas áreas bem como pela atualização no georreferenciamento de áreas com florestas nativas, necessário para a legalização e averbação da Reserva Legal dentro das propriedades rurais.

O aumento da demanda de produtos e subprodutos florestais e o aprimoramento das indústrias deste setor têm proporcionado um incremento na produção e cultivo florestal, bem como na pesquisa de novas espécies com maior e melhor potencial produtivo e econômico. Diante desta realidade, o plantio de espécies exóticas tem se destacado, pois o consumo de produtos florestais depara-se atualmente com a problemática da diminuição do fornecimento de matéria-prima para o setor devido às pressões ecológicas visando diminuir a exploração de matas nativas remanescentes.

Entre as espécies com potencial para uso em reflorestamentos no Brasil e que necessitam de maiores estudos, destaca-se *Toona ciliata* M. Roem. var. *australis* (cedro-australiano), pertencente à família Meliaceae. Esta família possui cerca de 51 gêneros e 550 espécies (JUDD et al., 1999), sendo uma das famílias mais importantes de plantas para produção de madeiras nobres, com grande potencial para a silvicultura (PENNINGTON e STYLES, 1975), especialmente no Brasil. A maioria das espécies arbóreas da família Meliaceae encontra-se na região tropical (RIZZINI, 1971; PENNINGTON e STYLES, 1975). O gênero *Toona* é composto por seis espécies, nativas da Ásia e Oceania, *Toona australis*, *Toona calantas*, *Toona ciliata*, *Toona febrifuga*, *Toona sinensis* e *Toona sureni* (JUDD et al., 1999).

No Brasil a espécie, cedro-australiano, é considerada exótica, proveniente de várias regiões da Austrália, apresentando bom crescimento em regiões de 500 a 1.500 m de altitude e com regime pluviométrico de 800 a 1.800 mm.ano⁻¹, suportando entre 2 a 6 meses de estiagem. A temperatura ambiente ideal para o crescimento e desenvolvimento das plantas está em torno de 20 a 26°C, mas a espécie sobrevive a temperaturas mínimas absolutas pouco abaixo de 0°C e tolera geadas leves, de curta duração. As plantas não suportam solos mal drenados, argilosos compactados e nem solos arenosos pobres. Na região da Zona da Mata de Minas Gerais, essa espécie tem se desenvolvido muito bem em solos situados em relevo plano e em declive (BYGRAVE e BYGRAVE, 2005; CEDRO-AUSTRALIANO, 2006).

No Brasil, o cedro-australiano encontrou condições favoráveis ao seu crescimento, que é comparável ao do eucalipto. De acordo com a CIFLORESTAS (2009), a produção esperada para o cedro-australiano é de 250 a 300 m³.ha⁻¹ aos 20 anos, dependendo das condições locais

e nível tecnológico adotado. No Estado do Espírito Santo, estima-se em 400 hectares, a área plantada de cedro-australiano (CREA-ES, 2006).

O crescimento do cedro-australiano na região centro-oeste do Estado de Minas Gerais (Campo Belo, Cristais, Cana Verde, Santo Antônio do Amparo) tem sido alto, aos 4 meses após o plantio as plantas alcançaram 1,20 m. Em Venda Nova do Imigrante (ES), foram observadas plantas com 6 m de altura com idade de 2 anos e 8 meses e plantios com porte médio das árvores de 10 metros de altura, aos 6 anos de idade. A idade ideal de corte do cedro é aos 12 anos, podendo ser antecipada ou adiada, dependendo das condições específicas do povoamento ou da necessidade do produtor (CEDRO-AUSTRALIANO, 2006).

O crescimento rápido do cedro-australiano permite o consórcio com outras atividades. Para a implantação de consórcios ou sistemas agroflorestais (SAFs), é recomendado o espaçamento 8 m x 2 m, que permite a mecanização e aumenta a insolação na área (CEDRO-AUSTRALIANO, 2006).

Sua madeira é considerada uma das melhores da Austrália. Apresenta coloração marrom avermelhada e é de boa durabilidade, de fácil secagem e armazenagem, de fácil desdobro e com odor agradável. Sua madeira é muito parecida com a do cedro brasileiro (*Cedrela fissilis*), nativo do Brasil. É largamente empregada na indústria de contraplacados, compensados, fundos de fórmica, móveis, obras de entalhe e esculturas, janelas e especialmente na fabricação de portas grandes de garagens e de porteiros de pastagens e fazendas por tornarem-se extremamente leves. É empregada ainda na construção naval e aeronáutica, confecção de lápis, produção de caixas de charutos e muitas outras aplicações artísticas como confecção de instrumentos musicais (BYGRAVE e BYGRAVE, 2005; CEDRO-AUSTRALIANO, 2006).

Devido a maior parte das áreas destinadas ao reflorestamento apresentarem solo com baixa fertilidade natural e baixo potencial de inóculo de microrganismos benéficos para as plantas, como os fungos micorrízicos, o conhecimento sobre a capacidade desta e outras espécies em formar simbioses com certos fungos do solo é de fundamental importância para o sucesso do reflorestamento, podendo determinar a necessidade ou não de inoculação das plantas na fase de formação de mudas (JASPER et al., 1991).

De maneira geral, árvores com micorrizas apresentam vantagens em relação àquelas sem micorrizas, sendo capazes de melhor crescimento em solos pobres e maior tolerância às condições ambientais adversas (KRÜGNER, 1982), maior resistência à deficiência de água no solo (BROWNLEE et al., 1983), proteção das raízes contra o ataque de patógenos (SCHENCK, 1981), e maior eficiência na absorção de nutrientes (COOPER, 1984). Além disso, segundo FOGEL (1980) as micorrizas desempenham papel importante na ciclagem de nutrientes em ecossistemas florestais.

Outro aspecto importante relativo às características silviculturais da espécie é a necessidade nutricional, que depende diretamente dos vários fluxos de nutrientes no agroecossistema. Em plantações florestais, a quantidade de nutrientes existente no solo e a exportada durante a colheita florestal são de grande importância na definição do balanço de nutrientes e na eventual necessidade de aplicação de fertilizantes. A quantidade de nutrientes exigida é função dos teores no material vegetal e do total de matéria seca produzida. Como a concentração de nutrientes e a produção de matéria seca variam muito, as exigências nutricionais também variam entre as espécies. A produtividade de espécies arbóreas com alto potencial de crescimento é frequentemente limitada por restrições nutricionais e hídricas, tornando imprescindível para o sucesso da implantação destas espécies em solos marginais, o conhecimento dos seus requerimentos nutricionais, o que permitirá a escolha de espécies adaptadas a ambientes de baixa fertilidade (SANGINGA et al., 1991).

No modo geral, os maiores ganhos de crescimento de espécies florestais têm sido obtidos pela aplicação de fósforo (RESENDE et al., 1999; FERNANDES et al., 2000; RESENDE et al., 2000); contudo, dependendo das condições locais, respostas positivas podem ser obtidas à adubação nitrogenada e potássica (DIAS et al., 1991; VENTURIN et al., 1999; SOUZA et al., 2006). A necessidade de fertilização, em ciclos futuros, pode ser menor se no momento da exploração florestal, deixarem-se na área a casca e os componentes da copa, retirando-se somente a madeira (POGGIANI et al., 1979; PEREIRA et al., 1984; TEIXEIRA, 1987).

Em geral, as espécies florestais apresentam características distintas de comportamento, sobretudo, quanto às exigências nutricionais. O conhecimento do comportamento nutricional peculiar de cada espécie gera maior produtividade, economia e menores impactos ambientais nos plantios florestais.

Além dos elementos essenciais, vem se dando ênfase ao estudo dos efeitos de metais sobre as plantas, tais como o alumínio, que pode interferir na divisão celular das raízes, fixar o fósforo em formas menos disponíveis no solo e/ou nas raízes, causar rigidez nas raízes, além de interferir na absorção, no transporte e na utilização de muitos nutrientes, como cálcio, magnésio, fósforo, potássio e água (KOCHIAN, 1995). Os sintomas de toxicidade de Al também se manifestam na parte aérea, estes são geralmente considerados como uma consequência das lesões do sistema radicular. As respostas mais comuns são, redução da abertura estomática, redução da atividade fotossintética, clorose e necrose foliar. Segundo BASSO et al. (2003), as plantas afetadas pelo Al apresentam sintomas de deficiência de nutrientes, tais com fósforo (P), cálcio (Ca), magnésio (Mg), potássio (K) e molibdênio (Mo), devido à interferência do Al nos processos de absorção, transporte e uso destes nutrientes. A consequência final normalmente é a reduzida biomassa da planta (BISSINI et al., 2006).

As espécies florestais não são contempladas na literatura com grande número de relatos sobre seu comportamento frente ao alumínio, ao contrário das culturas alimentícias anuais (DINIZ e CALBO, 1990; CAMBRAIA et al., 1991; ARAÚJO et al., 1992; HUANG et al., 1992; BASU et al., 1994; BALIGAR et al., 1995; JAN e PETTERSSON, 1995).

Este trabalho teve como objetivo geral avaliar alguns fatores limitantes ao crescimento de *Toona ciliata* M. Roem. var. *australis* (cedro-australiano) em condições controladas. A tese foi dividida em capítulos, onde estudou o crescimento de mudas de cedro-australiano inoculadas com fungos micorrízicos arbusculares (Capítulo I), as exigências nutricionais da espécie a partir do acúmulo de nutrientes nas mudas crescidas em soluções nutritivas (Capítulo II), o crescimento, teor de nutrientes e sintomatologia visual das carências de macronutrientes (Capítulo III) e o comportamento de mudas de cedro-australiano na presença de alumínio (Capítulo IV).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS - ABRAF. Anuário estatístico ABRAF 2009. 2009. 31p. Disponível em: <www.abraf.org.br>. Acesso em: 10 dez 2009.
- ARAÚJO, J.M. de; SANTOS, J.B. dos; RAMALHO, M.A.R.; GUEDES, G.A.A. Controle genético da tolerância do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) às condições dos solos sob vegetação de cerrado. **Ciência e Prática**, Lavras, v.16, n.2, p.189-196, 1992.
- BALIGAR, V.C.; ANGHINONI, I.; PITTA, G.V.E.; SANTOS, H.L. dos; CUNHA FILHO, E.; SCHAFFERT, R.E. Aluminum effects on plant and nutrient uptake parameters of soil and solution grown sorghum genotypes. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v.18, n.11, p.2325-2328, 1995.
- BASSO, L.H.M.; GONÇALVES, A.N.; SILVEIRA, L.V.A.; LIMA, G.P.P. Efeito do alumínio no crescimento de brotações de *Eucalyptus grandis* x *E. urophylla* cultivadas in vitro. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v.63, p.167-177, 2003.
- BASU, A.; BASU, U.; TAYLOR, G.J. Induction of microsomal membrane proteins in roots of an aluminum resistant cultivar of *Triticum aestivum* L. under conditions of aluminum stress. **Plant Physiology**, Washington, v.104, n.3, p.1007-1013, 1994.
- BISSINI, C.A.; MEURER, E.J.; BOHNEN, H. Solos ácidos e afetados por sais. In: MEURER, E.J. **Fundamentos de química do solo**. 3 ed. Editora Evangraf, Porto Alegre, p.181-205, 2006.
- BROWNLEE, C.; DUDDRIDGE, J.A.; MALIBARI, A.; READ, D.J. The structure and function of mycelial systems of ectomycorrhizal roots with especial reference to their role in forming inter-plant connections and providing pathways for assimilate and water transport. **Plant and Soil**, Dordrecht, v.71, p.433-443, 1983.
- BYGRAVE, F.L.; BYGRAVE, P.L. **Growing Australian Red Cedar and Other Meliaceae Species in Plantation**. Canberra: RIRDC, 2005. 69p. Disponível em: <www.rirdc.gov.au/eshop>. Acesso em: 08 ago 2006.
- CAMBRAIA, J.; SILVA, M.A. da; CANO, M.A.O., SANT'ANNA, R. Método simples para a avaliação de cultivares de sorgo quanto a tolerância ao alumínio. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, Campinas, v.3, n.2, p.87-95, 1991
- CEDRO AUSTRALIANO. Disponível em <<http://www.sementesquality.com.br/cedro.html>>. Acesso em: 21 jul 2006.
- CIFLORESTAS. **Cedro-australiano**. Disponível em: <http://www.ciflorestas.com.br/texto.php?p=cedro_australiano>. Acesso em: 07 mar 2009.
- COOPER, K.M. Physiology of VA mycorrhizal associations. In: POWELL, C.L.; BAGYARAJ, D.J. **VA micorrhiza**. Boca Raton: CRC Press, 1984, p.155-80.
- CREA-ES. **Produtor fatura alto com o cedro australiano**. Disponível em: <http://www.creaes.org.br/pag_mostra_noticia.asp?ie=sim&codnot=19074>. Acesso em: 17 jul 2006.
- DIAS, L.E.; ALVAREZ, V.V.H.; BRIENZA JUNIOR, S. Formação de mudas de *Acacia mangium* Will.: resposta a nitrogênio e potássio. **Revista Árvore**, Viçosa, v.15, n.1, p.11-22, 1991.

- DINIZ, V.P.M. de; CALBO, M.E.R. Efeitos da aplicação foliar de fósforo sobre a toxidez de alumínio em plantas de tomate. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, Campinas, v.2, n.2, p.57-61, 1990.
- FERNANDES, L.A.; FURTINI-NETO, A.E.; FONSECA, F.C.; VALE, F.R. Crescimento inicial, níveis críticos de fósforo e frações fosfatadas em espécies florestais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.35, n.6, p.1191-1198, 2000.
- FOGEL, R. Mycorrhizae and nutrient cycling in natural forest ecosystems. **New Phytologist**, v.86, p.199-212, 1980.
- HUANG, J.W.; SHAFF, J.E.; GRUNES, D.L.; KOCHIAN, L.V. Aluminum effects on calcium fluxes at the root apex of aluminum-tolerant and aluminum-sensitive wheat cultivars. **Plant Physiology**, Washington, v.98, n.1, p.230-237, 1992.
- JAN, F.; PETTERSSON, S. Aluminum sensitivity of two upland rice cultivars at various levels on nutrient supply. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v. 18, n. 6, p.1323-1335, 1995.
- JASPER, D.A.; ABBOTT, L.K.; ROBSON, A.D. The effect of soil disturbance on vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi, in soils from different vegetation types. **New Phytologist**, v.118,n.3, p.471-476, 1991.
- JUDD, W.S.; CAMPBELL, C.S.; KELLOGG, E.A.; STEVENS, P.F. **Plant systematics: a phylogenetic approach**. Sunderland: Sinauer. 1999.
- KOCHIAN, L.V. Cellular mechanisms of aluminum toxicity and resistance in plants. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, Palo Alto, v.46, p.237-260, 1995.
- KRÜGNER, T.L. Associações micorrízicas em árvores florestais. **Documentos**. EMBRAPA/URPFCS, v.12, p.67-76, 1982.
- PENNINGTON, J.D.; STYLES, B.T. A serotaxonomic appraisal of Amphipterygium and leitneria: two amentiferous taxa of Rutiflorae (Rosidae). **Systematic Botany**, v.8, p.134-138, 1975.
- PEREIRA, A.R.; ANDRADE, D.C.; LEAL, P.G.L.; TEIXEIRA, N.C.S. Produção de biomassa e remoção de nutrientes em povoamentos de *Eucalyptus citriodora* e *Eucalyptus saligna* cultivados na região do cerrado de Minas Gerais. **Revista Floresta**, Curitiba, v.15, p.8-16, 1984.
- POGGIANI, F.; COUTO, H.T.Z.; SIMÕES, J.W. Aspectos ecológicos das mini-rotações e do aproveitamento dos resíduos florestais. **Circular técnica-IPEF**, Piracicaba, v.74, p.1-7, 1979.
- RESENDE, A.V.; FURTINI-NETO, A.E.; CURI, N.; MUNIZ, J.A.; FARIA, M.R. Acúmulo e eficiência nutricional de macronutrientes por espécies florestais de diferentes grupos sucessionais em resposta à fertilização fosfatada. **Ciência Agrotécnica**, Lavras, v.24, n.1, p.160-173, 2000.
- RESENDE, A.V.; FURTINI-NETO, A.E.; MUNIZ, J.A.; CURI, N.; FAQUIN, V. Crescimento inicial de espécies florestais de diferentes grupos sucessionais em resposta a doses de fósforo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.34, n.11, p.2071-2081, 1999.
- RIZZINI, C.T. **Plantas do Brasil**. Árvores e madeiras úteis do Brasil. Manual de dendrologia brasileira. São Paulo: Editora Edgard Blücher, 1971, 294p.

SANGINGA, N.; GWAJE, D.; SWIFT, M.J. Nutrient requirements of exotic tree species in Zimbabwe. **Plant and soil**, Dordrecht, v.132, p.197-205, 1991.

SCHENCK, N.C. Can mycorrhizae control root disease? **Plant Disease**, v.65, n.3, p.230-234, 1981.

SOUZA, P.A.; VENTURIN, N.; MACEDO, R.L.G. Adubação mineral do ipê-roxo. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v.6, n.3, p.261-270, 2006.

TEIXEIRA, J.L. **Conteúdo de nutrientes e produção de eucalipto em diferentes ambientes do Rio Doce - MG**. 1987. 70p. Dissertação (Mestrado)-UFV, Viçosa, 1987.

VENTURIN, N.; DUBOC, E.; VALE, F.R.; DAVIDE, A.C. Adubação mineral do angico amarelo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.34, n.3, p.441-448, 1999.

CAPÍTULO I

CRESCIMENTO DE MUDAS DE *Toona ciliata* M. ROEM. var. *australis* INOCULADAS COM FUNGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES

RESUMO

O presente capítulo teve como objetivo avaliar o crescimento de mudas de *Toona ciliata* M. Roem. var. *australis* (cedro-australiano) inoculadas com fungos micorrízicos arbusculares. O experimento foi conduzido em casa de vegetação e no Laboratório Micorrizas, da Embrapa Agrobiologia. As plântulas foram mantidas em substrato (45% terra de subsolo; 45% areola; 10% matéria orgânica) previamente esterilizado, submetidas aos seguintes tratamentos: controle (sem inoculação) e inoculação com os fungos micorrízicos, *Acaulospora laevis*; *A. morrowiae*; *Entrophospora colombiana*; *E. contigua*; *Gigaspora margarita*; *Glomus clarum*; *Scutellospora calospora*; *S. gilmorei*; *S. heterogama* e *S. pellucida*. A fim de homogeneizar as condições de todos os tratamentos, foi adicionado um filtrado isento de fungos micorrízicos. Foram avaliados: altura de plantas, diâmetro do coleto, área foliar (AF), peso de matéria seca da parte aérea (MSPA), peso de matéria seca da raiz (MSR), peso de matéria seca total (MST), relação raiz/parte aérea (RPA), teor de fósforo foliar, porcentagem de colonização micorrízica nas raízes e contagem de esporos no substrato. Entre os fungos micorrízicos arbusculares testados, *Acaulospora morrowiae*, *Entrophospora contigua* e *Scutellospora pellucida* foram eficientes em promover o acúmulo de matéria seca da parte aérea, desenvolvimento da área foliar e teor de fósforo foliar em mudas de *Toona ciliata*, além de apresentarem as maiores densidades de esporos por 50 cm³ de substrato, com exceção a *S. pellucida*. A maior colonização micorrízica em mudas de *Toona ciliata* foi obtida com a espécie *Scutellospora pellucida*.

Palavras-chave: Micorrizas, inoculação, cedro-australiano.

ABSTRACT

The purpose of this work was to evaluate the growth of *Toona ciliata* M. Roem. var. *australis* (Australian red cedar) seedlings inoculated with arbuscular mycorrhizal fungi (AMF). The experiment was lead in greenhouse and the Mycorrhiza Laboratory, of the Embrapa Agrobiologia. Seedlings were kept in substrate (40% subsoil land; 40% areola; 20% organic substance) previously esterilized, submitted to the following treatments: control (without inoculation) and inoculation with the AMF, *Acaulospora laevis*; *A. morrowiae*; *Entrophospora colombiana*; *E. contigua*; *Gigaspora margarita*; *Glomus clarum*; *Scutellospora calospora*; *S. gilmorei*; *S. pellucida* and *S. heterogama*. In order to become homogeneous the conditions of all the treatments, were added one filtered exempt of AMF. It was evaluated: plant height, stem diameter to the level of the ground, leaf area, dry weight of the aerial part, root and total, relation root/aerial part, phosphorus content, root colonization and spore density in the substrate. Between AMF tested, *Acaulospora morrowiae*, *Entrophospora contigua* and *Scutellospora pellucida* were most efficient in promoting the accumulation of dry weight of aerial part, development of the area leaf and phosphorous content on leaf in *Toona ciliata* seedlings, beyond presenting the biggest spore densities per 50 cm³ of substrate, with exception the *S. pellucida*. The biggest incidence of AMF in *Toona ciliata* seedlings was gotten with *Scutellospora pellucida*.

Key words: Mycorrhizae, inoculation, australian red cedar.

1. INTRODUÇÃO

Florestas tropicais apresentam uma ampla diversidade de espécies vegetais e estrutura de comunidades complexas (READ, 1994). Nos últimos anos, tem havido um crescente interesse no estudo de micorrizas arbusculares associadas a espécies tropicais (ZANGARO et al., 2002; MUTHUKUMAR et al., 2003; SUMANA e BAGYARAJ, 2003; TAWARAYA et al., 2003; POUYU-ROJAS et al., 2006; ROCHA et al., 2006; SHI et al., 2006; VENKATESWARLU et al., 2008).

Para a ocorrência de determinada associação micorrízica, há a necessidade de que o fungo e a planta sejam compatíveis, envolvendo mecanismos de reconhecimento. Nesta associação também ocorre uma íntima interação entre os parceiros, apresentando uma perfeita integração morfofisiológica, resultando em uma alta compatibilidade funcional. Segundo GIANINAZZI-PEARSON et al. (1989) a onipresença de micorrizas num grupo de plantas sugere que as plantas desenvolveram sistemas de compatibilidade específicos que permitem o desenvolvimento controlado do fungo ou o fungo, de algum modo, evita ou não desencadeia os mecanismos de defesa do hospedeiro.

Em um levantamento de artigos publicados, WANG e QIU (2006) relataram sobre o status micorrízicos de 3.617 espécies de 263 famílias de plantas, sendo que 80% das espécies registradas e 92% das famílias distribuídas em quatro grupos (angiospermas, gimnospermas, pteridófitas e briófitas) eram micorrizadas, sendo estas porcentagens diferentes entre os grupos. Em angiospermas, a maioria das espécies de plantas de maior ocorrência e o grupo dominante na maioria das comunidades de plantas, 85% das espécies e 94% das famílias eram micorrízicas. Esses números são similares aos relatados por TRAPPE (1987), cujo estudo incluiu mais do que duas vezes o que foi utilizado nesse trabalho, onde o mesmo relatou que em se tratando de espécies tropicais, 13,4% das espécies não são micorrizadas, 70,9% formam micorrizas arbusculares (MAs) e 15,7% formam outros tipos de simbiose radicular com os fungos.

Diferentes espécies de fungos micorrízicos arbusculares (FMAs) devem ser testadas em uma mesma planta, sob as mesmas condições ambientais, para selecionar os FMAs eficientes quanto à capacidade de promover o crescimento de seu hospedeiro (PAULA et al., 1990; SAGGIN-JÚNIOR e SIQUEIRA, 1995).

SUMANA e BAGYARAJ (2003) avaliaram o crescimento de mudas de *Azadirachta indica* (nim-indiano) com a inoculação de fungos micorrízicos, *Glomus geosporum*, *G. deserticola*, *G. fasciculatum* e *G. mossae*. Estes autores verificaram maiores altura de planta, diâmetro do coleto, biomassa e teor de fósforo em mudas de *Azadirachta indica* com a inoculação de *Glomus mossae*. Em outro trabalho com a mesma espécie, VENKATESWARLU et al. (2008) verificaram maior incremento em altura, matéria seca, colonização da raiz e aumento nos teores de fósforo em mudas inoculadas com *Glomus fasciculatum* e *G. mossae*.

POUYU-ROJAS et al. (2006) verificaram que as espécies de fungos que beneficiaram a produção de matéria seca de cedro (*Cedrela fissillis*), foram a *Scutellospora pellucida*, *Entrophospora colombiana* e *Glomus clarum*, sendo que destas espécies, a última favoreceu a absorção de fósforo. Resultados semelhantes foram obtidos por ROCHA et al. (2006), que observaram que o fungo micorrízico *G. clarum* foi categorizado como de alta eficiência em promover o crescimento do cedro. Essa categorização de ROCHA et al. (2006) é relativa e se baseia na comparação entre os FMAs testados, o que não significa que um dos FMAs categorizados como de baixa eficiência não seja o mais eficiente, em comparação a outros fungos não testados, ou em outra situação com outras espécies vegetais. Com relação ao efeito dos fungos nos teores de nitrogênio e potássio, o cedro respondeu positivamente à

Scutellospora pellucida, *Acaulospora scrobiculata*, *Entrophospora colombiana*, *Gigaspora gigantea* e *Glomus clarum* (POUYU-ROJAS et al., 2006).

ROCHA et al. (2006), observaram ainda que a economia na fertilização fosfatada da muda de cedro, promovida por *G. clarum* foi de 37% em relação aos demais fungos micorrízicos arbusculares, e de 63% em relação à testemunha sem inoculação.

Com relação à incidência de colonização ZANGARO et al. (2002), observaram que as espécies *Cedrela fissillis* (cedro-rosa), *Guarea kunthiana* (figo-do-mato), *Trichilia casaretti* C. DC. (catiguá-vermelho) e *Trichilia clausenii* (catiguá), todas pertencentes à família Meliaceae, apresentaram incidência de colonização de FMAs, baixa (20-39%), em casa de vegetação e muito baixa (1-19%) no campo.

Ao contrário deste resultado, CARNEIRO et al. (1998), verificaram alta (>50%) incidência de micorrizas em cedro, tanto em condição de viveiro como em casa-de-vegetação. Para as espécies *Melia azedarach* (cinamomo) e *Carapa guianensis* (andiroba), em condições de viveiro, observaram baixa (1-19%) e média (20-49%) incidência de colonização radicular, respectivamente. MUTHUKUMAR et al. (2003), verificaram que a porcentagem de colonização radicular na espécie florestal *Azadirachta indica* (nim-indiano) foi muita elevada (70%) e para *Melia azedarach* foi moderada (30%).

SHI et al. (2006) realizaram uma investigação sistemática de micorrizas arbusculares em espécies da família Meliaceae, na ilha tropical de Hainan, China. Os autores observaram que todas as plantas investigadas, 28 táxons (25 espécies, incluindo duas variedades de uma espécie e três variedades de outra) foram colonizadas por fungos; no entanto, houve diferenças significativas entre as diferentes plantas hospedeiras. A porcentagem média do comprimento de raízes colonizadas foi de 55,5% e variou de 10% em *Trichilia sinensis* a 95% para *Khaya senegalensis*. Ainda, segundo estes autores, a densidade de esporos na rizosfera de plantas da família Meliaceae variou de 46 a 1.322 por 100 g de solo, com uma média de 322. Os autores observaram diferenças significativas, verificando maior densidade de esporos de fungos na rizosfera de *Trichilia sinensis*, e a menor densidade de esporos em amostras de rizosfera de *Toona microcarpa*. Neste mesmo trabalho foram observados 33 táxons representando cinco gêneros de fungos nas amostras das 28 espécies de Meliaceae e variedades. Entre eles, 24 (73%) foram identificados em nível da espécie e 9 (27%) em nível do gênero. Dos 33 táxons, 9 pertenciam ao gênero *Acaulospora*, 1 a *Entrophospora*, 18 a *Glomus*, 2 a *Gigaspora* e, 3 a *Scutellospora*. Esporos do gênero *Glomus* foram os mais numerosos, tanto na abundância relativa como na frequência de ocorrência, seguido do segundo gênero mais dominante, *Acaulospora*.

Diante do exposto, este capítulo objetivou avaliar o crescimento de mudas de *Toona ciliata* var. *australis* inoculadas com fungos micorrízicos arbusculares.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em casa de vegetação e avaliado no Laboratório de Micorrizas, da Embrapa Agrobiologia, no período de julho de 2008 a janeiro de 2009, em Seropédica, RJ. Foram utilizadas sementes de *Toona ciliata* coletadas pela Sociedade de Investigação Florestal (SIF), no Município de Senhora de Oliveira, MG, a 20°47'38" de latitude Sul, 43°20'40" longitude Oeste e aproximadamente 750 m de altitude.

Inicialmente, efetuou-se a esterilização do substrato a ser empregado, cuja composição foi 45% argila, 45% areia e 10% matéria orgânica. A autoclavagem foi realizada duas vezes consecutivas, em autoclave a 120°C por 1 hora, sob pressão relativa de 1 atm. O substrato permaneceu em repouso por 40 dias. O substrato apresentou as seguintes características

químicas originais: pH em água = 6,6; P = 8,0 mg dm⁻³ (Mehlich-1); K = 15,0 mg.dm⁻³; Ca = 4,0 cmol_c.dm⁻³; Mg = 3,1 cmol_c.dm⁻³; H+Al = 0,7 cmol_c.dm⁻³ e MO = 32,1 g.kg⁻¹.

Após este período, realizou-se a implantação do experimento, onde foram utilizados tubetes de 300 cm³ acoplados em copos plásticos de 700 cm³. Os inóculos foram obtidos na coleção de fungos micorrízicos da Embrapa Agrobiologia (CNPAB), Seropédica, RJ.

Cada tratamento consistiu de cinco repetições, sendo eles:

1. Controle (sem inoculação);
2. Inoculação com *Acaulospora laevis* Gerdemann & Trappe (IES-35);
3. Inoculação com *Acaulospora morrowiae* Spain & Schenk (CNPAB-019);
4. Inoculação com *Entrophospora colombiana* Spain & Schenck (CNPAB-015);
5. Inoculação com *Entrophospora contigua* INVAM (IES-48);
6. Inoculação com *Gigaspora margarita* Becker & Hall (CNPAB-001);
7. Inoculação com *Glomus clarum* Nicolson & Schenck (CNPAB-005);
8. Inoculação com *Scutellospora calospora* (Nicol. & Gerd.) Walker & Sanders (CNPAB-038);
9. Inoculação com *Scutellospora gilmorei* (Trappe & Herd.) Walker & Sanders (CNPAB-013);
10. Inoculação com *Scutellospora heterogama* (Nicol. & Gerdemann) Walker & Sanders (CNPAB-002);
11. Inoculação com *Scutellospora pellucida* (Nicol. & Gerdemann) Walker & Sanders (CNPAB-029).

A inoculação foi realizada antes da semeadura, adicionando no centro de cada recipiente 3 mL de cada inóculo misto, constituído de esporos, raízes e hifas. A semeadura foi realizada colocando cinco sementes em cada recipiente. Previamente, as sementes foram desinfestadas em hipoclorito de sódio 1%, por 5 minutos, em seguida lavadas em água destilada e colocadas para secar em papel filtro. Finalizando esta etapa, efetuou-se a irrigação. Após 30 dias da emergência das plântulas, efetuou-se o raleio mantendo apenas uma planta por recipiente.

A fim de possibilitar a homogeneização das condições de microbiota de todos os tratamentos, foi feito no Laboratório de Micorrizas, um filtrado isento de fungos micorrízicos, onde em 1000 mL de água destilada foram adicionados 3 mL de cada inóculo misto e misturados com auxílio de um liquidificador. Este material foi peneirado e posteriormente filtrado com auxílio de papel-filtro. O material resultante foi adicionado em todos os recipientes na quantidade de 10 mL.

Aos 90 e 120 dias após a emergência das plântulas (DAE) foi adicionado em cada recipiente 10 mL de solução nutritiva completa de Hoagland & Arnon modificada (PELLICER et al., 1995), com omissão de fósforo.

Procurando melhor evidenciar a importância das micorrizas no desenvolvimento do cedro-australiano, foram avaliados mensalmente, a partir de 30 dias da emergência das plântulas (DAE), altura de plantas e diâmetro do coleto, com auxílio de régua graduada e paquímetro, respectivamente. No final do experimento, aos 150 dias após a emergência, determinou-se o peso de matéria seca da parte aérea (MSPA), peso de matéria seca da raiz (MSR), peso de matéria seca total (MST), relação raiz/parte aérea (RPA), área foliar (aparelho de determinação da área foliar tipo LI-COR 3100), teor de P foliar, porcentagem de colonização micorrízica nas raízes finas (≤ 1 mm de diâmetro) e contagem de esporos no substrato.

O teor de fósforo foliar foi determinado após as amostras terem sido secas em estufa de ventilação forçada, a uma temperatura de aproximadamente 65°C, por 72 horas. A seguir, o material foi pesado para determinação da matéria seca, moído em moinho tipo Willey, passado em peneira de 20 mesh e armazenado em frascos hermeticamente fechados. Após o

material ser submetido à oxidação pela digestão sulfúrica, o P foi determinado segundo prescrição de TEDESCO et al. (1995).

Avaliou-se a colonização micorrízica nas raízes, retirando-se amostras de 1 g de raízes frescas, submetidas a clarificação e coloração (KOSKE e GEMMA, 1989; GRACE e STRIBLEY, 1991). A quantificação micorrízica foi feita dispondo-se segmentos de raízes em lâminas e observando-os no microscópio, computando-se a presença ou não de estruturas fúngicas. Para a categorização quanto à colonização a espécie foi classificada em muito alta (> 80%), alta (60 – 79%), média (40 – 59%), baixa (20 – 39%), muito baixa (1 – 19%), Au = ausente (ZANGARO et al., 2002). Para a contagem de esporos no substrato utilizado foram retiradas amostras de aproximadamente 50g para cada tratamento, submetidos a associação dos métodos de decantação e peneiramento úmido (GERDEMANN e NICOLSON, 1963) e de centrifugação e flutuação em sacarose (JENKINS, 1964). A quantificação foi realizada em placas de acrílico com anéis concêntricos, sob microscópio estereoscópico (40x).

O delineamento experimental foi em blocos casualizados e os dados obtidos foram submetidos à análise de variância, e quando detectadas significâncias, as médias foram comparadas pelo teste de Duncan, a 5% de probabilidade.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Através dos resultados apresentados na Tabela 1, observou-se que não houve diferença significativa entre os tratamentos nas diferentes épocas de avaliação. A partir das médias gerais dos tratamentos dentro de cada época de avaliação, observou-se que a partir dos 120 dias após a emergência das plântulas (DAE) não houve crescimento em altura. Para o cedro-australiano não houve uma espécie de fungo micorrízico que favorecesse o crescimento em altura.

Tabela 1. Altura de mudas (cm) de *Toona ciliata* com inoculação de diferentes fungos micorrízicos arbusculares, em diferentes épocas de avaliação, dias após a emergência de plântulas, em casa de vegetação. Embrapa Agrobiologia, Seropédica, RJ

Tratamento	Época de avaliação (DAE)				
	30 ⁽¹⁾	60	90	120	150
Controle	6,0	9,8	10,8	11,5	12,0
<i>A. laevis</i>	6,2	9,2	10,2	10,3	10,5
<i>A. morrowiae</i>	6,5	10,9	12,0	12,4	12,5
<i>E. colombiana</i>	6,0	8,9	9,8	10,0	10,2
<i>E. contigua</i>	7,5	10,6	11,5	11,9	12,1
<i>G. margarita</i>	6,7	9,3	10,5	10,9	11,2
<i>G. clarum</i>	5,6	9,1	10,4	10,6	10,8
<i>S. calospora</i>	7,5	10,3	10,4	10,9	11,2
<i>S. gilmorei</i>	7,1	10,5	11,3	11,6	11,7
<i>S. heterogama</i>	7,8	10,4	10,7	11,0	11,1
<i>S. pellucida</i>	8,2	10,7	11,0	11,5	11,8
Média	6,8 D	10,0 C	10,8 B	11,1 AB	11,4 A

⁽¹⁾ Médias seguidas pela mesma letra, na linha, não diferem entre si pelo teste de Duncan, a 5%.

CV (%) = 12,7

Em trabalho desenvolvido por ROCHA et al. (2006), observaram que os benefícios da inoculação sobre a altura de plantas de cedro foram observados com a inoculação com *G. clarum* e *G. margarita*. Para o nim-indiano (*Azadirachta indica*), SUMANA e BAGYARAJ

(2003) observaram maior incremento em altura em mudas inoculadas com *Glomus mossae*. Em outro trabalho com a mesma espécie, VENKATESWARLU et al. (2008) verificaram maior incremento em altura com a inoculação com *Glomus fasciculatum* e *G. mossae*.

O desenvolvimento em diâmetro foi crescente nas épocas de avaliação, observando-se os maiores valores na última avaliação, aos 150 DAE (Tabela 2). Para esta variável não foram observadas diferenças significativas entre os tratamentos nas diferentes épocas de avaliação.

Estes resultados demonstram que algumas espécies de FMAs tem maior capacidade de se estabelecerem e beneficiarem a planta hospedeira, em relação a outras que podem ser menos eficientes, o que não foi observado para a espécie estudada nestas variáveis.

Tabela 2. Diâmetro do coleto (mm) de plantas submetidas ou não à inoculação com fungos micorrízicos em diferentes épocas de avaliação, dias após a emergência de plântulas, em casa de vegetação. Embrapa Agrobiologia, Seropédica, RJ

Tratamento	Época de avaliação (DAE)				
	30 ⁽¹⁾	60	90	120	150
Controle	1,88	3,21	5,09	6,34	6,76
<i>A. laevis</i>	1,95	3,26	5,14	6,58	6,65
<i>A. morrowiae</i>	1,97	3,31	5,37	6,62	7,00
<i>E. colombiana</i>	1,96	3,43	5,18	6,34	6,78
<i>E. contigua</i>	1,99	3,67	5,48	7,03	7,34
<i>G. margarita</i>	1,92	3,31	4,96	6,56	6,84
<i>G. clarum</i>	1,80	3,11	4,99	6,40	6,80
<i>S. calospora</i>	2,17	3,70	5,51	6,35	6,58
<i>S. gilmorei</i>	2,10	3,50	5,13	6,19	6,71
<i>S. heterogama</i>	2,31	3,92	5,55	6,66	7,09
<i>S. pellucida</i>	2,39	3,61	5,41	6,49	6,75
Média	2,04 E	3,46 D	5,25 C	6,51 B	6,85 A

⁽¹⁾ Médias seguidas pela mesma letra, na linha, não diferem entre si pelo teste de Duncan, a 5%.
CV (%) = 11,20

Na Figura 1 estão apresentadas fotografias dos tratamentos sem e com inoculação de fungos micorrízicos arbusculares, retiradas durante a última avaliação (150 dias), a fim de possibilitar uma comparação visual dos diferentes tratamentos.

Na Figura 2, os tratamentos que proporcionaram maior produção de matéria seca da parte aérea (caule e folhas) foram os inoculados com *A. morrowiae*, *E. contigua*, *S. heterogama* e *S. pellucida* em relação aos tratamentos com inoculação de *A. laevis*, *G. clarum* e *S. calospora*. Com relação à matéria seca da raiz e matéria seca total, não foram observadas diferenças significativas entre os tratamentos e o controle; o mesmo ocorreu na relação raiz/parte aérea.

Em mudas de cedro, POUYU-ROJAS et al. (2006), verificaram que as espécies de fungos que beneficiaram a produção de matéria seca, foram a *S. pellucida*, *E. colombiana* e *G. clarum*. Assim, comparando as duas espécies da mesma família, observa-se que o FMA *S. pellucida* possibilitou o maior incremento de matéria seca em ambas.

Com relação a matéria seca, SUMANA e BAGYARAJ (2003) e VENKATESWARLU et al. (2008) verificaram que os fungos micorrízicos da espécie *Glomus* beneficiaram a produção de matéria seca de mudas de *Azadirachta indica*.

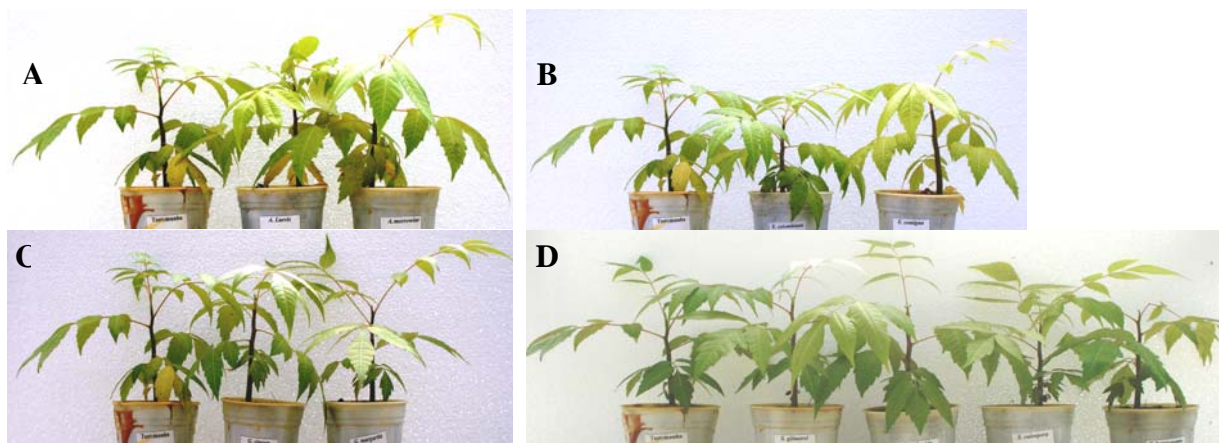


Figura 1. Fotografias retiradas aos 150 dias após a emergência de plântulas, comparando as plantas submetidas ao tratamento sem inoculação com as inoculadas com FMAs, em casa de vegetação. Embrapa Agrobiologia, Seropédica, RJ. A – testemunha, *A. laevis*, *A. morrowiae* (da esquerda para a direita), B - testemunha, *E. colombiana*, *E. contigua*, C - testemunha, *G. clarum*, *G. margarita*, D - testemunha, *S. calospora*, *S. gilmorei*, *S. heterogama*, *S. pellucida*.

A relação raiz/parte aérea apresentou resultados considerados elevados entre 1,36 (*E. contigua*) e 2,23 (*S. calospora*), observando que apesar de não ser observada diferença significativa entre os tratamentos, ambos possibilitaram maior desenvolvimento radicular. Ao contrário, MUTHUKUMAR et al. (2001) relataram que a associação micorrízica reduziu a relação raiz/parte aérea, como observado no trabalho realizado com o nim-indiano. Porém, HETRICK (1991) relatou que as relações raiz/parte aérea são reduzidas pela aplicação de nutrientes, assim o efeito das micorrizas é provavelmente nutritivo.

As espécies de FMAs *A. morrowiae*, *E. contigua* e *S. pellucida* proporcionaram às mudas maior crescimento em área foliar em relação aos tratamentos com inoculação de *A. laevis*, *E. colombiana*, *G. clarum* e *S. calospora*, resultados semelhantes ao peso de matéria seca da parte aérea. O aumento da área foliar de plantas inoculadas com fungos micorrízicos provavelmente ocorre devido ao teor de fósforo foliar (KOIDE e LI, 1989). Sendo observado que o maior teor de fósforo foliar correspondeu a duas espécies que possibilitaram maior incremento em área foliar, *A. morrowiae* e *S. pellucida*.

POUYU-ROJAS et al. (2006), observaram que o teor de fósforo foliar em mudas de cedro foi favorecida pelo FMA *G. clarum*. Para *Azadirachta indica*, os maiores teores de fósforo foliar foram observados quando as plantas foram inoculadas com *Glomus intraradices* (PHAVAPHUTANON et al., 1996), *Glomus mossae* (SUMANA e BAGYARAJ, 2003) e *Glomus fasciculatum* e *G. mossae* (VENKATESWARLU et al., 2008).

As mesmas espécies que possibilitaram maior incremento em crescimento do cedro-australiano foram as que apresentaram maior densidade de esporos no substrato, *A. morrowiae* (11982 esporos.50 cm⁻³) e *E. contigua* (7631 esporos.50 cm⁻³), como pode ser observado na Tabela 3. Também observou-se a ausência de esporos de *A. laevis*, *E. colombiana* e *G. margarita*. Em trabalho de SHI et al. (2006), a densidade de esporos na rizosfera das espécies da família Meliaceae, variou de 46 a 1322 esporos.100 g⁻¹ de solo, com uma média de 322 esporos.100 g⁻¹ de solo. A densidade de fungos na rizosfera de *Trichilia sinensis* foi mais elevada e as menores densidades de esporos foram observadas em amostras de rizosfera de *Toona microcarpa*. Para outra espécie do gênero, *Toona sinensis* a densidade de esporos foi maior, 526 esporos.100 g⁻¹ de solo.

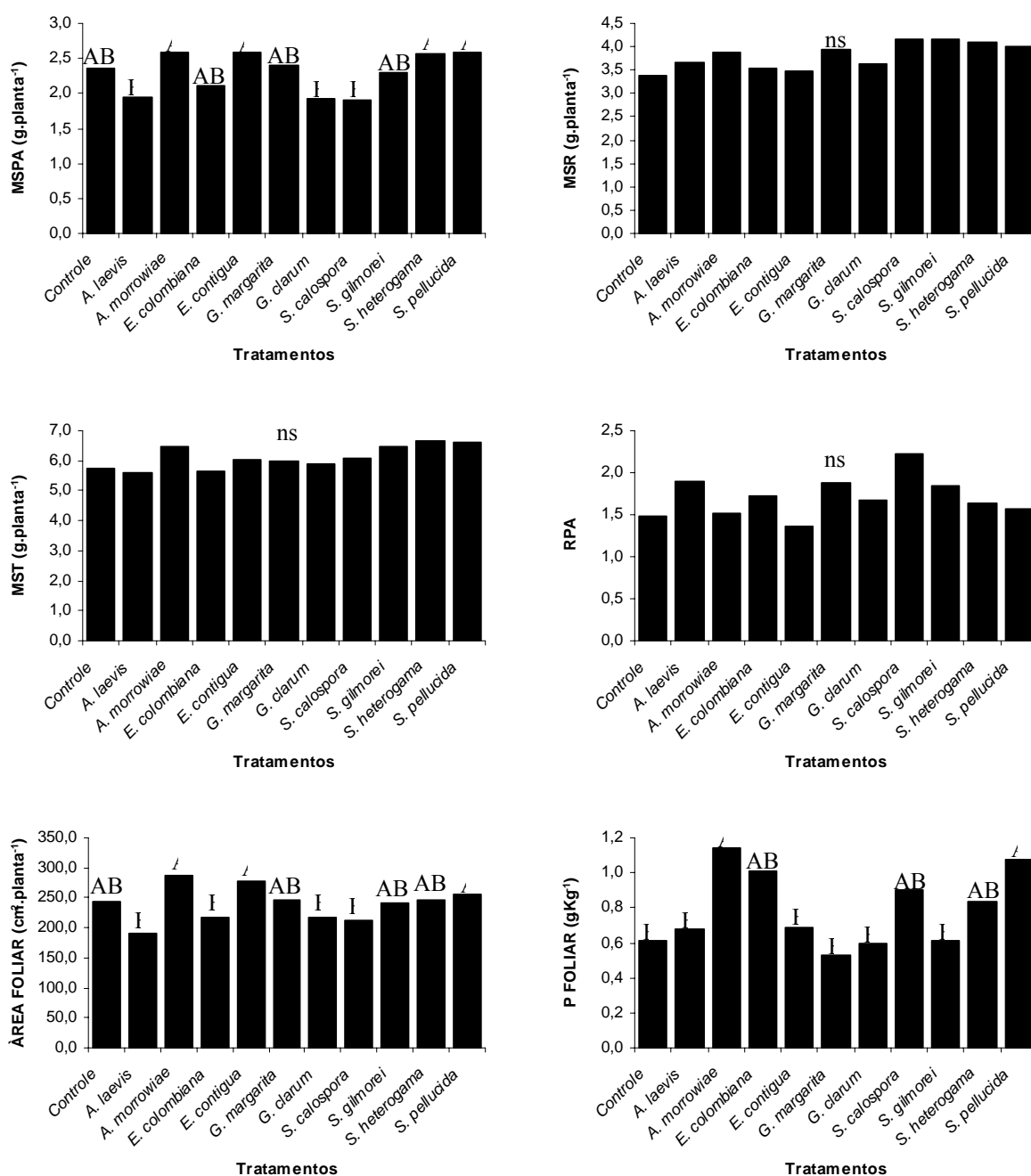


Figura 2. Matéria seca da parte aérea (MSPA), da raiz (MSR) e total (MST), relação raiz/parte aérea (RPA), área foliar e teor de fósforo foliar (P foliar) de mudas de *Toona ciliata* com inoculação de diferentes fungos micorrízicos arbusculares, 150 dias após a emergência das plântulas em casa de vegetação. Embrapa Agrobiologia, Seropédica, RJ
Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Duncan, a 5%. ^{ns} Não significativo.

As plantas sem inoculação apresentaram sinais de colonização por FMA nas raízes, possivelmente devido à contaminação durante o período do experimento. Nas inoculadas, a colonização micorrízica nas raízes variou marcadamente entre os tratamentos fúngicos, de 4 a 68% (Tabela 3). Verificou-se baixa colonização por alguns fungos, *E. contigua*, *G. margarita* e *G. clarum*, categorizadas como muito baixa incidência de FMAs, indicando certa incompatibilidade destas espécies com o cedro-australiano. Porém, deve-se considerar que apesar de apresentar baixa colonização radicular, a espécie *E. contigua* foi uma das que

proporcionou maior crescimento em altura e diâmetro para a espécie estudada. A maior porcentagem de colonização ocorreu com a inoculação da espécie *S. pellucida* (68% - alta incidência), que proporcionou às mudas de cedro-australiano crescimento em altura, matéria seca da parte aérea, área foliar e fósforo foliar. A colonização das raízes e a resposta à inoculação para algumas espécies arbóreas pode apresentar diferenças, devido algumas espécies de FMAs poderem ser mais efetivas do que outras, diferindo na extensão da colonização das raízes e resposta à inoculação (SANDERS et al., 1996).

Tabela 3. Número de esporos no substrato, porcentagem de colonização radicular e categorização de colonização em raízes de mudas de *Toona ciliata* com inoculação de diferentes fungos micorrízicos arbusculares, 150 dias após a emergência das plântulas em casa de vegetação. Embrapa Agrobiologia, Seropédica, RJ

Tratamento	Número de esporos por 50 cm ³⁽¹⁾	Porcentagem de colonização radicular	Categorização de colonização
Controle	11 e	10 ef	Muito baixa
<i>A. laevis</i>	0 e	16 de	Muito baixa
<i>A. morrowiae</i>	11982 a	27 bc	Baixa
<i>E. colombiana</i>	0 e	11 ef	Muito baixa
<i>E. contigua</i>	7631 b	7 fg	Muito baixa
<i>G. margarita</i>	0 e	6 gh	Muito baixa
<i>G. clarum</i>	2 e	4 h	Muito baixa
<i>S. calospora</i>	855 cd	27 bc	Baixa
<i>S. gilmorei</i>	546 d	37 b	Baixa
<i>S. heterogama</i>	1561 c	21 cd	Baixa
<i>S. pellucida</i>	24 e	68 a	Alta

⁽¹⁾ Médias seguidas pela mesma letra, nas colunas, não diferem entre si pelo teste de Duncan, a 5%.

Em trabalho desenvolvido por SHI et al.(2006), utilizando como variável a porcentagem de comprimento de raízes colonizadas por diferentes espécies de fungos micorrízicos em espécies da família Meliaceae, observaram que houve grande variação dentro das espécies florestais entre 10 e 95%, sendo que espécies do mesmo gênero do cedro-australiano apresentaram valores de 60% para *Toona microcarpa* e 90% para *Toona sinensis*.

Com relação à incidência de colonização ZANGARO et al. (2002), observaram a partir de coleta de plântulas no interior de florestas, que as espécies *Cedrela fissillis* (cedro), *Guarea kunthiana* (figo-do-mato), *Trichilia casaretti* C. DC. (catiguá-vermelho) e *Trichilia clausenii* (catiguá), todas pertencentes à família Meliaceae, apresentaram baixa incidência de colonização em casa de vegetação (20-39%) e muito baixa no campo (1-19%).

Ao contrário deste resultado, CARNEIRO et al. (1998), verificaram alta (>50%) incidência de micorrizas em cedro, tanto em condição de viveiro como em casa-de-vegetação. Para as espécies *Melia azedarach* (cinamomo) e *Carapa guianensis* (andiroba), em condições de viveiro, observaram baixa (1-19%) e média (20-49%) incidência de micorrizas, respectivamente. MUTHUKUMAR et al. (2003), verificaram que a porcentagem de fungos micorrízicos arbusculares associados à espécie florestal *Azadirachta indica* (nim-indiano) foi muita elevada (70%) e para *Melia azedarach* foi moderado (30%).

4. CONCLUSÕES

Entre os fungos micorrízicos arbusculares testados, *Acaulospora morrowiae*, *Entrophospora contigua* e *Scutellospora pellucida* foram os mais eficientes em promover o acúmulo de matéria seca da parte aérea, desenvolvimento da área foliar e teor de fósforo foliar em mudas de *Toona ciliata*, além de apresentarem as maiores densidades de esporos por 50 cm³ de substrato, com exceção a *S. pellucida*.

A maior colonização micorrízica em mudas de *Toona ciliata* foi obtida com a espécie *Scutellospora pellucida*.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CARNEIRO, M.A.C.; SIQUEIRA, J.O.; MOREIRA, F.M.S.; CARVALHO, D.; BOTELHO, S.A.; SAGGIN-JUNIOR, O.J. Micorriza arbuscular em espécies arbóreas e arbustivas nativas. **Cerne**, Lavras, v.4, n.1, p.129-145, 1998.
- GERDEMANN, J.W.; NICOLSON, T.H. Spores of mycorrhizal endogene species extracted from soil by wet sieving and decanting. **Transactions of British Mycological Society**, London, v.46, n.2, p.235-244, 1963.
- GIANINAZZI-PEARSON, V.; BRANZANTI, B. E GIANINAZZI, S. In vitro enhancement of spore germination and early hyphal growth of a vesicular-arbuscular mycorrhizal fungus by host root exudates and plant flavonoids. **Symbiosis**, Philadelphia, v.7, p.243-255, 1989.
- GRACE, C.; STRIBLEY, D.P. A safer procedure for routine staining of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi. **Mycological Research**, Cambridge, v.95, p.1160-1162, 1991.
- HETRICK, B.A.D. Mycorrhizas and root architecture. **Experientia**, Basel, v.47, p.355-362, 1991.
- JENKINS, W.R. A rapid centrifugal-flotation technique for separating nematodes from soil. **Plant Disease Report**, Beltsville, v.48, p.692, 1964.
- KOIDE, R.T.; LI, M. Appropriate controls for vesicular-arbuscular mycorrhiza research. **New Phytologist**, v.111, p.35-44, 1989.
- KOSKE, R.E.; GEMMA, J.N. A modified procedure for staining roots to detect VA mycorrhizas. **Mycological Research**, Cambridge, v.92, p.486-488, 1989.
- MUTHUKUMAR, T.; UDAIYAN, K.; RAJESHKANNAN, V. Response of neem (*Azadirachta indica* A. Juss) to indigenous arbuscular mycorrhizal fungi, phosphate-solubilizing and asymbiotic nitrogen-fixing bacteria under tropical nursery conditions. **Biology and Fertility of Soils**, Berlim, v.34, n.6, p.417-426, 2001.
- MUTHUKUMAR, T.; SHA, L.Q.; YANG, X.D.; CAO, M.; TANG, J.W.; ZHENG, Z. Mycorrhiza of plants in different vegetation types in tropical ecosystems of Xishuangbanna, southwest China. **Mycorrhiza**, Heidelberg, v.13, p.289-297, 2003.
- PAULA, M.A.; SIQUEIRA, J.O.; HOSHIKA, E. Crescimento, nutrição e produção de soja inoculada com populações de fungos micorrízicos vesículo-arbusculares. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.14, p.151-156, 1990.

- PELLICER, M.C.; RINCÓN, L.; SAEZ, J. Las soluciones nutritivas. **Horto Información**. Madrid, v.3, p.39-43, 1995.
- PHAVAPHUTANON, L.; DAVIES, F.T.; DURAY, S.A. Title Growth, root alteration, and nutrient uptake of neem tree (*Azadirachta indica* A. Juss) seedlings in response to vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi and phosphorus nutrition. **International Tree Crops Journal**, Oxon, v.9, n.1, p.59-67, 1996.
- POUYU-ROJAS, E.; SIQUEIRA, J.O.; SANTOS, J.G.D. Compatibilidade simbiótica de fungos micorrízicos arbusculares com espécies arbóreas tropicais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.30, n.3, p.413-424, 2006.
- READ, D.J. Plant-microbe mutualisms and community structure. In: Schulze ED, Mooney HA (eds) **Biodiversity and ecosystem function**. Springer, Berlin Heidelberg New York, pp 181–209, 1994.
- ROCHA, F.S.; SAGGIN JUNIOR, O.J.; SILVA, E.M.R.; LIMA, W.L. Dependência e resposta de mudas de cedro a fungos micorrízicos arbusculares. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.41, n.1, p.77-84, 2006.
- SAGGIN-JÚNIOR, O.J.; SIQUEIRA, J.O. Avaliação da eficiência simbiótica de fungos endomicorrízicos para o cafeeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.19, p.221-228, 1995.
- SANDERS, I. R.; CLAPP, J. P.; WIEMKEN, A. The genetic diversity of arbuscular mycorrhizal fungi in natural ecosystems - a key to understanding the ecology and functioning of the mycorrhizal symbiosis. **New Phytologist**, v. 133, p.123-134, 1996.
- SHI, Z.Y.; CHEN, Y.L.; FENG, G.; LIU, R.J.; CHRISTIE, P.; LI, X.L. Arbuscular mycorrhizal fungi associated with the Meliaceae on Hainan island, China. **Mycorrhiza**, Heidelberg, v.16, n.2, p.81-87, 2006.
- SIQUEIRA, J.O. **Micorrizas arbusculares**. In: ARAUJO, R. S.; HUNGRIA, M. Microorganismos de importância agrícola. Brasília: Embrapa, p.151-194, 1995. (Documentos, 44).
- SUMANA, D.A.; BAGYARAJ, D.J. Influence of VAM fungi on growth response of neem (*Azadirachta indica*). **Journal of Tropical Forest Science**, New Dehli, v.15, n.4, p.531-538, 2003.
- TAWARAYA, K.; TAKAYA, Y.; TURJAMAN, M.; TUAH, S.J.; LIMIN, S.H.; TAMAI, Y.; CHA, J.Y.; WAGATSUMA, T.; OSAKI, M. Arbuscular mycorrhizal colonization of tree species grown in peat swamp forests of Central Kalimantan, Indonesia. **Forest Ecology Management**, Netherlands, v.182, p.381–386, 2003.
- TEDESCO, M.J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C.A.; BOHNEN, H.; VOLKWEISS, S.J. **Análises de solo, plantas e outros minerais**. 2ed. Porto Alegre: UFRGS, 1995. 174p.
- TRAPPE, J.M. Phylogenetic and ecologic aspects of mycotrophy in the angiosperms from in evolutionary standpoint. In: SAFIR, G. R. **Ecophysiology of VA Mycorrhizal Plants**. Boca Raton: CRC, p.5-25, 1987.
- VENKATESWARLU, B.; PIRAT, M.; KISHORE, N.; RASUL, A. Title Mycorrhizal inoculation in neem (*Azadirachta indica*) enhances azadirachtin content in seed. **World Journal of Microbiology & Biotechnology**, Netherlands, v.24, n.7, p.1243-1247. 2008.
- WANG,B.; QIU, Y.L. Phylogenetic distribution and evolution of mycorrhizas in land plants. **Mycorrhiza**, Heidelberg, v.16, n.5, p.299-263, 2006.

ZANGARO, W.; NISIZAKI, S.M.A.; DOMINGOS, J.C.B.; NAKANO, E.M. Micorriza arbuscular em espécies arbóreas nativas da Bacia do Rio Tibagi, Paraná. **Revista Cerne**, Lavras, v.8, n.1, p.77-87, 2002.

CAPÍTULO II

TEORES E ACÚMULOS DE MACRONUTRIENTES EM MUDAS DE *Toona ciliata* M. ROEM. var. *australis*

RESUMO

O trabalho teve como objetivo determinar os teores e acúmulos de macronutrientes em mudas de *Toona ciliata* M. Roem. var. *australis* (cedro-australiano). As mudas foram submetidas por cinco meses, à solução nutritiva completa de Hoagland & Arnon modificada (100% da força iônica), diluída a 1/2 (50% da força iônica) e a 1/4 (25% da força iônica). O delineamento foi em blocos casualizados, com três repetições, sendo cada repetição constituída por quatro plantas. As soluções foram renovadas semanalmente e o volume, completado quando necessário com água deionizada, mantendo-se o pH em torno de $5,0 \pm 0,1$. Foram avaliados mensalmente até os 135 dias após a implantação, a altura das plantas e o diâmetro do coleto, peso de matéria seca da parte aérea (MSPA), da raiz (MSR) e total (MST), relação raiz/parte aérea (RPA) e teores e acúmulos de macronutrientes na parte aérea, raiz e total. A solução diluída a 1/4 possibilitou as plantas maior incremento em altura, diâmetro e matéria seca em comparação aos tratamentos com soluções completa e diluída a 1/2. Os teores e acúmulos de macronutrientes em plantas de cedro-australiano seguiram a seguinte ordem decrescente: $N > K > Ca > P > Mg$, até os 135 dias após a implantação do experimento.

Palavras-chave: Nutrição mineral, exigências nutricionais, cedro-australiano.

ABSTRACT

The present study aimed to determine the macronutrients contents and accumulations in *Toona ciliata* M. Roe. var. *australis* seedlings. During five months, the seedlings were treated with the complete nutrient solution (100 % ionic force), complete solution diluted 1/2 (50 % ionic force) and 1/4 (25 % ionic force). The experimental design was a completely randomized block with three replications, having been each replication consisting of four plants. The solutions were renewed weekly, and the volume completed when necessary with deionized water, remaining pH around $5,0 \pm 0,1$. The plants were evaluated monthly until the end of the experiment in height plant and stem diameter. In the end of the 135 days, it was determined: dry weight of the aerial part, root and total, relation root/aerial part and macronutrients contents and accumulations in the aerial part, root and total. The diluted solution the 1/4 allowed the plants biggest increment in height, diameter and dry weight in comparison to the treatments with solutions complete and diluted the 1/2. The macronutrients contents and accumulations in australian red cedar plants had the following decreasing order: $N > K > Ca > P > Mg$, until the 135 days after the implantation of the experiment.

Key words: Mineral nutrition, nutritional requirements, australian red cedar.

1. INTRODUÇÃO

O manejo nutricional de um povoamento florestal requer a quantificação dos vários ciclos de nutrientes no ecossistema. Em plantações florestais, a quantidade de nutrientes existente no solo e a exportada durante a colheita florestal são de grande importância na definição do balanço de nutrientes e na eventual necessidade de aplicação de fertilizantes.

Em decorrência da condição natural de baixa fertilidade dos solos, a utilização de fertilizantes e de outros insumos são práticas muito usadas (NOVAIS et al., 1990; MARTINS et al., 2004; ROCHA et al., 2004). Segundo VETTORAZZO (1989), a pobreza dos solos, junto com a utilização inadequada de fertilizantes, e o conhecimento deficiente das necessidades nutricionais de nossas espécies florestais contribuem para que ocorram deficiências nutricionais nos reflorestamentos brasileiros. Portanto, em solos com baixas reservas de nutrientes, a manutenção da produtividade florestal requer a reposição dos nutrientes exportados pela colheita e perdidos por outros processos (RICCI, 1987). A não-adoção dessa técnica é uma das causas da redução da produtividade em reflorestamentos em áreas com solos de baixa fertilidade.

Devido à produtividade das espécies arbóreas com alto potencial de crescimento ser frequentemente limitada por restrições nutricionais e hídricas, torna-se imprescindível, para o sucesso da implantação destas espécies em solos marginais, o conhecimento dos seus requerimentos nutricionais, o que permitirá a escolha de espécies adequadas a ambientes de baixa fertilidade (SANGINGA et al., 1991). Segundo CHAPIN III (1980), espécies de crescimento rápido exibem um grande incremento na taxa de absorção, em resposta ao aumento de concentrações externas de nutrientes, comparadas a espécies de crescimento lento.

SOUZA (1994) citou cinco características que poderiam contribuir para o aumento da eficiência de absorção e utilização de nutrientes: adequada geometria e distribuição do sistema radicular; modificações químicas na rizosfera e exsudação de substâncias capazes de solubilizar nutrientes; presença de micorrizas; tolerância a condições de baixo pH ou aumento de teores de alumínio trocável, e taxa de absorção mais rápida em condições de baixas concentrações de nutrientes.

Do ponto de vista nutricional, uma espécie superior é aquela capaz de desenvolver e ter uma boa produção em condições desfavoráveis de fertilidade do solo, tendo habilidade de absorver os nutrientes necessários, em menor quantidade, e/ou, distribuí-los de uma maneira mais eficiente nos diversos componentes da planta, sem comprometer a produtividade (FURLANI et al., 1984).

A maior ou menor eficiência de uso de nutrientes (SCHUMACHER, 1995) das diferentes espécies arbóreas pode ser o reflexo de uma adaptação às perdas anuais e ao aumento da reutilização dos mesmos. No entanto, uma menor devolução de serapilheira, principalmente de folhas, e o alto índice de redistribuição de alguns nutrientes antes da queda das folhas são estratégias que as espécies podem utilizar para aumentar a conservação de nutrientes nos componentes das árvores. Na maioria das vezes, nas florestas tropicais, a eficiência de utilização de determinados nutrientes é considerada baixa. Nestas florestas as condições climáticas propiciam uma alta produção de biomassa e uma grande circulação de nutrientes através da lixiviação e da serapilheira depositada (SCHUMACHER, 1995).

Em geral, as espécies florestais apresentam características distintas de comportamento, sobretudo, quanto às exigências nutricionais. O conhecimento do comportamento nutricional peculiar a cada espécie gera maior produtividade, economia e menores impactos ambientais nos plantios florestais.

SILVA e MUNIZ (1995) constataram que a concentração de nutrientes na parte aérea de mudas de cedro (*Cedrela fissilis*) seguiu a seguinte ordem decrescente: N (3,45 %) > Ca

(1,50 %) > K (1,18 %) > Mg (0,50 %) > P (0,33 %). Resultados semelhantes foram obtidos por NEVES et al. (2004), onde os nutrientes em estudo que mais se acumularam na parte aérea das mudas de andiroba seguiram a seguinte ordem decrescente: N (254,3 mg.planta⁻¹) > Ca (133,5 mg.planta⁻¹) > K (106,5 mg.planta⁻¹) > Mg (17,9 mg.planta⁻¹) > S (16,3 mg.planta⁻¹) > P (6,4 mg.planta⁻¹). LIMA-JUNIOR (2005), em mudas de mogno, observou o acúmulo de macronutrientes na parte aérea de mudas, conforme a ordem decrescente: N (0,58 g.planta⁻¹) > K (0,11 g.planta⁻¹) > Ca (0,02 g.planta⁻¹) > Mg (0,01 g.planta⁻¹) > P (0,01 g.planta⁻¹).

Ainda com relação ao trabalho desenvolvido por NEVES et al. (2004), observou-se que em todas as variáveis analisadas (diâmetro do coleto, altura de plantas, matéria seca de raiz, parte aérea e total), o comportamento da resposta à adubação fosfatada foi quadrático, ou seja, houve uma resposta positiva incrementando essas medidas à proporção que aumentaram as doses de fósforo aplicadas ao solo, e, a partir de doses maiores, a resposta à adubação passou a decrescer. As variáveis estudadas apresentaram comportamento muito semelhante, apresentando seus pontos de máxima eficiência física entre 239 e 265 mg.dm⁻³ de P. Comportamento semelhante foi observado com relação ao acúmulo de macronutrientes em função da adição de fósforo no solo, onde as doses entre 244 e 275 mg.dm⁻³ de P, proporcionaram maior acúmulo de N, P, K, Ca e Mg. Tais resultados apontam para uma alta eficiência na utilização do fósforo por plantas de andiroba. Neste trabalho, os autores observaram durante a condução do experimento que nas doses mais altas de fósforo (300 e 450 mg.dm⁻³ de P), as plantas exibiram sintomas visuais de injúrias nas folhas, caracterizados por estrias amarelo-avermelhadas ao longo das nervuras. A ocorrência dessas injúrias possivelmente foi devida à diminuição da absorção de ferro e zinco nas doses mais elevadas de fósforo no solo. Efeitos antagônicos entre o P e o Fe, em que a aplicação de fósforo ao solo reduz a disponibilidade de zinco, foram relatados por Gupta (1982) citado por NEVES et al. (2004). Entre P e Zn, Singh e Singh (1980) citados por NEVES et al. (2004) verificaram a inibição da absorção de zinco por plantas de arroz quando adubadas com doses altas de fósforo. O mesmo efeito também já foi relatado em espécies florestais.

Devido a inexistência de informações na literatura, este trabalho objetivou determinar os teores e acúmulos de macronutrientes em mudas de *Toona ciliata* M. Roem. var. *australis*.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no Viveiro Florestal do Instituto de Florestas, Departamento de Silvicultura, em casa de vegetação e no Laboratório de Análise de Solo, Planta e Resíduos, do Instituto de Agronomia, Departamento de Solos, da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, no período de junho de 2008 a fevereiro de 2009, em Seropédica, RJ.

Sementes de *Toona ciliata*, provenientes do mesmo local descrito no capítulo I, foram semeadas em bandejas contendo areia esterilizada, no Viveiro Florestal do Instituto de Florestas. Após 45 dias da semeadura, as plântulas foram repicadas para tubetes plásticos com capacidade de 115 cm³ com substrato comercial Mec plant florestal, produzido a partir da casca de *Pinus* bio-estabilizada, que sendo informações do fabricante apresenta CTC média de 200 mmol.c.kg⁻¹, umidade entre 54 e 58% e densidade (relação peso/volume) entre 360 e 400g/litro. As plântulas permaneceram por 20 dias em casa de sombra e após mantidas em pleno sol no Viveiro Florestal. Quando as plântulas atingiram 5 cm de altura, aos 95 dias após a repicagem, foram retiradas dos tubetes, com o cuidado de preservar integralmente o sistema radicular e submetidas aos tratamentos com solução nutritiva de Hoagland & Arnon modificada (100 % da força iônica), solução nutritiva diluída a 1/2 (50 % da força iônica) e

1/4 (25 % da força iônica) (Tabela1), em vasos plásticos com capacidade para 8 litros tampados com isopor contendo quatro perfurações de 2 cm de diâmetro, sendo as plântulas fixadas com espumas (Figura 1).

As soluções foram preparadas com reagentes p.a. diluídos em água destilada e mantidas sobre aeração intermitente, com intervalos de 15 minutos. Diariamente, verificou-se o volume das soluções e, quando necessário, foi completado com água deionizada. Além disso, realizou-se aferições do pH das soluções. A correção do pH para $5,0 \pm 0,1$ foi efetuada com soluções de KOH 0,1M ou HCl 0,1M. A cada sete dias, a solução nutritiva foi substituída, aplicando-se os tratamentos e corrigindo o pH.

Tabela 1. Composições das soluções nutritivas

Nutriente	Hoagland e Arnon (mg.L^{-1})		
	1/4 da força iônica	1/2 da força iônica	Completa
N – NH_4	3,5	7	14
N – NO_3	49	98	196
P – PO_4	7,8	16	31
K	58,5	117	234
Ca	40	80	160
Mg	12	24	48
S – SO_4	16	32	64
Fé	0,160	0,22	0,63
Mn	0,130	0,25	0,50
Cu	0,005	0,01	0,02
Zn	0,013	0,02	0,05
Ni	0,625	1,25	2,50
B	0,130	0,25	0,50
Mo	0,003	0,005	0,01

Fonte: PELLICER et al. (1995)



Figura 1. Fotografias do experimento de aplicação de soluções nutritiva em *Toona ciliata* em casa de vegetação. Instituto de Agronomia, UFRRJ, Seropédica, RJ

Diariamente, na casa de vegetação, em horários pré-definidos 09:00h, 11:00h e 15:00h, com variação de ± 15 minutos, foram realizadas leituras de temperaturas máxima, mínima e da hora no momento da leitura e a umidade relativa do ar, com auxílio de termômetro de bulbos seco e úmido (Tabela 2).

Para cada período de avaliação foram implantadas três repetições, constituídas nos dois primeiros meses por quatro plântulas por vaso. Após este período, realizou-se o desbaste

e mantiveram-se duas mudas por vaso. O delineamento experimental foi de blocos casualizados, com três tratamentos, cada qual constituído nos dois primeiros meses por três repetições com quatro plantas e a partir deste período até o final do experimento, por três repetições com duas plantas.

A partir do momento que foram submetidos aos tratamentos, avaliou-se as mudas mensalmente até os 135 dias após a implantação: altura de plantas, diâmetro do coleto, peso de matéria seca da parte aérea (MSPA), peso de matéria seca da raiz (MSR), peso de matéria seca total (MST) e relação raiz/parte aérea (RPA), com base no peso de matéria seca, e teores e acúmulos de macronutrientes na parte aérea, raiz e total.

Tabela 2. Médias mensais de temperatura máxima, mínima e da hora no momento da leitura e umidade relativa do ar na casa de vegetação, durante o período experimental. Instituto de Agronomia, UFRRJ, Seropédica, RJ

Mês	Horário	T°C Máxima	T°C Mínima	T°C Hora	URar (%)
Outubro	09:00	33	22	28	78
	11:00			31	69
	15:00			31	70
Novembro	09:00	34	22	28	80
	11:00			30	74
	15:00			30	73
Dezembro	09:00	35	21	29	82
	11:00			31	75
	15:00			33	70
Janeiro	09:00	37	23	31	80
	11:00			33	71
	15:00			35	67

As diferentes partes das plantas coletadas foram lavadas em água corrente e, posteriormente, enxaguadas em água destilada, submetidas à secagem em estufa com circulação forçada, com temperatura mantida entre 60°C – 70°C, pesadas, moídas em moinho tipo Willey com peneira 20 mesh e armazenadas em recipientes hermeticamente fechados. As análises foram realizadas no Laboratório de Análise de Solo, Planta e Resíduos, onde o material foi submetido à oxidação pela digestão sulfúrica, determinando-se nos extratos os teores de macronutrientes (N, P, K, Ca e Mg) segundo prescrições de TEDESCO et al. (1995).

Os dados foram submetidos à análise de variância e quando observadas diferenças significativas, as médias foram comparadas pelo teste de Duncan, a 5%.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados de altura e diâmetro do coleto estão apresentados na Figura 2, onde se observou que até aos 90 dias após a implantação não houve diferença significativa entre os tratamentos. A partir dos 120 dias, as plantas submetidas à solução completa diluída a 1/4 apresentaram maior crescimento tanto em altura como em diâmetro. Isto ocorreu devido provavelmente devido a maior salinidade apresentada nas soluções completa e completa diluída a 1/2, decorrente do fornecimento de KCl, como fonte de K, apesar de não ser observado diferença significativa entre os tratamentos que submeteram as plantas a solução completa e a solução diluída a 1/4.

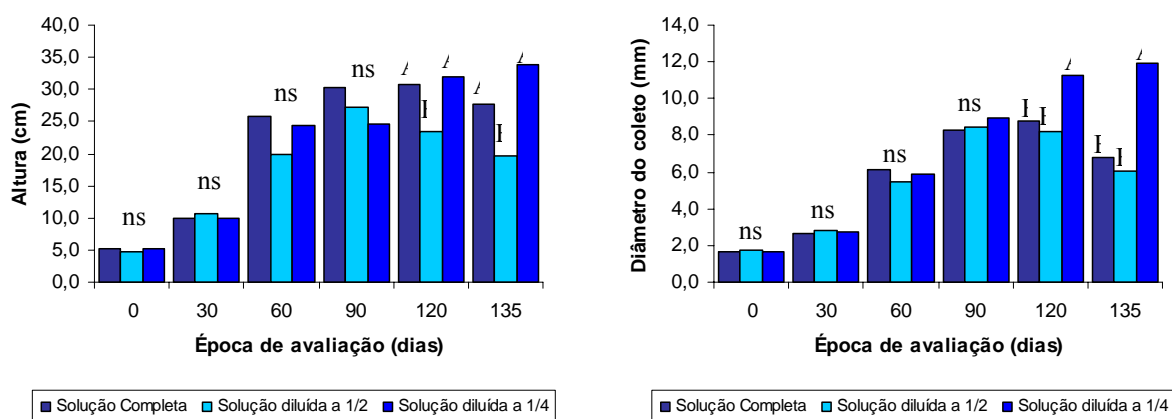


Figura 2. Altura e diâmetro do coleto de plantas de *Toona ciliata* em função dos tratamentos com solução completa de Hoagland & Arnon, em diferentes épocas de avaliação, em casa de vegetação. Instituto de Agronomia, UFRRJ, Seropédica, RJ

Médias seguidas pela mesma letra dentro de cada época de avaliação, não diferem entre si pelo teste de Duncan, a 5%. ^{ns} Não significativo.

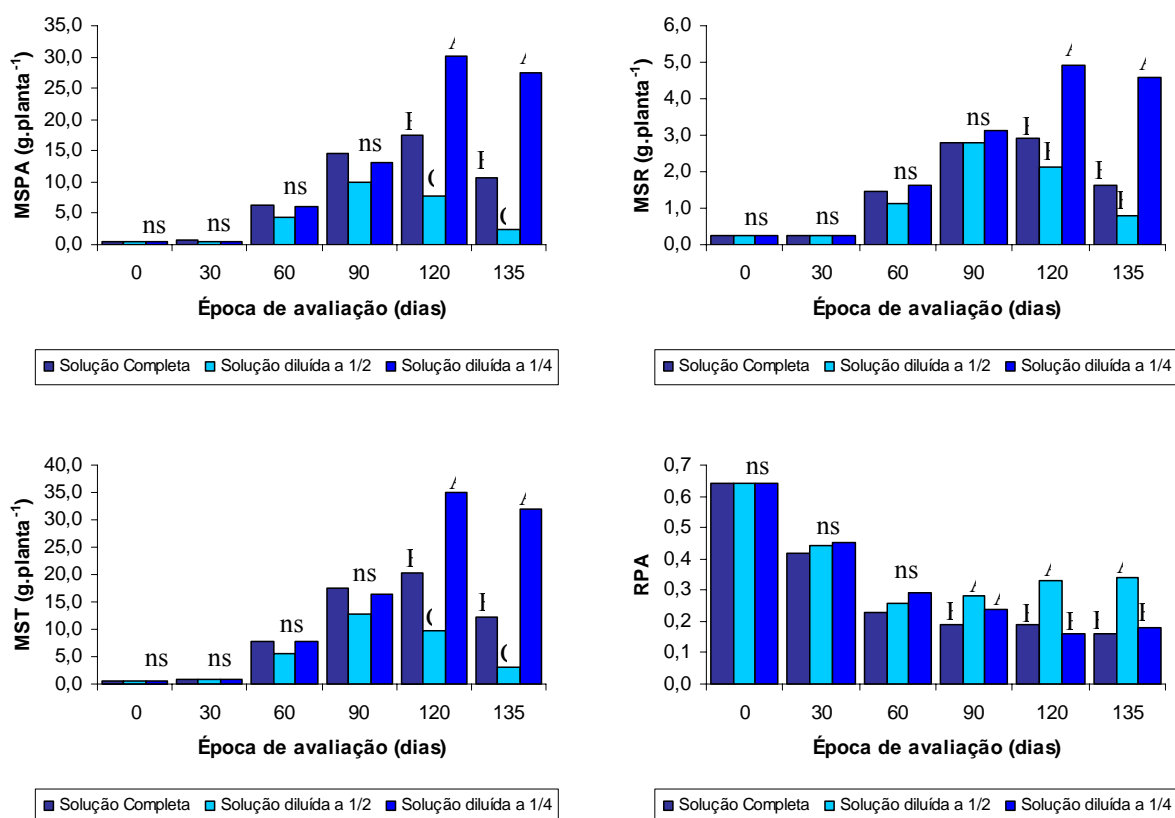


Figura 3. Matéria seca da parte aérea (MSPA), raízes (MSR), total (MST) e relação raiz/parte aérea (RPA) de plantas de *Toona ciliata* submetidas a soluções completas de Hoagland & Arnon, em diferentes épocas de avaliação, em casa de vegetação. Instituto de Agronomia, UFRRJ, Seropédica, RJ

Médias seguidas pela mesma letra dentro de cada época de avaliação, não diferem entre si pelo teste de Duncan, a 5%. ^{ns} Não significativo.

Esta resposta de crescimento em solução diluída a 1/4, também foi observada para o incremento de matéria seca das plantas (Figura 3). A partir de 120 dias da implantação do experimento, observou-se incremento de matéria seca da parte aérea, raiz e total de plantas submetidas a solução 1/4 em comparação com as plantas submetidas à solução completa.

A matéria seca da parte aérea, raiz e total (g planta^{-1}) de plantas de cedro-australiano, apresentaram os seguintes valores no tratamento completo e no tratamento completo diluída a 1/4, respectivamente: MSPA = 10,67 e 27,39; MSR = 1,62 e 4,59; MST = 12,29 e 31,98; demonstrando o efeito negativo da salinidade sobre o crescimento de plantas de cedro-australiano. A maior relação raiz/parte aérea foi obtida nos tratamentos que submeteram as plantas a soluções diluídas a 1/2, indicando maior massa seca da raiz em relação à matéria seca da parte aérea.

Na Figura 4 estão apresentadas fotografias dos tratamentos com solução completa, soluções completas diluídas a 1/2 e 1/4, possibilitando observar as diferenças entre os tratamentos sobre o crescimento das plantas de cedro-australiano.



Figura 4. Fotografias de plantas de cedro-australiano submetidas aos tratamentos com solução completa de Hoagland & Arnon, solução diluída a 1/2 e 1/4 da força iônica, aos 135 dias de implantação do experimento em casa de vegetação. Instituto de Agronomia, UFRRJ, Seropédica, RJ

Na Tabela 3 estão apresentados os resultados referentes aos teores de macronutrientes nas raízes de plantas de cedro-australiano até 135 dias após a implantação do experimento. Com relação aos teores de N não foram observadas diferenças significativas entre os tratamentos avaliados dentro da época. A espécie se comportou de maneira semelhante em todas as soluções. Os resultados de teores de P se comportaram da mesma maneira, porém a partir das médias gerais observou-se que a solução diluída 1/4 resultou em menor teor de P nas raízes do que os demais tratamentos.

Os efeitos da salinidade das soluções foram observados nos resultados dos teores de K nas raízes, pois a partir dos 60 dias ficou evidenciado que a solução diluída 1/4 possibilitou maior absorção deste nutriente em comparação aos demais tratamentos.

Tanto para os teores de Ca como Mg não foram observadas diferenças entre os tratamentos, neste último nutriente foi observada a redução do teor ao longo do período experimental.

Os teores de macronutrientes (g.kg^{-1}) nas raízes de planta de cedro-australiano em solução completa, aos 135 dias, seguiram a seguinte ordem decrescente: N (22,60) > K (12,51) > Ca (5,08) > P (4,04) > Mg (2,05). E em solução diluída a 1/4: N (21,15) > K (18,30) > Ca (5,13) > P (2,92) > Mg (1,75).

Na parte aérea (Tabela 4), observou-se um aumento no teor de N até os 60 dias, após este período ocorreu redução no teor deste nutriente. A solução com diluição 1/4 possibilitou uma maior concentração de N em relação aos demais nutrientes, sendo este resultado justificado pela maior salinidade presente nas soluções completa e diluída a 1/2.

Com relação ao teor de P na parte aérea, o comportamento foi semelhante ao observado no teor deste nutriente nas raízes, onde a solução 1/4 resultou em plantas com menor teor de P na parte aérea, apesar de não ser observado diferença significativa entre os tratamentos no teor deste nutriente na parte aérea.

A solução diluída a 1/4 possibilitou as plantas um maior teor de K na parte aérea do que nos demais tratamentos, sendo observado ainda a redução do teor ao longo do período experimental.

As concentrações de Ca e Mg na parte aérea apresentaram resultados semelhantes, não havendo diferenças significativas entre os tratamentos, e a partir dos 90 dias (Ca) e 30 dias (Mg) foram observadas reduções nos teores destes nutrientes na parte aérea.

Na parte aérea de plantas de cedro-australiano os teores de macronutrientes (g.kg^{-1}) em solução completa, seguiram a mesma ordem decrescente observada nos teores nas raízes: N (23,22) > K (11,86) > Ca (5,05) > P (2,37) > Mg (2,16). Em solução completa diluída a 1/4: N (15,25) > K (15,13) > Ca (4,01) > P (1,88) > Mg (1,51).

Na Tabela 5, estão apresentados os resultados dos teores de macronutrientes nas plantas (parte aérea + raízes) de cedro-australiano. Os nutrientes N, Ca e Mg apresentaram comportamentos semelhantes, onde se observou não haver diferença entre os tratamentos.

Estas reduções dos teores ao longo do período experimental foram observadas para o P e K. A diferença destes nutrientes em relação aos demais, foi o comportamento da espécie nas diferentes soluções. Os maiores teores de P nas plantas de cedro-australiano foram observadas quando as plantas foram submetidas a soluções completa e diluída 1/2. Para o K foi o contrário do observado para o teor de P, as plantas apresentaram maior teor de K quando em soluções diluídas a 1/4.

Os teores totais de macronutrientes (g.kg^{-1}) nas plantas de cedro-australiano submetidas a solução completa, seguiram a seguinte ordem decrescente: N (45,82) > K (24,36) > Ca (10,13) > P (6,41) > Mg (4,21). Em solução diluída 1/4: N (36,40) > K (33,44) > Ca (9,14) > P (4,80) > Mg (3,26).

Tabela 3. Teores médios de macronutrientes na matéria seca de raiz de mudas de *Toona ciliata* submetidas a soluções completas, diluídas a 1/2 e 1/4 da força iônica, em diferentes épocas de avaliação em casa de vegetação. Instituto de Agronomia, UFRRJ, Seropédica, RJ//

Tratamento	Macro	Época de avaliação (dias)						Média
		0 ⁽¹⁾	30	60	90	120	135	
g.kg ⁻¹								
Solução completa	N	27,23 ^{ns}	29,46	25,49	26,22	25,11	22,60	26,02
Solução diluída a 1/2		27,23	28,96	28,26	29,37	26,34	32,20	28,73
Solução diluída a 1/4		27,23	31,98	26,54	23,07	25,55	21,15	25,92
Média		27,23	30,13	26,76	26,22	25,66	25,32	
Solução completa	P	3,29	4,56	5,13	5,47	4,70	4,04	4,53 a
Solução diluída a 1/2		3,29	4,77	5,59	4,27	3,83	3,51	4,21 a
Solução diluída a 1/4		3,29	4,61	4,21	3,85	3,14	2,92	3,67 b
Média		3,29 C	4,65 AB	4,98 A	4,53 AB	3,89 BC	3,49 C	
Solução completa	K	32,20 Aa	33,51 Aa	21,04 Bc	24,62 Ba	10,20 Cb	12,51 Cab	22,35 b
Solução diluída a 1/2		32,20 Aa	33,53 Aa	29,50 Ab	13,33 Bb	10,61 Bb	7,53 Bb	21,12 b
Solução diluída a 1/4		32,20 Aa	32,61 Aa	37,28 Aa	30,12 Aa	18,30 Ba	18,30 Ba	28,14 a
Média		32,20 A	32,22 A	29,28 A	22,69 B	13,04 C	12,78 C	
Solução completa	Ca	1,66 Ca	5,59 ABab	4,57 Bb	4,06 Bb	7,40 Aab	5,08 Bb	4,72 a
Solução diluída a 1/2		1,66 Ca	3,58 Cb	5,28 Bab	5,44 Bab	6,69 ABb	7,60 Aab	5,04 a
Solução diluída a 1/4		1,66 Ca	7,12 Aab	4,21 BCb	3,61 BCb	5,42 ABb	5,13 ABb	4,52 a
Média		1,66 D	5,43 ABC	4,69 BC	4,37 C	6,50 A	5,93 AB	
Solução completa	Mg	4,72	2,66	2,01	1,89	2,19	2,05	2,59 a
Solução diluída a 1/2		4,72	2,66	2,22	2,14	2,14	1,90	2,63 a
Solução diluída a 1/4		4,72	2,62	3,02	1,69	2,48	1,75	2,71 a
Média		4,72 A	2,65 B	2,42 BC	1,91 C	2,27 BC	1,90 C	

⁽¹⁾ Médias seguidas pela mesma letra, maiúscula na linha e minúscula na coluna, não diferem pelo teste de Duncan, a 5%. ^{ns} não significativo

Tabela 4. Teores médios de macronutrientes na matéria seca da parte aérea de mudas de *Toona ciliata* submetidas a soluções completas, diluídas a 1/2 e 1/4 da força iônica, em diferentes épocas de avaliação em casa de vegetação. Instituto de Agronomia, UFRRJ, Seropédica, RJ

Tratamento	Macro	Época de avaliação (dias)						Média
		0 ⁽¹⁾	30	60	90	120	135	
g.kg ⁻¹								
Solução completa	N	22,25	27,50	31,68	26,19	24,73	23,22	22,89 b
Solução diluída a 1/2		22,25	28,18	27,85	22,81	25,32	27,36	24,89 ab
Solução diluída a 1/4		22,25	32,19	32,20	20,53	20,10	15,25	27,52 a
Média		22,25 B	29,29 A	30,58 A	23,18 B	23,38 B	21,94 B	
Solução completa	P	2,37 Ba	4,27 Aa	4,48 Aab	2,59 Bab	2,31Bab	2,37 Bb	3,06 a
Solução diluída a 1/2		2,37 Ca	4,74 Aa	3,38 Bb	2,52 BCab	2,48 BCab	3,71 Ba	3,20 a
Solução diluída a 1/4		2,37 Ca	5,03 Aa	3,75 Bb	2,26 Cb	1,84 Cb	1,88 Cb	2,86 a
Média		2,37 C	4,68 A	3,88 B	2,46 C	2,21 C	2,65 C	
Solução completa	K	12,77	23,21	21,94	11,31	8,70	11,86	14,96 b
Solução diluída a 1/2		12,77	27,61	22,09	12,88	9,49	13,94	16,46 b
Solução diluída a 1/4		12,77	36,79	24,32	19,46	16,29	15,13	20,79 a
Média		12,77 C	29,20 A	22,78 B	14,55 C	11,49 C	13,64 C	
Solução completa	Ca	4,30	7,07	7,76	6,33	6,15	5,05	6,11 a
Solução diluída a 1/2		4,30	8,93	7,16	5,56	3,75	4,84	5,76 a
Solução diluída a 1/4		4,30	5,86	8,43	5,06	6,53	4,01	5,70 a
Média		4,30 B	7,29 A	7,78 A	5,65 B	5,48 B	4,63 B	
Solução completa	Mg	3,79	3,07	2,69	1,95	1,93	2,16	2,60 a
Solução diluída a 1/2		3,79	3,48	2,02	1,83	1,96	2,84	2,65 a
Solução diluída a 1/4		3,79	2,56	2,67	1,97	1,69	1,51	2,36 a
Média		3,79 A	3,04 B	2,46 C	1,92 D	1,86 D	2,17 CD	

⁽¹⁾Médias seguidas pela mesma letra, maiúscula na linha e minúscula na coluna, não diferem pelo teste de Duncan, a 5%.

Tabela 5. Teores médios de macronutrientes na matéria seca total de mudas de *Toona ciliata* submetidas a soluções completas, diluídas a 1/2 e 1/4 da força iônica, em diferentes épocas de avaliação em casa de vegetação. Instituto de Agronomia, UFRRJ, Seropédica, RJ

Tratamento	Macro	Época de avaliação (dias)						Média
		0 ⁽¹⁾	30	60	90	120	135	
		g.kg ⁻¹						
Solução completa	N	49,47	56,96	57,17	52,41	49,85	45,82	51,95 a
Solução diluída a 1/2		49,47	57,14	56,12	52,18	51,65	59,56	54,35 a
Solução diluída a 1/4		49,47	64,17	58,74	43,60	45,65	36,40	49,67 a
Média		49,47 BC	59,43 A	57,34 AB	49,40 BC	49,05 BC	47,26 C	
Solução completa	P	5,66	8,83	9,62	8,06	7,01	6,41	7,60 a
Solução diluída a 1/2		5,66	9,51	8,98	6,79	6,31	7,22	7,41 a
Solução diluída a 1/4		5,66	9,64	7,98	6,11	4,98	4,80	6,53 b
Média		5,66 C	9,33 A	8,86 A	6,99 B	6,10 BC	6,14 BC	
Solução completa	K	44,96	56,71	42,99	35,93	18,90	24,36	37,31 b
Solução diluída a 1/2		44,96	61,14	51,59	26,21	20,10	21,46	37,58 b
Solução diluída a 1/4		44,96	69,40	61,60	49,58	34,59	33,44	48,93 a
Média		44,96 C	62,42 A	52,06 B	37,24 D	24,53 E	26,42 E	
Solução completa	Ca	5,96	12,66	12,33	10,39	13,54	10,13	10,84 a
Solução diluída a 1/2		5,96	12,51	12,44	11,00	10,44	12,44	10,80 a
Solução diluída a 1/4		5,96	12,98	12,64	8,68	11,95	9,14	10,22 a
Média		5,96 D	12,72 A	12,47 A	10,02 C	11,98 AB	10,57 BC	
Solução completa	Mg	8,51 Aa	5,72 Bab	4,70 Cb	3,84 Cab	4,12 Ca	4,21 Cab	5,18 a
Solução diluída a 1/2		8,51 Aa	6,15 Bab	4,24 Cb	3,98 Cab	4,10 Ca	4,74 Cab	5,29 a
Solução diluída a 1/4		8,51 Aa	5,18 Bb	5,69 Bab	3,66 Cb	4,16 Ca	3,26 Cb	5,08 a
Média		8,51 A	5,68 B	4,88 C	3,83 D	4,13 D	4,07 D	

⁽¹⁾Médias seguidas pela mesma letra, maiúscula na linha e minúscula na coluna, não diferem pelo teste de Duncan, a 5%.

Os resultados dos acúmulos de macronutrientes nas raízes de plantas de cedro-australiano submetidas a soluções completas e diluídas a 1/2 e 1/4, estão apresentados na Tabela 6. Para o acúmulo de N, a resposta da espécie as diferentes soluções foi observada aos 120 dias, ficando evidenciado que a salinidade das soluções completa e diluída a 1/2 reduziram o acúmulo deste nutriente quando comparados com o acúmulo obtido pelas plantas na solução de 1/4. Não foram observadas diferenças entre os tratamentos nos resultados dos acúmulos de P.

Os acúmulos de potássio nas raízes foram maiores nas plantas submetidas à solução diluída a 1/4. O mesmo foi observado para os teores de Ca e Mg, sendo que a resposta da espécie foi evidenciada aos 135 e aos 120 dias, respectivamente.

Os acúmulos de macronutrientes (g.planta^{-1}) nas raízes de plantas de cedro-australiano submetidas a solução completa diluída a 1/4, aos 135 dias, seguiram a seguinte ordem decrescente: N (0,096) > K (0,085) > Ca (0,023) > P (0,013) > Mg (0,008).

Na Tabela 7, estão apresentados os resultados de acúmulos de macronutrientes na parte aérea de plantas de cedro-australiano. Observou-se que os acúmulos de N, P, K, Ca e Mg foram maiores quando empregada a solução diluída a 1/4. Para todos os nutrientes, exceto o fósforo, a planta respondeu a solução 1/4 a partir dos 120 dias. Para o fósforo a resposta foi aos 135 dias.

Os nutrientes mais acumulados na parte aérea de plantas de cedro-australiano foram o nitrogênio e o potássio. A ordem decrescente do acúmulo (g.planta^{-1}) de macronutrientes, em solução diluída a 1/4, aos 135 dias, seguiu a ordem: N (0,413) > K (0,410) > Ca (0,112) > P (0,051) > Mg (0,041). Em outra espécie da família Meliaceae, *Swietenia macrophylla* (mogno), LIMA-JUNIOR (2005), constatou que os nutrientes em estudo que mais se acumularam na parte aérea das mudas seguiram a seguinte ordem decrescente: N (0,58 g.planta^{-1}) > K (0,11 g.planta^{-1}) > Ca (0,02 g.planta^{-1}) > Mg (0,01 g.planta^{-1}) > P (0,01 g.planta^{-1}). NEVES et al. (2004), trabalhando com a espécie *Carapa guianensis* (andiroba), observaram a seguinte ordem decrescente de acúmulo de macronutrientes na parte aérea das mudas: N (254,3 mg.planta^{-1}) > Ca (133,5 mg.planta^{-1}) > K (106,5 mg.planta^{-1}) > Mg (17,9 mg.planta^{-1}) > S (16,3 mg.planta^{-1}) > P (6,4 mg.planta^{-1}).

Os acúmulos totais de macronutrientes nas plantas (parte aérea + raízes) de cedro-australiano estão apresentados na Tabela 8. Os resultados foram bem semelhantes aos obtidos nos acúmulos de macronutrientes na parte aérea, onde observou-se que os acúmulos de N, P, K, Ca e Mg foram maiores quando empregada a solução diluída a 1/4 e que os valores foram aumentando ao longo do período experimental. Para todos os nutrientes, a planta respondeu à solução completa diluída a 1/4 a partir dos 120 dias.

Os acúmulos de macronutrientes (g.planta^{-1}) nas plantas de cedro-australiano submetidas a solução completa diluída a 1/4, aos 135 dias, seguiram a seguinte ordem decrescente: N (0,509) > K (0,495) > Ca (0,135) > P (0,064) > Mg (0,049).

A redução do acúmulo total de nutrientes empregando a solução nutritiva completa em comparação com a solução diluída a 1/4 foram em ordem decrescente: K (71 %) > Ca (54 %) > P (53 %) > Mg (45 %) > N (44 %).

Tabela 6 Acúmulos médios de macronutrientes na matéria seca de raiz de mudas de *Toona ciliata* submetidas a soluções completas, diluídas a 1/2 e 1/4 da força iônica, em diferentes épocas de avaliação em casa de vegetação. Instituto de Agronomia, UFRRJ, Seropédica, RJ

Tratamento	Macro	Época de avaliação (dias)						Média
		0 ⁽¹⁾	30	60	90	120	135	
g.planta ⁻¹								
Solução completa	N	0,007 Ba	0,008 Ba	0,036 Ba	0,070 Aa	0,073 Ab	0,036 Bb	0,038 b
Solução diluída a 1/2		0,007 Ca	0,008 Ca	0,032 Ba	0,080 Aa	0,056 ABb	0,029 Bb	0,035 b
Solução diluída a 1/4		0,007 Ca	0,007 Ca	0,043 Ba	0,071 Ba	0,123 Aa	0,096 ABa	0,058 a
Média		0,007 C	0,008 C	0,037 B	0,074 A	0,084 A	0,054 B	
Solução completa	P	0,001	0,001	0,008	0,017	0,014	0,007	0,008 a
Solução diluída a 1/2		0,001	0,001	0,007	0,012	0,008	0,003	0,005 a
Solução diluída a 1/4		0,001	0,001	0,007	0,012	0,016	0,013	0,008 a
Média		0,001 C	0,001 C	0,007 B	0,014 A	0,013 A	0,008 B	
Solução completa	K	0,008	0,009	0,031	0,074	0,030	0,022	0,029 b
Solução diluída a 1/2		0,008	0,009	0,034	0,038	0,029	0,006	0,021 b
Solução diluída a 1/4		0,008	0,008	0,061	0,096	0,098	0,085	0,059 a
Média		0,008 C	0,009 C	0,042 AB	0,069 A	0,052 AB	0,038 B	
Solução completa	Ca	0,001 Ba	0,001 Ba	0,006 Ba	0,011 Ba	0,022 Aa	0,008 Bb	0,008 b
Solução diluída a 1/2		0,001 Ba	0,001 Ba	0,006 Ba	0,015 Aa	0,014 Ab	0,006 Bb	0,007 b
Solução diluída a 1/4		0,001 Ba	0,002 Ba	0,007 Ba	0,011 Ba	0,026 Aa	0,023 Aa	0,012 a
Média		0,001 D	0,001 D	0,006 C	0,013 B	0,021 A	0,012 B	
Solução completa	Mg	0,001 Ba	0,001 Ba	0,003 ABa	0,005 Aa	0,006 Ab	0,003 ABb	0,003 b
Solução diluída a 1/2		0,001 Ba	0,001 Ba	0,003 ABa	0,006 Aa	0,005 Ab	0,002 Bb	0,003 b
Solução diluída a 1/4		0,001 Ba	0,001 Ba	0,005 Ba	0,005 Ba	0,012 Aa	0,008 ABa	0,005 a
Média		0,001 D	0,001 D	0,003 C	0,006 B	0,008 A	0,004 BC	

⁽¹⁾Médias seguidas pela mesma letra, maiúscula na linha e minúscula na coluna, não diferem pelo teste de Duncan, a 5%.

Tabela 7. Acúmulos médios de macronutrientes na matéria seca da parte aérea de mudas de *Toona ciliata* submetidas a soluções completas, diluídas a 1/2 e 1/4 da força iônica, em diferentes épocas de avaliação em casa de vegetação. Instituto de Agronomia, UFRRJ, Seropédica, RJ

Tratamento	Macro	Época de avaliação (dias)					
		0 ⁽¹⁾	30	60	90	120	135
		g.planta ⁻¹					
Solução completa	N	0,009 Ca	0,017 Ca	0,199 Ba	0,397 Aab	0,385 Ab	0,250 ABb
Solução diluída a 1/2		0,009 Ba	0,017 Ba	0,125 ABa	0,222 Ab	0,166 ABc	0,064 Bbc
Solução diluída a 1/4		0,009 Da	0,017 Da	0,183 Ca	0,276 BCab	0,606 Aa	0,413 Ba
Solução completa	P	0,001 Ba	0,003 Ba	0,027 Aa	0,039 Aa	0,040 Aa	0,024 Ab
Solução diluída a 1/2		0,001 Ba	0,003 Ba	0,015 ABa	0,026 Aa	0,018 ABb	0,009 Bb
Solução diluída a 1/4		0,001 Ca	0,003 Ca	0,020 Ba	0,031 Ba	0,054 Aa	0,051 Aa
Solução completa	K	0,005 Ba	0,015 Ba	0,134 ABa	0,177 Aa	0,150 ABb	0,123 ABb
Solução diluída a 1/2		0,005 Ba	0,017 Ba	0,099 ABa	0,125 Aa	0,079 ABb	0,038 Bb
Solução diluída a 1/4		0,005 Ca	0,019 Ca	0,137 Ba	0,268 ABa	0,516 Aa	0,410 ABa
Solução completa	Ca	0,002 Ca	0,005 Ca	0,046 BCa	0,093 ABa	0,112 Ab	0,055 BCb
Solução diluída a 1/2		0,002 Ca	0,005 Ba	0,032 ABa	0,056 Aa	0,031 ABc	0,011 Bb
Solução diluída a 1/4		0,002 Da	0,003 Da	0,048 CDa	0,070 BCa	0,196 Aa	0,112 ABa
Solução completa	Mg	0,002 Ca	0,002 Ca	0,017 Ba	0,028 ABa	0,033 Ab	0,023 ABb
Solução diluída a 1/2		0,002 Ba	0,002 Ba	0,009 ABa	0,018 Aa	0,013 ABbc	0,007 ABbc
Solução diluída a 1/4		0,002 Ca	0,001 Ca	0,016 Ba	0,027 Ba	0,051 Aa	0,041ABa

⁽¹⁾Médias seguidas pela mesma letra, maiúscula na linha e minúscula na coluna, não diferem pelo teste de Duncan, a 5%.

Tabela 8. Acúmulos médios de macronutrientes na matéria seca total de mudas de *Toona ciliata* submetidas a soluções completas, diluídas a 1/2 e 1/4 da força iônica, em diferentes épocas de avaliação em casa de vegetação. Instituto de Agronomia, UFRRJ, Seropédica, RJ

Tratamento	Macro	Época de avaliação (dias)					
		0 ⁽¹⁾	30	60	90	120	135
		g.planta ⁻¹					
Solução completa	N	0,016 Ca	0,025 Ca	0,235 Ba	0,467 Aa	0,458 Ab	0,286 Bb
Solução diluída a 1/2		0,016 Ca	0,025 Ca	0,157 Ba	0,301 Aa	0,222 ABc	0,093 Bc
Solução diluída a 1/4		0,016 Da	0,024Da	0,226 Ca	0,347 BCa	0,729 Aa	0,509 ABa
Solução completa	P	0,002 Ba	0,004 Ba	0,035 ABa	0,055 Aa	0,054 Aa	0,030 ABb
Solução diluída a 1/2		0,002 Ca	0,004 Ca	0,022 ABa	0,038 Aa	0,027 ABb	0,012 BCb
Solução diluída a 1/4		0,002 Ca	0,004 Ca	0,028 BCa	0,043 ABa	0,070 Aa	0,064 ABa
Solução completa	K	0,013 Ba	0,024 Ba	0,165 ABa	0,251 Ab	0,180 ABb	0,145 ABb
Solução diluída a 1/2		0,013 Ba	0,025 Ba	0,133 Aa	0,164 Ab	0,109 ABb	0,044 Bb
Solução diluída a 1/4		0,013 Ca	0,027 Ca	0,199 BCa	0,364 ABab	0,614 Aab	0,495 ABa
Solução completa	Ca	0,002 Ca	0,006 Ca	0,053 BCa	0,104 ABa	0,133 Ab	0,062 BCb
Solução diluída a 1/2		0,002 Ca	0,006 BCa	0,039 ABa	0,071 Aa	0,045 ABc	0,017 BCb
Solução diluída a 1/4		0,002 Da	0,005 Da	0,055 Ca	0,081 BCa	0,222 Aa	0,135 Ba
Solução completa	Mg	0,003 Ca	0,003 Ca	0,019 Ba	0,034 Aa	0,039 Ab	0,027 ABb
Solução diluída a 1/2		0,003 Ca	0,003 Ca	0,012 ABa	0,024 Aa	0,018 ABc	0,008 Bc
Solução diluída a 1/4		0,003 Ca	0,002 Ca	0,020 Ba	0,032 ABa	0,063 Aa	0,049 ABa

⁽¹⁾Médias seguidas pela mesma letra, maiúscula na linha e minúscula na coluna, não diferem pelo teste de Duncan, a 5%.

4. CONCLUSÕES

A solução de Hoagland & Arnon diluída a 1/4 da força iônica possibilitou às plantas, maior incremento em altura, diâmetro do coleto e matéria seca em comparação aos tratamentos com soluções completa e diluída a 1/2.

Os teores e acúmulos de macronutrientes em plantas de cedro-australiano seguiram a seguinte ordem decrescente: N > K > Ca > P > Mg, até os 135 dias após a implantação do experimento.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CHAPIN III, F.S. The mineral nutrition of wild plants. **Annual Review of Ecology Systematics**, Palo Alto, v.11, p.233-260, 1980.

FAGERIA, N.K. Solos tropicais e aspectos fisiológicos das culturas. Brasília: Embrapa/DPU, 1989. 425p. Embrapa/CNPAP. **Documento**, 18. 1989.

FURLANI, A.M.C.; CLARK, R.B.; MARANVILLE, J.W.; ROSS, W.M. Sorghum genotype differences in phosphorus uptake, phosphorus efficiency, phosphorus mobilization and utilization. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v.7, n.7, p.1113-1126, 1984.

LIMA-JUNIOR, E.C.L. **Crescimento e estado nutricional de plantas jovens de mogno (*Swietenia macrophylla* Kin.) em função da calagem**. 2005. 73f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal Rural da Amazônia, Manaus, 2005.

MARTINS, L.F.S.; POGGIANI, F.; OLIVEIRA, R.F.; GUEDES, M.C.; GONÇALVES, J.L.M. Características do sistema radicular das árvores de *Eucalyptus grandis* em resposta à aplicação de doses crescentes de biossólido. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n.65, p.207-218, 2004.

NEVES, O.S.C.; BENEDITO, D.S.; MACHADO, R.V.; CARVALHO, J.G. Crescimento, produção de matéria seca e acúmulo de N, P, K, Ca, Mg e S na parte aérea de mudas de andiroba (*Carapa guianensis* Aubl.) cultivadas em solos de várzea, em função de diferentes doses de fósforo. **Revista Árvore**, Viçosa, v.28, n.3, p.343-349, 2004.

NOVAIS, R.F.; BARROS, N.F.; NEVES, J.C.L. Nutrição mineral do eucalipto. In: BARROS, N.F.; NOVAIS, R.F. (Ed.). **Relação solo-eucalipto**. Viçosa: Folha de Viçosa, 1990. p.133-189.

PELLICER, M.C.; RINCÓN, L.; SAEZ, J. Las soluciones nutritivas. **Horto Información**. Madrid, v.3, p.39-43, 1995.

RICCI, M.S.F. **Capacidade de suprimento de potássio das diferentes frações granulométricas de alguns solos do estado de Minas Gerais**. 1987. 65f. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1987.

ROCHA, G.N.; GONÇALVES, J.L.M.; MOURA, I.M. Mudanças da fertilidade do solo e crescimento de um povoamento de *Eucalyptus grandis* fertilizado com biossólido. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.28, n.4, p.623-639, 2004.

SANGINGA, N.; GWAJE, D.; SWIFT, M.J. Nutrient requirements of exotic tree species in Zimbabwe. **Plant and Soil**, Dordrecht, v.132, p.197-205, 1991.

SCHUMACHER, M.V. **Naehrstoffkreislauf in verschiedenen Bestaeden von *Eucalyptus saligna* (Smith), *Eucalyptus dunnii* (Maiden) und *Eucalyptus globulus* (Labillardière) in Rio Grande do Sul, Brasilien.** 1995. Tese (Doutorado em Ecologia e Nutrição Florestal) – Universität für Bodenkultur, Viena.

SILVA, M.A.G.; MUNIZ, A.S. Exigências nutricionais de cedro (*Cedrella fissilis*) em solução nutritiva. **Revista Árvore**, Viçosa, v.19, p.415-425, 1995.

SOUZA, M. E. **Correlação adulto-juvenil para eficiência nutricional e comportamento de clones de *Eucalyptus grandis* em dois níveis de fertilidade do solo.** 1994. 49f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1994.

TEDESCO, M.J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C.A.; BOHNEN, H.; VOLKWEISS, S.J. **Análises de solo, plantas e outros minerais.** 2ed. Porto Alegre: UFRGS, 1995. 174p.

VETTORAZZO, S.C. **Efeito de fatores do solo e de genótipos no crescimento, nutrição e atividade da fosfatase ácida em clones de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden.** 1989. 115f. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1989.

CAPÍTULO III

DEFICIÊNCIA NUTRICIONAL EM MUDAS DE *Toona ciliata* M. ROEM. var. *australis*

RESUMO

O trabalho teve como objetivo caracterizar a sintomatologia visual, o crescimento, teores e acúmulos de macronutrientes em mudas de *Toona ciliata* M. Roem. var. *australis*, submetidas a solução nutritiva de Hoagland & Arnon modificada e soluções preparadas com a omissão de N, P, K, Ca e Mg. As plantas foram avaliadas mensalmente até o final do experimento em altura e diâmetro do coleto da planta, e no final dos 120 dias, peso de matéria seca da parte aérea (MSPA), raiz (MSR) e total (MST), relação raiz/parte aérea (RPA) e teores e acúmulos de macronutrientes na parte aérea, raiz e total. O delineamento foi em blocos casualizados, com três repetições, sendo cada repetição constituída por quatro plantas. A omissão de K foi a que mais afetou o crescimento em altura. Os tratamentos, com exceção do tratamento com solução completa, limitaram o incremento do diâmetro das plantas de cedro-australiano. A produção de massa seca total das plantas foi afetada em todos os tratamentos com omissão de nutrientes, obedecendo a seguinte ordem decrescente: Completo > -P > -Mg > -N > -K > -Ca. O crescimento inicial de mudas de *Toona ciliata* foi afetado pela omissão de todos os macronutrientes, sendo os sintomas semelhantes com os sintomas de outras espécies da mesma família. Os danos mais intensos e imediatos foram observados na omissão de K e Ca. A espécie *Toona ciliata* demonstrou acumular macronutrientes na seguinte ordem decrescente: K > N > Mg > Ca > P.

Palavras-chave: Omissão de nutrientes, diagnose visual, cedro-australiano.

ABSTRACT

This work was aimed to characterize the visual diagnosis, the growth, macronutrient contents and accumulations in *Toona ciliata* M. Roem. var. *australis* seedlings, submitted the complete nutrient solution and solutions prepared with the omission of N, P, K, Ca and Mg. The plants were evaluated monthly until the end of the experiment in plant height and stem diameter. In the end of the 120 days, it was determined: dry weight of the aerial part, root and total, relation root/aerial part and macronutrients contents and accumulations in the aerial part, root and total. The experimental design was a completely randomized block with three replications, being each replication consisting of four plants. The omission of K was the one that more affected the development of the plant in height. All the treatments, with exception of the treatment with complete solution, limited the increment of the diameter of the Australian red cedar plants. The production of total dry mass of the plants was affected in all the treatments with omission of nutrients, in according the following decreasing order: Complete Solution > - P > - Mg > - N > - K > - Ca. The initial growth of changes of *Toona ciliata* was affected by the omission of all the macronutrients, having been the similar symptoms with the symptoms of other species of the same family. The immediate damages most intense and it was observed in the omission of K and Ca. Thus, the *Toona ciliata* demonstrated to accumulate macronutrients in the following decreasing order: K > N > Mg > Ca > P.

Key words: Nutrients omission, visual diagnosis, Australian red cedar.

1. INTRODUÇÃO

Os solos das regiões tropicais e subtropicais possuem pequenas reservas de nutrientes na forma de minerais primários com baixa capacidade de troca de cátions (CTC), alta capacidade de fixação de P, elevado grau de agregação e, conseqüentemente, a permeabilidade e o potencial de lixiviação de bases dos solos são muitos elevados (GONÇALVES et al., 2000).

A seleção de plantas tolerantes à baixa disponibilidade de nutrientes tem sido apontada como opção para o aumento de produtividade e redução no fornecimento de nutrientes via aplicação de adubos nos solos de baixa fertilidade (GOURLEY et al., 1994). Essa tolerância parece estar associada à eficiência de uso de nutrientes para produção de biomassa, a qual, segundo BRIDGHAM et al. (1995), aparece como um aspecto fundamental para adaptação de plantas aos solos limitantes em termos de fertilidade.

Espécies com crescimento lento, adaptadas aos solos deficientes, têm baixa eficiência de utilização e são menos responsivas ao fornecimento de nutrientes. Por outro lado, espécies com maiores taxas de crescimento são mais sensíveis à baixa disponibilidade de nutrientes, apresentando sensível redução em crescimento nessas condições (LAMBERS e POORTER, 1992).

GONÇALVES et al. (1992), SILVA et al. (1996a e 1996b) e FURTINI-NETO et al. (1999), comparando espécies arbóreas de diferentes grupos sucessionais, encontraram diferenças no padrão de comportamento relacionadas à capacidade de aquisição, concentração e eficiência de utilização de nutrientes. As espécies pioneiras tenderam a ser mais eficientes em absorver e utilizar os nutrientes quando comparadas com as secundárias e clímax. Além disso, existe comportamento distinto entre espécies dentro do mesmo grupo sucessional. Segundo GONÇALVES et al. (2000), a demanda de nutrientes é bastante variável entre as espécies, e quanto maiores as taxas de crescimento, maiores as demandas, as capacidades de absorção e as taxas de acumulação nos tecidos vegetais. Neste sentido é importante a análise nutricional dos tecidos vegetais para a determinação das taxas de acumulação destes nutrientes nas diferentes espécies florestais. Para um mesmo material genético, numa determinada região, há uma relação relativamente estreita entre a taxa de crescimento e o acúmulo de nutrientes na biomassa (BARROS et al., 2000).

Espécies vegetais podem desenvolver mecanismos eficientes de manutenção do metabolismo para garantir sua sobrevivência em ambientes adversos. A retranslocação de minerais é uma forma de diminuir a perda de nutrientes pelas plantas e permitir a manutenção das atividades metabólicas, principalmente em períodos sujeitos ao estresse nutricional (LEITÃO e SILVA, 2004). Uma das formas de se aumentar a produção é por meio de uma adequada nutrição das plantas. Mas, são escassas as informações sobre as exigências nutricionais das espécies florestais.

A diagnose foliar em plantas perenes é, sem dúvida, um instrumento valioso na determinação do estado nutricional da cultura, bem como um critério complementar na recomendação de adubação. Esta técnica permite, ainda, identificar deficiências de nutrientes que provocam sintomas semelhantes dificultando a diagnose visual (MALAVOLTA et al., 1997).

LOCATELLI et al. (2007), avaliaram o comportamento de mudas de cedro-rosa (*Cedrela odorata*) submetidas a diferentes deficiências nutricionais, observaram que o fósforo foi o nutriente que mais limitou o crescimento em altura e diâmetro do coleto, além da produção de matéria seca da parte aérea, raízes e total, quando comparada aos resultados do tratamento de solução completa. Os tratamentos com omissão de K apresentaram comportamento semelhante em altura do início até o final do experimento, obtendo o melhor

crescimento, comparado ao tratamento com solução completa. Com relação ao crescimento em diâmetro das mudas verificaram que o N foi o nutriente que menos restringiu o crescimento, sendo superior ao tratamento com solução completa.

Para *Swietenia macrophylla* (mogno), WALLAU et al. (2008), observaram que os nutrientes que mais afetaram a produção de massa seca da parte aérea e total foram N, K e Ca, embora não tenham diferido estatisticamente do tratamento completo. Com relação a este trabalho, observou-se maior produção de matéria seca da parte aérea e matéria seca total com a omissão de Mg e P, em relação ao tratamento com solução nutritiva completa. Segundo os autores, o maior acúmulo de matéria seca em mudas de mogno a partir da omissão do P, pode ter ocorrido devido ao fornecimento desses nutrientes através da solução completa na fase de adaptação, o que pode ter sido suficiente para o desenvolvimento inicial das plantas; ou as plantas terem quantidades satisfatórias nas reservas da semente. Ressaltaram ainda que, no tratamento com omissão de P, não foram observados sintomas característicos de deficiência desse nutriente, o que confirma a formação de um estoque e a utilização eficiente do mesmo pelas plantas.

Comparando os resultados obtidos para cedro-rosa e mogno, observou-se grande variação no comportamento de espécies da mesma família. Pois, para o cedro-rosa as deficiências de P e Mg foram as que levaram ao maior decréscimo da massa seca da parte aérea e total e para o mogno os nutrientes faltantes que mais prejudicaram o incremento de matéria seca foi N, K e Ca. Assim, os valores obtidos, no que diz respeito à produção de massa seca da parte aérea e raiz, mostraram que o crescimento relativo obedeceu a seguinte ordem decrescente para cedro-rosa: Completo>-K>-S>-B>-Ca>-Zn>-N>-Mg>-P>-Água (LOCATELLI et al., 2007). O decréscimo de produção de massa seca total em mudas de mogno ocorreu na seguinte ordem: N>Cu>K>Ca>B>Fe>Mn>SC>P>Mg>Zn>S (WALLAU et al., 2008).

Em mudas de *Cedrela fissillis* (cedro), SILVA e MUNIZ (1995) observaram que o nitrogênio e magnésio foram os nutrientes que mais limitaram a produção de matéria seca total, quando comparada aos resultados do tratamento de solução completa. Estes autores verificaram que o decréscimo de produção de matéria seca ocorreu na seguinte ordem decrescente: Completa>S>Ca>K>P>N>Mg.

Pelos resultados obtidos por LOCATELLI et al. (2007), observou-se que o desenvolvimento da planta de cedro-rosa durante o período experimental foi menos afetado pela omissão do K, com redução de 9,93% da matéria seca e a mais afetada pela omissão do P, com redução de 60,16% da matéria seca. Neste trabalho, avaliou-se o crescimento radicular da espécie que também foi afetado pela deficiência dos nutrientes. Os tratamentos com omissão Mg e Ca apresentaram alta relação PA/R, indicando maior biomassa da parte aérea em relação à matéria seca da raiz. A menor relação PA/R foi observada para o tratamento com omissão de P, devido a grande produção de raiz que ocorre quando uma planta apresenta deficiência deste nutriente.

Trabalhando com andiroba (*Carapa guianensis*) em solução nutritiva, MARTINS et al. (2000) relataram que as maiores reduções no crescimento foram provocadas pela omissão na ordem decrescente de: N e Ca > Mg > K > P > S, em macronutrientes.

Com relação à sintomatologia de deficiência, os trabalhos realizados por SILVA e MUNIZ (1995) com a espécie *Cedrela fissillis* (cedro), OLIVEIRA et al. (2005) com a espécie *Azadirachta indica* (nim-indiano) e por WALLAU et al. (2008) com *Swietenia macrophylla* (mogno), pertencentes à família Meliaceae, relataram os principais sintomas de deficiências de macronutrientes.

Assim, este trabalho teve por objetivo caracterizar a sintomatologia visual, o crescimento, teores e acúmulos de macronutrientes em mudas de *Toona ciliata*, submetidas a soluções com omissão de macronutrientes.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no Viveiro Florestal do Instituto de Florestas, Departamento de Silvicultura, em casa de vegetação e no Laboratório de Análise de Solo, Planta e Resíduos, do Instituto de Agronomia, Departamento de Solos, da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, no período de junho de 2008 a janeiro de 2009, Município de Seropédica, RJ.

Sementes de *Toona ciliata*, oriundas do mesmo local descrito no capítulo I, foram semeadas em bandejas contendo areia esterilizada. Após 45 dias da semeadura, as plântulas foram repicadas para tubetes plásticos com capacidade de 115 cm³ com substrato comercial Mec plant florestal, produzido a partir da casca de *Pinus* bio-estabilizada, que sendo informações do fabricante apresenta CTC média de 200 mmol_c.kg⁻¹, umidade entre 54 e 58% e densidade (relação peso/volume) entre 360 e 400g/litro. As plântulas permaneceram por 20 dias em casa de sombra e após mantidas em pleno sol no Viveiro Florestal. Quando as plântulas atingiram 5 cm de altura, aos 95 dias da repicagem foram retiradas dos tubetes, com o cuidado de preservar integralmente o sistema radicular e em seguida submetidas aos tratamentos com solução nutritiva de Hoagland & Arnon modificada (Tabela 1, capítulo II), solução completa com omissão de N, P, K, Ca e Mg, em vasos plásticos com capacidade para 8 litros tampados com isopor contendo quatro perfurações de 2 cm de diâmetro, sendo as plântulas fixadas com espumas.

As soluções foram preparadas com reagentes p.a. diluídos em água destilada e aeradas intermitentemente com intervalos de 15 minutos. Diariamente, verificou-se o volume das soluções e, quando necessário, foi completado com água deionizada. Além disso, realizou-se aferições do pH das soluções. A correção do pH para $5,0 \pm 0,1$ foi efetuada com soluções de KOH 0,1M ou HCl 0,1M. A cada sete dias, as soluções foram substituídas, aplicando os tratamentos e corrigindo o pH.

Diariamente, na casa de vegetação, em horários pré-definidos 09:00h, 11:00h e 15:00h, foram realizadas leituras de temperaturas máxima, mínima e da hora no momento da leitura e a umidade relativa, com auxílio de termômetro de bulbos seco e úmido (Tabela 2, capítulo II).

As avaliações foram realizadas mensalmente até aos 120 dias após a implantação do experimento, avaliando-se: altura de plantas e diâmetro do coleto, e ao final do experimento, peso de matéria seca da parte aérea (MSPA), peso de matéria seca da raiz (MSR) e peso de matéria seca total (MST), relação raiz/parte aérea (RPA), com base no peso de matéria seca, e teores e acúmulos de macronutrientes na matéria seca da parte aérea, raiz e total.

Durante a condução do experimento, procedeu-se a caracterização visual dos sintomas de deficiência de N, P, K, Ca e Mg.

As diferentes partes das plantas coletadas foram lavadas em água corrente e, posteriormente, enxaguadas em água destilada, submetidas à secagem em estufa com temperatura mantida entre 60°C – 70°C, pesadas, moídas em moinho tipo Willey e digeridas para a obtenção dos extratos. As análises foram realizadas no Laboratório de Análise de Solo, Planta e Resíduos, determinando-se os teores de macronutrientes (N, P, K, Ca e Mg) segundo prescrições de TEDESCO et al. (1995).

O delineamento experimental foi de blocos casualizados, com seis tratamentos, com três repetições, sendo cada repetição constituída por quatro plantas. Os resultados das avaliações foram submetidos a análise de variância e quando observou diferenças significativas foram submetidos ao teste de Duncan, a 5%.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Avaliações biométricas

Diante dos resultados obtidos, observou-se que a deficiência de macronutrientes limitou o desenvolvimento das mudas de cedro-australiano tanto em altura de plantas (Tabela 1) como em diâmetro (Tabela 2). Para a variável altura, até os 30 dias após a aplicação dos tratamentos com omissão de macronutrientes proporcionaram resultados semelhantes, diferindo apenas da solução nutritiva completa. A partir dos 60 dias evidenciou-se que a omissão de K proporcionou redução no crescimento em altura. Com relação ao incremento em altura através do tempo, observou-se que apenas as plantas submetidas à solução completa apresentaram crescimento significativo ao longo do tempo.

Tabela 1. Altura de mudas (cm) de *Toona ciliata* em função dos tratamentos com omissão de macronutrientes em diferentes épocas de avaliação, em casa de vegetação. Instituto de Agronomia, UFRRJ, Seropédica, RJ

Tratamento	Época de avaliação (dias)				
	0 ⁽¹⁾	30	60	90	120
Solução completa	5,7 Ca	11,6 Ba	28,6 Aa	32,6 Aa	33,4 Aa
Omissão de N	6,1 Ba	9,3 Ab	11,7 Ab	12,0 Ac	13,5 Ab
Omissão de P	5,7 Ba	9,7 Bb	14,7 Ab	15,8 Ab	16,6 Ab
Omissão de K	5,1 Aa	7,4 Ab	8,6 Ac	8,1 Ad	8,9 Ac
Omissão de Ca	4,9 Ba	7,0 Bb	11,3 Ab	11,6 Ac	14,2 Ab
Omissão de Mg	5,5 Ca	7,3 Cb	13,4 Bb	17,5 Ab	17,7 Ab

⁽¹⁾Médias seguidas pela mesma letra, maiúscula na linha e minúscula na coluna, não diferem pelo teste de Duncan, a 5%.

Com relação ao diâmetro do coleto (Tabela 2), aos 60 dias observaram-se diferenças significativas entre o tratamento com solução completa e os demais de omissão de macronutrientes, destacando a redução de crescimento em diâmetro do coleto de plantas submetidas à omissão de K. A partir dos 90 dias, as plantas em solução com omissão de N, K e Mg apresentaram incremento de diâmetro do coleto.

Tabela 2. Diâmetro do coleto (mm) de mudas de *Toona ciliata* em função dos tratamentos com omissão de macronutrientes em diferentes épocas de avaliação, em casa de vegetação. Instituto de Agronomia, UFRRJ, Seropédica, RJ

Tratamento	Época de avaliação (dias)				
	0 ⁽¹⁾	30	60	90	120
Solução completa	1,83 Ca	2,95 Ca	5,89 Ba	8,35 Aa	8,75 Aa
Omissão de N	1,91 Ca	2,45 BCa	3,41 BCb	4,84 Ab	5,03 Ab
Omissão de P	1,76 Ca	2,70 Ca	3,81 BCb	4,93 ABb	5,48 Ab
Omissão de K	1,51 Ba	2,31 Ba	1,38 Bc	3,70 Ab	3,84 Ab
Omissão de Ca	1,67 Ca	2,55 Ca	3,31 BCb	3,50 ABb	4,70 Ab
Omissão de Mg	1,72 Ba	2,25 Ba	3,02 Bb	4,58 Ab	4,82 Ab

⁽¹⁾Médias seguidas pela mesma letra, maiúscula na linha e minúscula na coluna, não diferem pelo teste de Duncan, a 5%.

LOCATELLI et al. (2007), avaliando o comportamento de mudas de cedro-rosa (*Cedrela odorata*) submetidas a deficiências nutricionais, observaram que o fósforo foi o nutriente que mais limitou o crescimento em altura e diâmetro do coleto. Os autores observaram que o potássio foi o que menos restringiu o crescimento em altura e, o nitrogênio

o que menos restringiu o crescimento em diâmetro das mudas, ambas omissões demonstraram-se superiores ao tratamento com solução completa, devido a possível acumulação deste na fase inicial do experimento, onde as mudas foram mantidas em solução completa antes da submissão aos tratamentos de deficiência. Para o cedro-australiano observou-se que nenhum dos tratamentos de omissão de nutrientes foi superior aos resultados obtidos com a solução completa.

A produção de matéria seca total, da parte aérea e das raízes também foi afetada pela omissão de nutrientes, sendo os menores valores encontrados quando foram omitidos os nutrientes potássio e cálcio, embora não tenham diferido estatisticamente dos demais tratamentos de omissão (Tabela 3). Trabalhos desenvolvidos com espécies da mesma família do cedro-australiano, observaram que as limitações na produção de matéria seca da parte aérea, raízes e total foram observadas quando submeteu-se as mudas à omissão de nitrogênio e magnésio em *Cedrela fissilis* –cedro (SILVA e MUNIZ, 1995), à omissão de fósforo em *Cedrela odorata* – cedro-rosa (LOCATELLI et al., 2007) e à omissão de nitrogênio, potássio e cálcio em *Swietenia macrophylla* – mogno (WALLAU et al., 2008). Estes resultados evidenciam o comportamento distinto de espécies da mesma família às exigências nutricionais.

A redução matéria seca total das mudas de cedro-australiano foi menor com a omissão de K (8,2 %) e maior com as omissões de P (27,1 %) e Mg (23,2 %). Resultados semelhantes foram observados por LOCATELLI et al. (2007) para cedro-rosa, onde a redução de matéria seca foi menor com a omissão de potássio (9,93%) e maior com a omissão de fósforo (60,16%).

Os valores obtidos, no que diz respeito à produção de matéria seca da parte aérea, mostraram que o crescimento relativo obedeceu a seguinte ordem decrescente para o cedro-australiano: Completa > -P > -Mg > -N > -K > -Ca. Para a espécie cedro-rosa LOCATELLI et al. (2007), apresentaram a seguinte ordem decrescente para macronutrientes, no que refere a produção de matéria seca da parte aérea e raiz: Completa > -K > -Ca > -N > -Mg > -P. Em mudas de cedro, SILVA e MUNIZ (1995) verificaram que o decréscimo da produção de matéria seca ocorreu na seguinte ordem decrescente: Completa > -S > -Ca > -K > -P > -N > -Mg.

Na Tabela 3, observou-se que as plantas submetidas à omissão de K e Ca apresentaram alta relação raiz/parte aérea (RPA), indicando maior biomassa da raiz em relação à matéria seca da parte aérea, que ocorre quando uma planta apresenta deficiência destes nutrientes (MARSCHNER, 1997).

Tabela 3. Matéria seca de raízes, parte aérea (caule e folhas), total e relação raiz/parte aérea de mudas de *Toona ciliata* submetidas a diferentes soluções com omissão de macronutrientes, avaliados aos 120 dias, em casa de vegetação. Instituto de Agronomia, UFRRJ, Seropédica, RJ

Tratamento	Matéria seca (g.planta ⁻¹)			RPA
	Raiz ⁽¹⁾	Parte aérea	Total	
Sol. completa	2,68 a	15,98 a	18,66 a	0,17 c
- N	1,19 b	1,93 b	3,13 b	0,63 ab
- P	1,50 b	3,54 b	5,05 b	0,44 bc
- K	0,53 b	1,01 b	1,54 b	0,75 ab
- Ca	0,73 b	0,74 b	1,47 b	1,05 a
- Mg	1,04 b	3,27 b	4,32 b	0,40 bc

⁽¹⁾ Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem pelo teste de Duncan, a 5%.

3.2. Teores e acúmulos de macronutrientes

Nitrogênio

Os teores e acúmulos de N nas diversas partes da planta de cedro-australiano encontram-se na Tabela 4. Nas raízes foi observado menor teor de N, em plantas submetidas a omissão de N, nas demais omissões os valores foram equivalentes aos da solução completa. A omissão de N reduziu o teor desse nutriente nas raízes quando comparado ao tratamento completo, exceto na parte aérea, em que o teor de foi $16,55 \text{ g.kg}^{-1}$, contra $18,25 \text{ g.kg}^{-1}$ no tratamento completo. Possivelmente, houve efeito de concentração, devido à baixa produção de biomassa da espécie na ausência do N (LANZA et al., 1996), evidenciando a exigência do nutriente no desenvolvimento inicial do cedro-australiano.

Os teores e acúmulos de N encontrados nas plantas de cedro-australiano submetidas ao tratamento com omissão deste nutriente foram decorrentes da disponibilidade deste, no tecido de reserva das sementes e no substrato comercial utilizado para a produção das plântulas, antes da implantação do experimento.

Os maiores teores observados na parte aérea se deram quando as plantas foram submetidas a omissão de P, K e Ca, sendo tais resultados superiores ao tratamento controle, solução nutritiva completa. A omissão de Ca proporcionou maior teor de N na parte aérea devido à maior disponibilidade de N na forma amoniacal (MENDONÇA et al., 1999).

Tabela 4. Teores e acúmulos de N na parte aérea, raiz e planta inteira de *Toona ciliata*, aos 120 dias após a implantação do experimento em casa de vegetação. Instituto de Agronomia, UFRRJ, Seropédica, RJ

Tratamento	Teor (g.kg^{-1})			Acúmulo (g.planta^{-1})		
	PA ⁽¹⁾	Raiz	Total	PA	Raiz	Total
Sol. completa	18,25 c	22,61 a	40,87 b	0,290 a	0,060 a	0,351 a
Omissão de N	16,55 c	14,46 b	31,00 c	0,032 b	0,017 b	0,049 b
Omissão de P	25,98 a	23,12 a	49,10 a	0,091 b	0,034 b	0,125 b
Omissão de K	25,79 a	25,06 a	50,85 a	0,026 b	0,013 b	0,039 b
Omissão de Ca	24,43 a	24,28 a	48,71 a	0,018 b	0,018 b	0,036 b
Omissão de Mg	21,57 b	24,90 a	46,48 a	0,070 b	0,026 b	0,096 b

⁽¹⁾Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Duncan, a 5%.

De acordo com MALAVOLTA et al. (1997), os teores foliares de nitrogênio considerados adequados para as essências florestais variam de 12 a 35 g.kg^{-1} . Os teores encontrados nesse estudo no tratamento completo e na omissão de N foram de 18,25 e $16,55 \text{ g.kg}^{-1}$ na parte aérea, respectivamente.

Com relação ao acúmulo de N, os tratamentos de omissão de macronutrientes não superaram os resultados da solução completa, devido a redução observada na produção de matéria seca das plantas da espécie estudada. Na solução completa o acúmulo total de N foi $0,351 \text{ g.planta}^{-1}$ e no tratamento com omissão de N, $0,049 \text{ g.planta}^{-1}$. A parte aérea acumulou mais nitrogênio do que as raízes das plantas de cedro-australiano, independente do tratamento, com exceção ao tratamento com omissão de Ca.

Fósforo

Na Tabela 5 são apresentados os teores de P nas várias partes da planta em função dos tratamentos. Verificou-se que a omissão de P reduziu significativamente a concentração desse nutriente nas raízes de plantas de cedro-australiano, quando comparada ao tratamento completo.

Com relação aos teores e acúmulos de P encontrados nas plantas de cedro-australiano submetidas ao tratamento com omissão deste nutriente foram decorrentes da disponibilidade

deste, no tecido de reserva das sementes e no substrato comercial utilizado para a produção das plântulas, antes da implantação do experimento.

As omissões de N e Ca da solução nutritiva proporcionaram aumento na concentração de P na parte aérea em relação a solução completa, nas demais omissões houve redução no teor de P na parte aérea, porém não foram observadas diferenças significativas. Nas raízes, independente da omissão, houve redução dos teores de P.

Tabela 5. Teores e acúmulos de P na parte aérea, raiz e planta inteira de *Toona ciliata*, aos 120 dias após a implantação do experimento em casa de vegetação. Instituto de Agronomia, UFRRJ, Seropédica, RJ

Tratamento	Teor (g.kg ⁻¹)			Acúmulo (g.planta ⁻¹)		
	PA ⁽¹⁾	Raiz	Total	PA	Raiz	Total
Sol. completa	1,62 a	4,08 a	5,70 a	0,027 a	0,011 a	0,038 a
Omissão de N	2,27 a	1,84 b	4,11 a	0,004 b	0,002 b	0,006 b
Omissão de P	0,85 a	0,14 b	0,98 b	0,002 b	0,000 b	0,002 b
Omissão de K	1,51 a	1,56 b	3,07 ab	0,001 b	0,001 b	0,002 b
Omissão de Ca	1,98 a	1,72 b	3,69 ab	0,002 b	0,001 b	0,003 b
Omissão de Mg	1,20 a	1,93 b	3,12 ab	0,005 b	0,003 b	0,008 b

⁽¹⁾Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Duncan, a 5%.

Teores foliares de fósforo considerados adequados para as essências florestais estão na faixa de 1,0 a 2,3g.kg⁻¹ (MALAVOLTA et al., 1997). Neste trabalho foram encontrados valores de 1,62 e 0,85 g.kg⁻¹ na parte aérea de plantas submetidas à solução completa e a solução com omissão de P, respectivamente.

Os acúmulos de P (Tabela 5) na parte aérea, raiz e total apresentaram comportamento semelhante em todas as omissões, os valores foram inferiores aos obtidos em solução nutritiva completa, devido à redução da produção de matéria seca das plantas de cedro-australiano.

Potássio

A Tabela 6 contém os valores dos teores e acúmulos médios de K nas diversas partes da planta de cedro-australiano. O teor de K no tratamento com omissão de K foi menor na raiz (13,20 g.kg⁻¹) em comparação com o tratamento de solução completa, isto se deve a alta mobilidade deste nutriente nas plantas.

Os teores e acúmulos de K encontrados nas plantas de cedro-australiano submetidas ao tratamento com omissão deste nutriente foram decorrentes da disponibilidade deste, no tecido de reserva das sementes e no substrato comercial utilizado para a produção das plântulas, antes da implantação do experimento.

Tabela 6. Teores e acúmulos de K na parte aérea, raiz e planta inteira de *Toona ciliata*, aos 120 dias após a implantação do experimento em casa de vegetação. Instituto de Agronomia, UFRRJ, Seropédica, RJ

Tratamento	Teor (g.kg ⁻¹)			Acúmulo (g.planta ⁻¹)		
	PA ⁽¹⁾	Raiz	Total	PA	Raiz	Total
Sol. completa	19,15 c	20,76 ab	39,91 b	0,304 a	0,055 a	0,360 a
Omissão de N	24,07 b	24,63 a	48,71 a	0,047 b	0,029 b	0,076 b
Omissão de P	20,04 c	19,13 bc	39,17 b	0,068 b	0,030 b	0,099 b
Omissão de K	17,35 c	13,20 d	30,56 c	0,017 b	0,007 c	0,024 b
Omissão de Ca	30,79 a	15,49 cd	46,28 a	0,023 b	0,011 bc	0,034 b
Omissão de Mg	26,78 b	18,51 bc	45,29 a	0,088 b	0,018 bc	0,106 b

⁽¹⁾Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Duncan, a 5%.

Em relação aos demais tratamentos, as omissões de N, Ca e Mg da solução nutritiva proporcionaram aumentos nos teores de K na parte aérea. Vários íons podem competir com a absorção de K, como o amônio (NH_4^+), Ca^{2+} e Mg^{2+} (MARSCHNER, 1997).

Ainda, no tratamento com omissão de Ca, a alta mobilidade do K na planta ocasionou maior teor de K na parte aérea, justificando a maior absorção deste nutriente na presença de baixa concentração de Ca.

Na raiz, os tratamentos com solução completa e omissão de N apresentaram os maiores teores de K e o menor teor na raiz foi observado quando as plantas foram submetidas a omissão deste nutriente.

Teores foliares entre 10 a 15g.kg^{-1} de potássio são considerados adequados para as essências florestais (MALAVOLTA et al., 1997). Os teores de potássio observados na parte aérea das plantas sob tratamento completo foram de $19,15\text{g.kg}^{-1}$ e na omissão deste de $17,35\text{g.kg}^{-1}$, demonstrando que o cedro-australiano é uma espécie exigente neste nutriente.

Os resultados de acúmulo de K na parte aérea, raiz e total apresentaram comportamento semelhante ao acúmulo de N e P, valores inferiores ao tratamento com solução completa, devido à redução da produção de matéria seca das plantas submetidas a omissão de macronutrientes. Em todos os tratamentos houve maior acúmulo de potássio na parte aérea das plantas de cedro-australiano.

Cálcio

Os teores e acúmulos de Ca detectados na parte aérea e raiz de plantas de cedro-australiano, em função dos tratamentos, estão apresentadas na Tabela 7. Estatisticamente, a omissão de Mg e K aumentaram significativamente o teor de Ca na parte aérea das plantas. Com relação aos teores de Ca na raiz, apenas a omissão deste nutriente apresentou resultado inferior aos tratamentos de solução completa e demais omissões.

Os teores e acúmulos de Ca encontrados nas plantas de cedro-australiano submetidas ao tratamento com omissão deste nutriente foram decorrentes da disponibilidade deste, no tecido de reserva das sementes e no substrato comercial utilizado para a produção das plântulas, antes da implantação do experimento.

Tabela 7. Teores e acúmulos de Ca na parte aérea, raiz e planta inteira de *Toona ciliata*, aos 120 dias após a implantação do experimento em casa de vegetação. Instituto de Agronomia, UFRRJ, Seropédica, RJ

Tratamento	Teor (g.kg^{-1})			Acúmulo (g.planta^{-1})		
	PA ⁽¹⁾	Raiz	Total	PA	Raiz	Total
Sol. completa	1,94 b	2,47 a	4,41 c	0,031 a	0,006 a	0,037 a
Omissão de N	3,39 ab	2,72 a	6,11 bc	0,006 bc	0,003 b	0,010 bc
Omissão de P	3,27 ab	3,08 a	6,35 bc	0,012 bc	0,004 b	0,016 b
Omissão de K	6,11 a	3,85 a	9,97 a	0,006 bc	0,002 bc	0,008 bc
Omissão de Ca	0,66 b	0,61 b	1,28 d	0,001 c	0,000 c	0,001 c
Omissão de Mg	5,52 a	3,33 a	8,85 ab	0,016 b	0,004 b	0,020 b

⁽¹⁾Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Duncan, a 5%.

Os maiores teores de Ca ocorreram na parte aérea, possivelmente decorrente da alta taxa de transpiração das plantas, pois o Ca é transportado unidirecionalmente pelo xilema, via corrente transpiratória, das raízes para a parte aérea (MENGEL e KIRKBY, 1987). Isto é justificável devido o experimento ter sido conduzido em casa de vegetação, onde as temperaturas são mais altas (Tabela 2, capítulo II).

A omissão de Ca reduziu drasticamente os teores desse nutriente em todas as partes da planta, quando comparados aos demais tratamentos. As omissões de K e Mg promoveram

aumentos nos teores de Ca na parte aérea e raízes. Quando a disponibilidade de K e Mg são baixas, tendem a aumentar a absorção de Ca (MARSCHNER, 1997).

Segundo MALAVOLTA et al. (1997), teores foliares de cálcio entre 3,0 a 12,0g.kg⁻¹ são considerados adequados para as essências florestais. Neste trabalho foram encontrados teores na parte aérea de plantas de cedro-australiano de 1,94 g.kg⁻¹ no tratamento com solução completa e 0,66 g.kg⁻¹ no tratamento com omissão de cálcio, o que está abaixo da concentração sugerida por MALAVOLTA et al. (1997).

Os resultados de acúmulo de Ca nas diferentes partes das plantas apresentaram efeito semelhante aos acúmulos de N, P e K. Independente do tratamento, a parte aérea de plantas de cedro-australiano acumulou mais cálcio do que as raízes.

Magnésio

Os resultados dos teores e acúmulos de Mg na parte aérea, raiz e total de plantas de cedro-australiano estão apresentados na Tabela 8. A omissão de Mg reduziu os teores desse nutriente em todas as partes da planta, quando comparada com o tratamento completo e aos demais tratamentos de omissão.

Os valores encontrados nos teores e acúmulos de Mg nas plantas de cedro-australiano submetidas ao tratamento com omissão deste nutriente foram decorrentes da disponibilidade deste, no tecido de reserva das sementes e no substrato comercial utilizado para a produção das plântulas, antes da implantação do experimento.

Os maiores teores de Mg na parte aérea foram observados nos tratamentos com omissão de K e Ca, seguidos dos tratamentos com omissão de N e P. De acordo com MARSCHNER (1997), existe um antagonismo entre Ca, Mg e K, em que o aumento na concentração de um destes nutrientes no meio implica na diminuição da absorção dos outros, o que explica os altos teores de Mg nos tratamentos com a omissão de Ca e de K. Ainda, segundo o mesmo autor, outro íon que pode competir com a absorção de Mg é o amônio, NH⁴⁺.

Teores foliares de magnésio em essências florestais de 1,5 a 5,0g.kg⁻¹ são considerados adequados, conforme MALAVOLTA et al. (1997). Foram encontrados valores de 2,00 g.kg⁻¹ na parte aérea de plantas submetidas a solução completa e 1,04 g.kg⁻¹ para as plantas submetidas à solução com omissão de magnésio.

Tabela 8. Teores e acúmulos de Mg na parte aérea, raiz e planta inteira de *Toona ciliata*, aos 120 dias após a implantação do experimento em casa de vegetação. Instituto de Agronomia, UFRRJ, Seropédica, RJ

Tratamento	Teor (g.kg ⁻¹)			Acúmulo (g.planta ⁻¹)		
	PA ⁽¹⁾	Raiz	Total	PA	Raiz	Total
Sol. completa	2,00 c	2,22 c	4,22 c	0,032 a	0,006 a	0,038 a
Omissão de N	2,86 b	3,01 b	5,87 b	0,006 b	0,004 b	0,009 b
Omissão de P	2,69 b	2,16 c	4,85 c	0,009 b	0,003 bc	0,012 b
Omissão de K	3,85 a	2,38 c	6,22 b	0,004 b	0,001 c	0,005 b
Omissão de Ca	3,37 a	4,22 a	7,60 a	0,002 b	0,003 bc	0,006 b
Omissão de Mg	1,04 d	0,77 d	1,82 d	0,003 b	0,001 c	0,004 b

⁽¹⁾Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Duncan, a 5%.

Com relação aos acúmulos, os resultados demonstraram comportamento semelhante aos demais macronutrientes. Os resultados demonstraram que ocorreu maior acúmulo de magnésio na parte aérea do que nas raízes de plantas de cedro-australiano, com exceção do tratamento com omissão de Ca.

3.3. Sintomatologia de deficiência

Com relação à sintomatologia de deficiência de macronutrientes em plantas de cedro-australiano, os sintomas foram semelhantes aos relatados por SILVA e MUNIZ (1995) com *Cedrela fissillis* (cedro), OLIVEIRA et al. (2005) com *Azadirachta indica* (nim-indiano) e por WALLAU et al. (2008) com *Swietenia macrophylla* (mogno), ambas pertencentes à família Meliaceae.

Nitrogênio

Inicialmente, perda da cor verde natural das folhas, que foi substituída pela coloração verde citrina das folhas mais velhas. Com o progredir dos sintomas, todas as folhas tiveram amarelecimento generalizado, incluindo as nervuras, além da redução do crescimento do sistema radicular e da parte aérea das mudas (Figura 1).



Figura 1. Fotografias mostrando uma planta de cedro-australiano submetida a tratamento com omissão de nitrogênio (A) e um comparativo com uma planta desenvolvida em solução completa (B) em casa de vegetação. Instituto de Agronomia, UFRRJ, Seropédica, RJ

Fósforo



Figura 2. Fotografias mostrando uma planta de cedro-australiano submetida a tratamento com omissão de fósforo (A) e um comparativo com uma planta desenvolvida em solução completa (B) em casa de vegetação. Instituto de Agronomia, UFRRJ, Seropédica, RJ

Redução do crescimento, folhas pequenas e de coloração verde-intensa progredindo para folhas com manchas amarelas. Folhas mais velhas, com manchas cloróticas irregulares, de coloração verde-limão. Com a acentuação dos sintomas, a cor das folhas mais velhas progrediu para amarelo-castanho, dos bordos para o centro do limbo. As folhas mais velhas secam e caem, restando poucas folhas nas plantas (Figura 2).

Potássio

Inicialmente, aparecimento de pequenos pontos cloróticos nas folhas mais velhas. Estes pontos progrediram, tomando a maior parte das folhas e transformando-as em manchas escuras, especialmente nas margens dos folíolos, com posterior queda dos mesmos. Plantas com porte reduzido (Figura 3).



Figura 3. Fotografias mostrando uma planta de cedro-australiano submetida a tratamento com omissão de potássio (A) e um comparativo com uma planta desenvolvida em solução completa (B) em casa de vegetação. Instituto de Agronomia, UFRRJ, Seropédica, RJ

Cálcio



Figura 4. Fotografias mostrando uma planta de cedro-australiano submetida a tratamento com omissão de cálcio (A) e um comparativo com uma planta desenvolvida em solução completa (B) em casa de vegetação. Instituto de Agronomia, UFRRJ, Seropédica, RJ

As plantas apresentam as folhas superiores coriáceas, quebradiças, encurvadas, com reduzido crescimento radicular e do caule. Os folíolos apresentam clorose internerval e as nervuras, no início dos sintomas, apresentam tonalidade amarelada, passando, em seguida, a confundir-se com a clorose geral do limbo. Os sintomas iniciais da carência de cálcio manifestam-se por uma coloração verde-clara de todas as folhas da planta.

As folhas mais velhas, além dessa coloração anormal, secam e caem em grande quantidade. Em contraposição, as folhas recém-nascidas apresentam coloração verde-clara, que é acompanhada pela morte das gemas apicais (Figura 4).

Magnésio

Os primeiros sintomas manifestaram-se nos folíolos medianos, como manchas cloróticas, que progrediram, principalmente, próximo à nervura central, seguida do secamento e enrolamento das bordas dos folíolos. Crescimento radicular reduzido. Ocorre superbrotação (Figura 5).



Figura 5. Fotografias mostrando uma planta de cedro-australiano submetida a tratamento com omissão de magnésio (A) e um comparativo com uma planta desenvolvida em solução completa (B) em casa de vegetação. Instituto de Agronomia, UFRRJ, Seropédica, RJ

4. CONCLUSÕES

A omissão de K foi a que mais afetou o crescimento em altura.

Todos os tratamentos, com exceção do tratamento com solução completa, limitaram o desenvolvimento em diâmetro das plantas de cedro-australiano.

A produção de matéria seca total das plantas foi afetada em todos os tratamentos com omissão de nutrientes, obedecendo a seguinte ordem decrescente: Completo > -P > -Mg > -N > -K > -Ca.

O crescimento inicial de mudas de *Toona ciliata* foi afetado pela omissão de todos os macronutrientes, sendo os sintomas semelhantes aos sintomas de outras espécies da mesma família. Os danos mais intensos e imediatos foram observados na omissão de K e Ca.

Toona ciliata var *australis* demonstrou acumular macronutrientes na seguinte ordem decrescente: K > N > Mg > Ca > P.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BARROS, N.F. de; NEVES, J.C.; NOVAIS, R.F. Recomendações de fertilizantes minerais em plantios de eucalipto. In: GONÇALVES, J.L.M.; BENEDETTI, V. **Nutrição e fertilização florestal**. Piracicaba: IPEF, p. 269-286, 2000.
- BRIDGHAM, S.D.; PASTOR, J.; McCLAUGHERTY, C.A.; RICHARDSON, C.J. Nutrient-use efficiency: a litterfall index, a model, and a test along a nutrientavailability gradient in North Carolina peatlands. **The American Naturalist**, Chicago, v.145, n.1, p.1-21, 1995.
- FURTINI NETO, A.E.; RESENDE, A.V.; VALE, F.R.; FAQUIN, V.; FERNANDES, L.A. Acidez do solo, crescimento e nutrição mineral de algumas espécies arbóreas, na fase de muda. **Cerne**, Lavras, v.5, n.2, p.01-12, 1999.
- GONÇALVES, J.L.M.; KAGEYAMA, P.Y.; FREIXÊDAS, V.M.; GONÇALVES, J.C.; GERES, W.L.A. Capacidade de absorção e eficiência nutricional de algumas espécies arbóreas tropicais. **Revista do Instituto Florestal**, São Paulo, v.4, pt 2, p. 463-469, 1992.
- GONÇALVES, J.L.M.; SANTARELLI, E.G; MORAES NETO, S.P. Produção de mudas de espécies nativas: substrato, nutrição, sombreamento e fertilização. In: GONÇALVES, J.L.M.; BENEDETTI, V. (Ed.) **Nutrição e fertilização florestal**. Piracicaba: IPEF, p.3-57, 2000.
- GOURLEY, C.J.P.; ALLAN, D.L.; RUSSELLE, M.P. Plant nutrient efficiency: a comparison of definitions and suggested improvement. **Plant and Soil**, Dordrecht, v.158, n.1, p.29-37, 1994.
- LAMBERS, H.; POORTER, H. Inherent variations in growth rate between higher plants: A search for fisiological causes and ecological consequences. **Advances in Ecological Research**, London, v.23, p.188-261, 1992.
- LANZA, T.C.L., MOTA, P.E.F.da, LACERDA, M.P.C., CARVALHO, J.G.de. Crescimento inicial do paricá (*Schizolobium amazonicum*) afetado pela omissão de macronutrientes, em solução nutritiva . REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DE SOLO E NUTRIÇÃO E PLANTAS 22, 1996, Manaus. **Anais ...** Manaus: UFAM, 1996. p. 363-364.
- LEITÃO, A.C.; SILVA, O.A. Variação sazonal de macronutrientes em uma espécie arbórea de cerrado, na Reserva Biológica e Estação Experimental de Mogi-Guaçu, estado de São Paulo, Brasil. **Rodriguesia**, Rio de Janeiro, v.55, n.84, p.127-136, 2004.
- LOCATELLI, M.; MACÊDO, R.S.; VIEIRA, A.H. Avaliação da altura e diâmetro de mudas de cedro rosa (*Cedrela odorata* L.) submetidas a diferentes deficiências nutricionais. **Revista Brasileira de Biociências**, Porto Alegre, v.5, supl.2, p.645-647, 2007.
- MALAVOLTA, E; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A.de. **Avaliação do estado nutricional das plantas** - princípios e aplicações. 2.ed. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1997. 319p.
- MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 2. ed. San Diego: Academic, 1997. 889p.

- MARTINS, G.C.; MELLONI, R.; CARVALHO, J.G.de; SILVA, R.B.da. Efeito da omissão de macronutrientes no crescimento de mudas de andiroba (*Carapa guianensis* Aubl.). **Anais da FERTBIO 2000**. Santa Maria: [s.n], 2000. 177p.
- MENDONÇA, A.V.R.; NOGUEIRA, F.D.; VENTURIN, N.; SOUZA, J.S. Exigências nutricionais de *Myracrodruon urundeuva* Fr. *All* (aroeira do sertão). **Cerne**, Lavras, v.5, n.2, p.65-75, 1999.
- MENGEL, K.; KIRKBY, E.A. **Principles of plant nutrition**. Berne: International Potash Institute, 1987. 593p.
- OLIVEIRA, I.P.; NEVES, B.P.; MOREIRA, F.P.; COSTA, K.A.P. Manejo sustentável e nutrição mineral do nim indiano. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão. 2005. 16p. (**Comunicado Técnico 10**).
- SILVA, I.R.; FURTINI NETO, A.E.; VALE, F.R.; CURI, N. Absorção de nutrientes em espécies florestais sob influência da adubação potássica. **Revista do Instituto Florestal**, São Paulo, v.8, n.2, p. 99-108, 1996a.
- SILVA, I.R.; FURTINI NETO, A.E.; VALE, F.R.; CURI, N. Eficiência nutricional para potássio em espécies florestais nativas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.20, n.2, p. 257-264, 1996b.
- SILVA, M.A.G.; MUNIZ, A.S. Exigências nutricionais de cedro (*Cedrella fissilis*) em solução nutritiva. **Revista Árvore**, Viçosa, v.19, p.415-425, 1995.
- TEDESCO, M.J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C.A.; BOHNEN, H.; VOLKWEISS, S.J. **Análises de solo, plantas e outros minerais**. 2ed. Porto Alegre: UFRGS, 1995. 174p.
- WALLAU, R.L.R.; BORGES, A.R.; ALMEIDA, D.R.; CAMARGOS, S.L. Sintomas de deficiências nutricionais em mudas de mogno cultivadas em solução nutritiva. **Cerne**, Lavras, v.14, n.4, p.304-310, 2008.

CAPÍTULO IV

COMPORTAMENTO DE *Toona ciliata* M. ROEM. var. *australis* NA PRESENÇA DE ALUMÍNIO

RESUMO

O presente trabalho objetivou estudar o comportamento do cedro-australiano (*Toona ciliata* M. Roem. var. *australis*) na presença de alumínio. Conduziu-se o experimento em casa-de-vegetação do Instituto de Agronomia, da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, sendo as plantas cultivadas em solução nutritiva de Hoagland & Arnon diluída 1/4 (25 % da força iônica), com pH $4,0 \pm 0,1$, em três concentrações de Al^{+3} : 0, 5 e 20 $mg.L^{-1}$. Foram realizadas avaliações mensais durante 120 dias de experimento, altura de plantas, diâmetro do coleto, observações visuais de sintomatologia de toxidez, sendo que na avaliação final foram determinados o peso de matéria seca da parte aérea (MSPA), da raiz (MSR) e total (MST), relação raiz/parte aérea (RPA), teor e acúmulo de macronutrientes na parte aérea, raiz e total. O crescimento, teor e acúmulo de nutrientes em plantas de *Toona ciliata* foram estimulados na presença de $5mg.L^{-1}$ de alumínio. A adição de $20 mg.L^{-1}$ de Al reduziu o crescimento das plantas e o acúmulo de macronutrientes, na seguinte ordem decrescente: $Ca > Mg > N > P > K$. Os sintomas visuais de fitotoxidez associados à dose de $20 mg.L^{-1}$ de Al foram típicos da toxidez a este elemento, além das folhas apresentarem coloração verde intensa progredindo para o amarelecimento; com a acentuação dos sintomas, as folhas mais velhas progrediram para amarelo-castanho, dos bordos para o centro do limbo e enrolamento ou encurvamento de folhas novas.

Palavras-chave: Tolerância a alumínio, toxidez ao alumínio, cedro-australiano.

ABSTRACT

The purpose of this work was to study the behavior of the Australian red cedar (*Toona ciliata* M. Roem. var. *australis*) in the aluminum presence. The experiment was conducted in greenhouse of the Institute of Agronomy, the Agricultural Federal University of Rio De Janeiro, being the plants cultivated in nutritive solution of Hoagland & Arnon diluted 1/4, with pH 4,0 ±0,1, in three concentrations of Al⁺³: 0, 5 and 20 mg.L⁻¹. Monthly during 120 experiment days, were determined plants height, stem diameter, visual diagnosis of toxicity. And, in the final of evaluation it were determined the dry weight of the aerial part, root and total, relation root/aerial part (RPA), macronutrients content and accumulation in the aerial part, root and total. The growth, nutrients content and accumulation in *Toona ciliata* plants were stimulated in the presence of 5 mg.L⁻¹ of aluminum. The addition of 20 mg.L⁻¹ de Al reduced the growth of the plants and macronutrients accumulation, in the following decreasing order: Ca > Mg > N > P > K. The visual symptoms of fitotoxicity had been typical to this element, beyond of the leaf with intense green coloration progressing for the yellow; the leaves oldest had progressed for yellow-brown, the edges to the limb center; and curving of new leaves.

Key words: Aluminum tolerance, aluminum toxicity, Australian red cedar.

1. INTRODUÇÃO

A toxicidade causada pelo alumínio é importante fator limitante do crescimento vegetal, ocorrendo em solos ácidos com valores de pH inferiores a 5,0 (KOCHIAN, 1995; FURTINI NETO et al., 1999).

De uma maneira geral, o alumínio pode interferir na divisão celular das raízes, fixar o fósforo em formas menos disponíveis no solo e/ou nas raízes, diminuir a respiração radicular, interferir em enzimas que governam a deposição de polissacarídeos nas paredes celulares, bem como causar o aumento da rigidez dessas, além de interferir na absorção, no transporte e na utilização de muitos nutrientes, tais como cálcio, magnésio, fósforo, potássio e água (KOCHIAN, 1995).

Inúmeros autores têm relatado como primeiros sintomas observados da toxicidade por alumínio, aqueles relacionados à diminuição do crescimento das raízes (OLIVEIRA e RENA, 1989; MILLARD et al., 1990; CAMBRAIA et al., 1991; FRÁGUAS, 1993; BALIGAR et al., 1995; JAN e PETTERSSON, 1995), que se apresentaram mais curtas e grossas, tornando-se quebradiças e com extremidades escuras, quando expostas ao alumínio (OLIVEIRA e RENA, 1989; DINIZ e CALBO, 1990). A presença do alumínio no meio de cultivo impede que ocorra aumento no tamanho e no número das células (CAMBRAIA et al., 1991), o que é especulado como sendo consequência da ligação do íon ao DNA nuclear, o que resultaria em decréscimo na sua atividade (ALVARENGA et al., 1980; CAMBRAIA et al., 1991). Para entender os mecanismos de toxicidade do Al, é essencial identificar os principais locais envolvidos, efeitos anatômicos e metabólicos, lembrando que o Al pode ter efeitos diversos e agir de maneira diferente em diferentes espécies.

A sintomatologia da toxicidade de alumínio na parte aérea é de difícil identificação, nas diferentes espécies. Em algumas, os sintomas assemelham-se àqueles de deficiência de fósforo, tais como a redução no crescimento de folhas, arroxamento de caule, folhas e nervuras, amarelecimento e morte do ápice foliar (FOY, 1976), pecíolos com coloração púrpura mais intensa e lâminas foliares com coloração verde mais escura (OLIVEIRA e RENA, 1989). Em outras espécies, as plantas podem apresentar sintomas de deficiência de cálcio ou problemas na sua translocação, notando-se o enrolamento ou o encurvamento de folhas novas e colapso dos pontos de crescimento ou pecíolos (FOY, 1976), surgimento de manchas brancas translúcidas nas folhas recém-formadas (OLIVEIRA e RENA, 1989). Os sintomas podem, ainda, assemelhar-se aos de deficiência de nitrogênio, caracterizados pelo amarelecimento de folhas velhas (JARVIS e HATCH, 1987).

Muito se tem estudado, a respeito dos mecanismos fisiológicos da tolerância ao alumínio em plantas e diversos mecanismos, para tentar explicar a tolerância apresentada por algumas plantas ao excesso do metal, como exsudação de ácidos orgânicos da raiz ativados pelo Al e desintoxicação interna do Al. O alumínio não é um elemento essencial ao crescimento vegetal, pois não preenche nenhum dos critérios de essencialidade. Entretanto, sob condições especiais, tais como baixas concentrações do íon no meio de cultivo, ele pode induzir a um aumento no crescimento vegetal e até produzir outros efeitos desejáveis (FOY et al., 1978).

Em síntese, as diferentes espécies vegetais e mesmo diferentes genótipos dentro de uma mesma espécie podem apresentar variados mecanismos fisiológicos determinantes do comportamento diferencial diante do alumínio, adquiridos ao longo do processo evolutivo.

Ao contrário das culturas alimentícias anuais (DINIZ e CALBO, 1990; CAMBRAIA et al., 1991; ARAÚJO et al., 1992; HUANG et al., 1992; BASU et al., 1994; BALIGAR et al., 1995; JAN e PETTERSSON, 1995), as espécies florestais não são contempladas na literatura com grande número de relatos sobre seu comportamento frente ao alumínio.

Solos ácidos com altos teores de Al em ambas as fases sólida e líquida (ALVAREZ et al., 1992) podem causar efeitos tóxicos e desequilíbrios nutricionais em povoamentos florestais. Recentes investigações realizadas em *Pinus radiata* e *Eucalyptus globulus* relataram baixo conteúdo de Ca, Mg e P nas folhas, e os rendimentos de 14 m³.ha⁻¹.ano⁻¹ para *P. radiata* e 20 m³.ha⁻¹.ano⁻¹ para *E. globulus* (SANCHEZ-RODRÍGUEZ et al., 2002; MERINO et al., 2003).

Pouco enfoque tem sido dado para as espécies florestais nativas brasileiras quanto à sua possível adaptação à presença de alumínio. Contudo, em mudas de goiabeira (*Psidium guajava* L.), SALVADOR et al. (2000) observaram que concentrações de Al abaixo de 10,0 mg.L⁻¹ aumentaram a altura da planta e a área foliar, respectivamente, aos 30 e 90 dias de cultivo em solução nutritiva. Por outro lado, nas concentrações mais elevadas, até 25,0 mg.L⁻¹, o crescimento foi reduzido, bem como os teores de macronutrientes e de Fe, Mn e Zn. Para as espécies florestais do hemisfério norte, também tem sido verificado que os sintomas de toxidez somente ocorrem em concentrações acima 10,0 mg.L⁻¹ de Al. KELTJENS e VAN LOENEN (1989) verificaram que na presença de 30,0 mg.L⁻¹ de Al não houve redução de crescimento e de produção de massa seca em *Betula pendula* e *Pinus silvestris*. Já nas espécies *Larix decidua* e *Quercus robur*, houve até um estímulo na produção de massa seca na presença de Al em solução nutritiva. Também SCHIER (1985) observou efeitos negativos no crescimento de *Picea rubens* e *Abies balsamae*, somente em concentrações de Al³⁺ superiores a 50,0 mg.L⁻¹.

Na maioria das espécies vegetais, especialmente as sensíveis ao Al, a absorção de Al é limitado principalmente ao sistema radicular, onde se acumula predominantemente na epiderme e no córtex externo (MATSUMOTO et al., 1996). A endoderme eventualmente age como uma barreira e o transporte para a parte aérea e folhas é geralmente pequeno. No entanto, existem muitas espécies de plantas que acumulam Al em grande quantidade na parte aérea (JANSEN et al., 2002; WATANABE e OSAKI, 2002). Tais plantas que acumulam excessiva quantidade de metais são plantas lenhosas, principalmente em regiões tropicais ou subtropicais, como algumas espécies nativas do cerrado, como *Qualea grandiflora* (pau-terra), *Miconia albicans* (folha-branca) e *Vochysia thyrsoidea* (pau-d'água) (HARIDASAN et al., 1986; HARIDASAN e DEARAUJO, 1988).

Exemplo clássico é o acúmulo excessivo de metais em hortênsia e membros da família Rubiaceae. Infelizmente, não há muita informação na literatura quanto aos mecanismos, localização celular e formas químicas do Al que se acumula nessas plantas. Em folhas de hortênsia, Al foi encontrado como um complexo com citrato (MA et al., 1997) e nas hiperacumuladoras *Melastoma malabathricum* (azálea-de-cingapura) era oxalato (WATANABE et al., 1998). Menos ainda se sabe sobre as espécies de Al formadas após a absorção do solo, mas há evidências de que o Al pode ser transportado como espécies de Al-F (NAGATA et al., 1993).

Em trabalho desenvolvido por ALVES et al. (2001) utilizando duas espécies florestais, cássia-verrugosa (*Senna multijuga*) e ipê-mirim (*Tecoma stans*), concluíram que ambas são susceptíveis aos efeitos do íon alumínio, porém em graus diferentes. A cássia-verrugosa apresentou sintomas de toxicidade a partir da concentração de 5 mg.L⁻¹ de alumínio no meio, ao passo que o ipê tolerou a presença do íon até pelo menos 10 mg.L⁻¹, conforme constatado nos valores de quase todos os indicadores de acúmulo de massa seca por essa espécie. Pelos resultados, verificaram que o ipê-mirim deve ser uma espécie com maior tolerância ao alumínio do que a cássia-verrugosa. No entanto, estudos complementares deverão ser realizados para confirmar os resultados, principalmente utilizando-se plantas mais desenvolvidas, pois o trabalho avaliou as plantas após 80 dias da germinação.

Em trabalho semelhante, FORTUNATO e NICOLOSO (2004) submeteram plântulas de grápia (*Apuleia leiocarpa*) em condições de câmara climatizada, cultivadas por 11 dias em

minirizotrons contendo substrato geleificado (7 g.L⁻¹ de ágar) e quatro concentrações de Al³⁺ (0,0; 2,5; 5,0 e 10,0 mg.L⁻¹). Plantas jovens de grápia apresentaram tolerância à presença de Al³⁺ no substrato de cultivo até a concentração de 10,0 mg.L⁻¹.

O objetivo deste trabalho foi estudar o comportamento do cedro-australiano na presença de alumínio.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no Viveiro Florestal do Instituto de Florestas, do Departamento de Silvicultura, em casa de vegetação e no Laboratório de Análise de Solo, Planta e Resíduos, do Instituto de Agronomia, Departamento de Solos, da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, no período de junho de 2008 a janeiro de 2009.

Foram utilizadas sementes de *Toona ciliata* coletadas pela Sociedade de Investigação Florestal (SIF), no Município de Senhora de Oliveira, MG, a 20°47'38" de latitude Sul, 43°20'40" longitude Oeste e aproximadamente 750 m de altitude.

Sementes de *Toona ciliata* foram semeadas em bandejas contendo areia esterilizada. Após 45 dias da semeadura, as plântulas foram repicadas para tubetes plásticos com capacidade de 115 cm³ com substrato comercial Mec plant florestal, produzido a partir da casca de *Pinus* bio-estabilizada, que segundo informações do fabricante apresenta CTC média de 200 mmol_c.kg⁻¹, umidade entre 54 e 58% e densidade (relação peso/volume) entre 360 e 400g/litro. As plântulas permaneceram por 20 dias em casa de sombra e após mantidas em pleno sol no Viveiro Florestal. Quando as plântulas atingiram 5 cm de altura, aos 95 dias após a repicagem, foram submetidas aos tratamentos com solução nutritiva de Hoagland & Arnon modificada diluída 1/4 (25 % da força iônica) (Tabela 1, capítulo II), pH 4,0 ± 0,1, em três concentrações de Al³⁺: 0, 5 e 20 mg.L⁻¹, disponibilizado na fonte AlCl₃.6H₂O, em vasos plásticos com capacidade para 8 litros tampados com isopor contendo quatro perfurações de 2 cm de diâmetro, sendo as plântulas fixadas com espumas.

As soluções foram preparadas com reagentes p.a. diluídos em água destilada e submetidas a aeração intermitente com intervalos de 15 minutos. Diariamente, verificou o volume das soluções e, quando necessário, foi completado com água deionizada. Além disso, realizou aferições do pH das soluções. A correção do pH para 4,0 ± 0,1 foi efetuada com soluções de KOH 0,1M ou HCl 0,1M. A cada sete dias, a solução nutritiva foi substituída, aplicando-se os tratamentos e corrigindo o pH.

Diariamente, em horários pré-definidos 09:00h, 11:00h e 15:00h, foram realizadas leituras de temperaturas máxima, mínima e da hora no momento da leitura e a umidade relativa, com auxílio de termômetro de bulbos seco e úmido (Tabela 2, capítulo II).

O delineamento experimental foi de blocos casualizados, com três tratamentos (concentração de alumínio) e três repetições (blocos), sendo cada repetição constituída por quatro plantas. Para cada período de avaliação foram implantadas três repetições, constituídas por quatro plântulas por vaso. Foram avaliados mensalmente até os 120 dias após a implantação: altura de plantas, diâmetro do coleto, peso de matéria seca da parte aérea (MSPA), peso de matéria seca da raiz (MSR), peso de matéria seca total (MST) e relação raiz/parte aérea (RPA), com base no peso de matéria seca, e teores e acúmulos de macronutrientes na matéria seca da parte aérea, raiz e total.

Durante a condução do experimento, procedeu a caracterização dos sintomas de toxidez ao Al.

As diferentes partes das plantas coletadas foram lavadas em água corrente e, posteriormente, enxaguadas em água destilada, submetidas à secagem em estufa com

temperatura mantida entre 60°C e 70°C, pesadas, moídas em moinho tipo Willey e armazenadas em recipientes hermeticamente fechados. O material foi analisado no Laboratório de Análise de Solo, Planta e Resíduos. Inicialmente, o material moído foi digerido para a obtenção dos extratos, para posterior determinação dos teores de macronutrientes (N, P, K, Ca e Mg) segundo prescrições de TEDESCO et al. (1995).

Os dados foram analisados estatisticamente e quando verificadas diferenças significativas, foram submetidos ao teste de Duncan, a 5%.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com relação à altura da planta (Figura 1), observou-se diferenças significativas a partir dos 60 dias de avaliação após a implantação do experimento, havendo redução da altura de plantas submetidas ao tratamento com adição de 20 mg.L⁻¹ de Al em comparação aos demais. Aos 90 dias, observou-se que a solução sem adição de alumínio apresentou menor incremento em altura com relação aos tratamentos com adição de 5 mg.L⁻¹ de alumínio, ou seja, a adição de alumínio nesta concentração estimulou o crescimento em altura das plantas. Na avaliação final, aos 120 dias, ficou evidenciado a toxidez de plantas de cedro-australiano ao alumínio na concentração de 20 mg.L⁻¹. Resultados semelhantes foram obtidos por SALVADOR et al. (2000), onde soluções com concentrações de alumínio abaixo de 10,0 mg.L⁻¹ aumentaram significativamente a altura de plantas de *Psidium guajava* (goiabeira), já em concentrações mais elevadas, até 25 mg.L⁻¹, o crescimento foi reduzido.

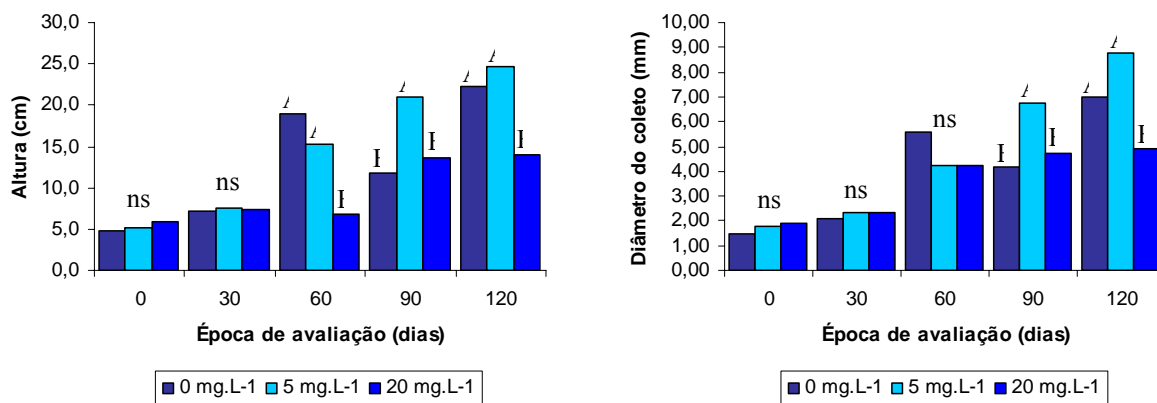


Figura 1. Altura e diâmetro do coleto de mudas de *Toona ciliata* em função dos tratamentos com adição de alumínio, em diferentes épocas de avaliação em casa de vegetação. Instituto de Agronomia, UFRRJ, Seropédica, RJ

Médias seguidas pela mesma letra dentro de cada época de avaliação, não diferem entre si pelo teste de Duncan, a 5%. ^{ns} Não significativo.

As plantas de cedro-australiano apresentaram com relação ao diâmetro do coleto (Figura 1), comportamento semelhante à altura. Porém, diferenças significativas foram observadas a partir de 90 dias de avaliação. Nesta época, as plantas submetidas ao tratamento sem adição de alumínio apresentaram diâmetro do coleto inferior ao do tratamento com adição de 5 mg.L⁻¹ de Al. Aos 120 dias de avaliação evidenciou-se que as plantas apresentaram redução no incremento de diâmetro do coleto em solução com adição de 20 mg.L⁻¹ de alumínio. Ao contrário do cedro-australiano, que apresentou redução de crescimento em solução com adição de 20 mg.L⁻¹, KELTJENS e VAN LOENEN (1989) observaram que *Betula pendula* e *Pinus silvestris* não apresentaram redução de crescimento quando na

presença de 30 mg.L⁻¹ de alumínio. Ficando evidenciado que os limites de toxicidade ao alumínio variam muito entre diferentes espécies e condições ambientais.

Os efeitos estimulantes observados nos resultados obtidos pelas plantas submetidas a solução com adição de 5 mg.L⁻¹ de Al, aos 90 e 120 dias após a implantação (Figuras 1 e 2), também foram encontrados por MULLETE (1975), para *Eucalyptus*; BUENO (1997), para o cupuaçu e SALVADOR et al (2000), para goiabeira. Para FORBES (2000), a estimulação do desempenho de um organismo por pequenas exposições a agentes que seriam prejudiciais ou tóxicos em doses altas de exposição é um fenômeno chamado hormese, e as concentrações de Al que induzem tal efeito são consideradas subtóxicas (por estarem abaixo do limiar de toxicidade).

Tais efeitos, segundo FOY (1974) e ASHER (1991), ainda não são bem conhecidos. Mesmo havendo especulações sobre a sua essencialidade, a ausência de métodos confiáveis e sensíveis para a sua determinação em amostra biológica faz com que a pressuposta essencialidade permaneça ainda no campo das hipóteses (ASHER, 1991). Dentre as dificuldades para estabelecer um conhecimento pleno sobre os efeitos fisiológicos e bioquímicos do Al, destacam-se: a complexidade no entendimento da físico-química do Al; a ausência de radioisótopo adequado; os problemas de contaminação na análise química (FURLANI, 1989).

De qualquer forma, algumas possíveis causas dessa ação benéfica são discutidas por FOY (1974) e MARSCHNER (1997), entre elas, a correção ou prevenção da deficiência de Fe; a liberação de cátions adsorvidos em sítios metabolicamente inativos dentro da planta; o bloqueio de sítios, na parede celular, carregados negativamente, promovendo menor absorção de P; a prevenção da toxidez de Cu e Mn. A possibilidade de propiciar maior equilíbrio de nutrientes no meio de crescimento é uma hipótese defendida por FAGERIA e ZIMMERMANN (1979).

CRONAN e GRIGAL (1995); YANG e CHEN (2001) encontraram uma relação significativa entre os parâmetros associados ao crescimento da planta e a razão Ca/Al na solução do solo, mencionando que os efeitos antagônicos ocorrem em baixos índices de Ca/Al entre 0,2 e 2,5. No caso do trabalho realizado, a relação de Ca/Al na solução nutritiva quando empregou a adição de 5 mg.L⁻¹ foi de 8,0 e com adição de 20 mg.L⁻¹ foi 2,0. Sendo que nesta última houve efeito negativo ao crescimento das plantas de cedro-australiano, podendo esta razão ser considerada para solução nutritiva. Em trabalho de TAKAMI et al. (2005), ficou evidenciado que as plântulas de *Cryptomeria japonica* (cedro-japonês) em solução cuja razão Ca/Al era 1,0, apresentaram redução de crescimento.

A produção de matéria seca da parte aérea (Figura 2) demonstrou diferença significativa a partir dos 90 dias de avaliação, onde observou que o tratamento com adição de 5mg.L⁻¹ de alumínio apresentou maior incremento de matéria seca do que o tratamento sem adição, comportamento semelhante ao observado para altura e diâmetro. Resultados semelhantes foram obtidos por SALVADOR et al. (2000), com goiabeira, onde observou que a comparação do incremento de matéria seca da parte aérea de plantas em solução com concentração até 15 mg.L⁻¹ de alumínio foi superior à testemunha. KELTJENS e VAN LOENEN (1989) observaram estímulo a produção de matéria seca de plantas de *Larix decidua* e *Quercus robur* na presença de alumínio. Também SHIER (1985), observou efeitos positivos no crescimento de *Picea rubens* e *Abies balsamae* na presença de Al, se tornando negativos em concentrações superiores a 50 mg.L⁻¹.

Aos 120 dias, observou-se redução da matéria seca da parte aérea, quando empregada solução com 20 mg.L⁻¹ de Al; este resultado confirmou os previamente relatados na literatura (RENGEL, 1990) de que a restrição ao desenvolvimento radicular seria a responsável por decréscimos no rendimento da parte aérea, como evidenciaram DELAÚ-FILHO et al. (1989) para plantas jovens de seringueira.

A restrição a produção de matéria seca das raízes foi observada a partir dos 60 dias (Figura 2), em plantas submetidas à solução com adição de 20 mg.L⁻¹ de alumínio, sendo esta redução acompanhada por decréscimos na fitomassa seca da parte aérea. Este comportamento foi observado até a avaliação final, evidenciando que a partir dos 90 dias, a presença de alumínio a 5 mg.L⁻¹ promoveu um estímulo ao desenvolvimento radicular da espécie estudada. Comportamento diferente ao cedro-australiano apresentou a espécie *Cassia multijuga* (cássia-verrugosa), que apresentou redução significativa na matéria seca de raízes na concentração de 5 mg.L⁻¹ de alumínio (ALVES et al., 2001). Neste mesmo trabalho, esta redução para a espécie *Tecoma stans* (ipê-mirim) foi observada na concentração de 20 mg.L⁻¹, demonstrando que esta espécie é mais tolerante ao alumínio que a cássia-verrugosa.

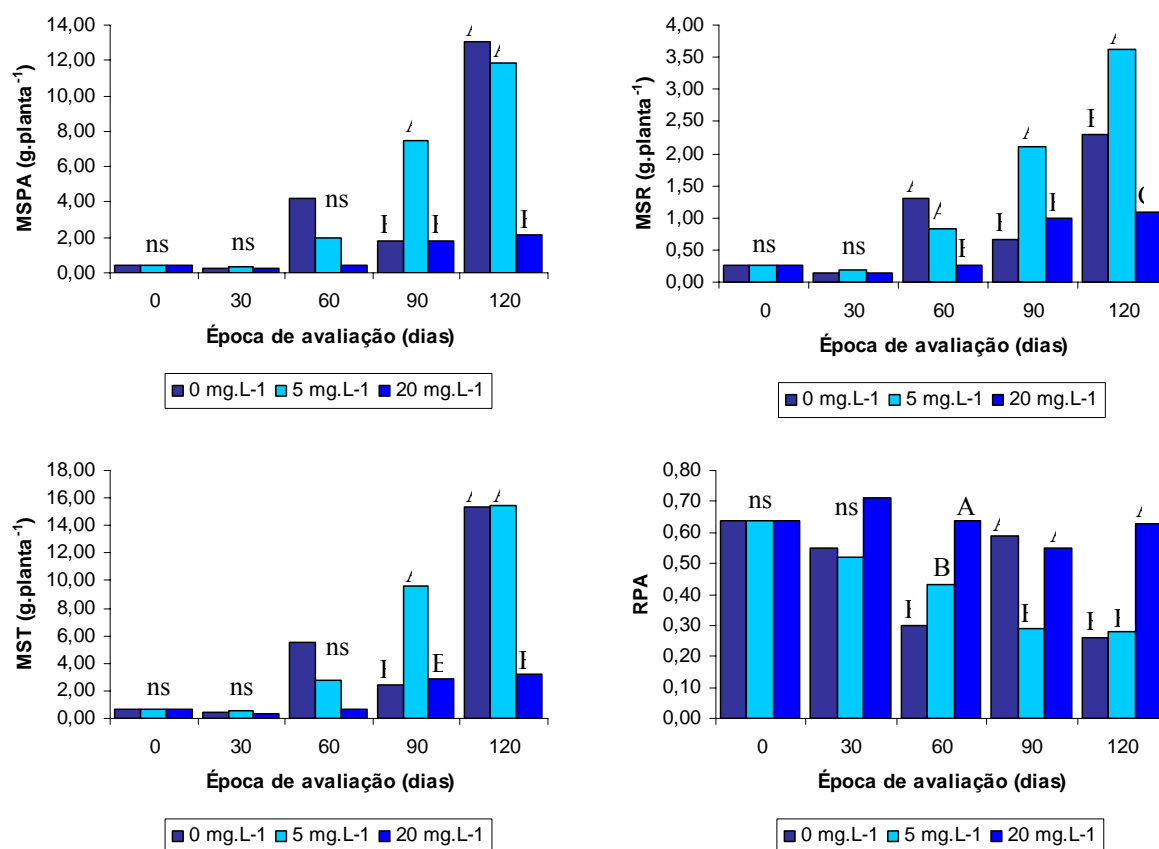


Figura 2. Matéria seca da parte aérea – caule e folhas (MSPA), raízes (MSR), total (MST) e relação raiz/parte aérea (RPA) de mudas de *Toona ciliata* submetidas a soluções com adição de alumínio, em diferentes épocas de avaliação em casa de vegetação. Instituto de Agronomia, UFRRJ, Seropédica, RJ

Médias seguidas pela mesma letra dentro de cada época de avaliação, não diferem entre si pelo teste de Duncan, a 5%. ^{ns} Não significativo.

No acúmulo de matéria seca total (Figura 2), as plantas de cedro-australiano apresentaram incremento significativo aos 90 dias, quando submetidas a solução com 5 mg.L⁻¹ de alumínio e redução do desenvolvimento radicular aos 120 dias, em solução com adição de 20 mg.L⁻¹ de alumínio. Esses resultados indicam uma possível tolerância da espécie a concentração mais baixa de alumínio.

A relação raiz/parte aérea apresentou valores baixos e evidenciou um dos primeiros sintomas de toxicidade ao alumínio, a redução do crescimento das raízes e conseqüente redução do crescimento da parte aérea. Ficando evidenciado a toxidez a 20mg.L⁻¹ de alumínio a partir dos 60 dias.

A sintomatologia da toxicidade de alumínio (Figura 3), afeta inicialmente o sistema radicular com propagação dos efeitos à parte aérea das plantas. Para a espécie estudada observou-se que a exposição das plantas a 20 mg.L^{-1} de Al resultaram no engrossamento e encurtamento das raízes, que apresentavam aspecto quebradiço, com alterações na arquitetura do sistema radicular, reprimindo o crescimento das laterais, que tenderam a ficarem mais próximas do ápice da raiz principal.

Na parte aérea, a sintomatologia de toxicidade é de difícil observação nas diferentes espécies, pois os sintomas podem se assemelhar à deficiência de nitrogênio (JARVIS e HATCH, 1987), fósforo e cálcio (FOY, 1976).

Na parte aérea de plantas de cedro-australiano foram observados sintomas de toxidez a alumínio, semelhantes aos sintomas observados para a deficiência de fósforo (Capítulo III), redução no crescimento de folhas, folhas pequenas com coloração verde intensa progredindo para o amarelecimento, com a acentuação dos sintomas, as folhas mais velhas progrediram para amarelo-castanho, dos bordos para o centro do limbo; e aos de deficiência de cálcio, enrolamento ou encurvamento de folhas novas.



Figura 3. Fotografias de plantas de *Toona ciliata* submetidas a soluções sem e com adição de alumínio aos 120 dias após a implantação do experimento em casa de vegetação. Instituto de Agronomia, UFRRJ, Seropédica, RJ

As doses de Al afetaram significativamente o teor de macronutrientes das partes vegetais (Tabelas 1 a 3), à exceção da raiz, em termos de N. De modo geral, as alterações de maior relevância ocorreram para P, Ca e Mg.

Os teores de macronutrientes (g.kg^{-1}) nas raízes de plantas de cedro-australiano submetidas a soluções com 0 e 20 mg.L^{-1} de Al, encontraram os seguintes valores, respectivamente: N = 28,59 e 17,69; P = 3,59 e 3,19; K = 25,29 e 23,22; Ca = 5,05 e 0,47; Mg = 2,47 e 1,03.

Com base nos teores em g kg^{-1} dos macronutrientes na parte aérea de plantas de cedro-australiano, encontraram os seguintes valores no tratamento com adição de 0 e 20 mg.L^{-1} de Al, respectivamente: N = 23,34 e 20,81; P = 2,07 e 0,95; K = 21,14 e 27,04; Ca = 6,49 e 1,21; Mg = 2,09 e 2,16.

No caso do N, não houve interação significativa entre os tratamentos sem e com adição de Al. O teor de N na parte aérea se manteve semelhante em todos os tratamentos, apenas no teor na raiz e na planta inteira (N total) foi observado que a adição de 20 mg.L^{-1} de Al reduziu o teor deste macronutriente em comparação com o tratamento sem adição.

A adição de 5 mg.L⁻¹ de Al promoveu um estímulo na absorção de P pelas raízes em comparação aos demais tratamentos, podendo estar relacionado com o transporte e com a redistribuição do que propriamente com sua absorção. A adição de 20 mg.L⁻¹ de Al provocou um decréscimo no teor de fósforo em todas as partes da planta. Conforme OLIVEIRA (1979), é provável que parte do alumínio contido nos tecidos radiculares tenha precipitado parte do fósforo absorvido (Al-P), reduzindo, desta maneira, sua translocação para a parte aérea.

A partir dos 30 dias, houve redução no teor de K nas raízes das plantas submetidas a 20 mg.L⁻¹ de Al. Sendo que a partir dos 90 dias a presença de alumínio estimulou o aumento do teor de K nas raízes em comparação ao tratamento sem adição de Al. Na parte aérea houve incremento do teor de potássio ao longo do período experimental, devido o efeito do Al sobre o Ca, a alta mobilidade do K na planta ocasionou maior teor deste na parte aérea, justificando a maior absorção deste nutriente na presença de baixa concentração de Ca (MARSCHNER, 1997).

No caso do Ca, a partir dos 60 dias as plantas submetidas ao tratamento com adição de 20 mg.L⁻¹ de Al, apresentaram redução do teor de Ca na parte aérea e nas raízes (Tabelas 1 e 2). Para o Mg, independente do tratamento verificou-se redução no teor deste ao longo do período na parte aérea e raízes das plantas. Apenas, no teor total de K verificou redução deste quando as plantas foram submetidas a soluções com adição de 20 mg.L⁻¹ de Al.

De acordo com FAQUIN e VALE (1991) e MALAVOLTA et al. (1997), o alumínio, quando na forma solúvel, além de causar fitotoxidez nas plantas, compete com outros cátions, principalmente Ca e Mg, pelos mesmos sítios de absorção no complexo de troca.

Como observado no experimento, o Mg foi muito mais eficiente do que o Ca na prevenção ou atenuação da injúria causada pelo Al, isto se deve a possibilidade de que o magnésio estimulasse eventos conducentes a uma mais eficiente detoxificação do Al, tal como a exsudação de ácido cítrico (SILVA et al., 2001).

Com relação aos teores totais (Tabela 3), foram verificadas reduções dos teores de macronutrientes entre as plantas submetidas a solução sem adição de alumínio e com adição de 20 mg.L⁻¹ de Al, seguindo a ordem decrescente: Ca (62 %) > N (20 %) > P (19 %) > K (18 %) = Mg (18 %).

De maneira geral, o aumento no acúmulo dos nutrientes na parte aérea e raízes de plantas de cedro-australiano apresentaram comportamento semelhante, ocorrendo estímulo no acúmulo de nutrientes quando as plantas foram submetidas a soluções com adição de 5 mg.L⁻¹ de Al. Com o emprego de solução com adição de 20 mg.L⁻¹ de Al verificou-se redução no acúmulo de nutrientes tanto na parte aérea como nas raízes (Tabelas 4 e 5).

Baseado no conteúdo total da testemunha, os decréscimos com a adição de 20 mg.L⁻¹ de Al, atingiram 83 %, para N; 81 %, para P; 76 %, para K; 97 %, para Ca e 84 %, para Mg. Assim, os decréscimos seguiram a seguinte ordem decrescente: Ca > Mg > N > P > K.

Esses resultados corroboram as afirmações de KOCHIAN (1995), segundo o qual o excesso de Al, além de inibir a formação normal das raízes, interfere nas reações enzimáticas, regula a disposição de polissacarídeos nas paredes celulares e interfere na absorção, no transporte e no uso de vários nutrientes, inclusive de P, Ca e Mg.

Quanto ao Ca, uma das prováveis hipóteses de sua redução sustenta-se nas afirmações de SIEGEL e HAUG (1983), que relataram a interferência do Al na atividade da enzima ATPase estimulada pela calmodulina (Cam). Segundo CAMBRAIA (1989), o cálcio ao se ligar à Cam, provoca mudanças de conformação nesta proteína, alterando sua interação com certas enzimas e proteínas (fosfolipases, cinase do NAD, adenilciclase e Ca²⁺-ATPase). Desta maneira, é possível que um dos efeitos fitotóxicos do Al esteja relacionado com a menor absorção de Ca, devido ao efeito de inibição da proteína (SIEGEL e HAUG, 1983).

Tabela 1. Teores médios de macronutrientes na matéria seca de raiz de mudas de *Toona ciliata*, submetidas a soluções com adição de alumínio em diferentes épocas de avaliação em casa de vegetação. Instituto de Agronomia, UFRRJ, Seropédica, RJ

Tratamento	Macro	Época de avaliação (dias)					Média
		0 ⁽¹⁾	30	60	90	120	
		g.kg ⁻¹					
Sol. diluída 1/4	N	27,23 ^{ns}	32,25	34,36	27,52	28,59	24,99
Sol. 1/4 + 5 mg.L ⁻¹ Al		27,23	27,07	30,74	24,33	23,51	22,15
Sol. 1/4 + 20 mg.L ⁻¹ Al		27,23	28,93	20,87	20,79	17,69	19,25
Média		27,23	29,42	28,66	24,21	23,26	
Sol. diluída 1/4	P	3,29	3,67	5,05	4,23	3,59	3,96 b
Sol. 1/4 + 5 mg.L ⁻¹ Al		3,29	5,33	5,54	5,41	4,58	4,83 a
Sol. 1/4 + 20 mg.L ⁻¹ Al		3,29	4,34	4,55	4,44	3,19	3,96 b
Média		3,29 C	4,44 AB	5,05 A	4,70 AB	3,78 BC	
Sol. diluída 1/4	K	32,20 BCa	28,88 BCa	45,72 Aa	22,00 Cb	25,29 BCa	30,82 a
Sol. 1/4 + 5 mg.L ⁻¹ Al		32,20 Aa	22,48 Ba	34,03 Ab	33,13 Aab	20,99 Bab	28,56 a
Sol. 1/4 + 20 mg.L ⁻¹ Al		32,20 ABa	13,51 Cb	15,77 Cc	26,62 Bab	23,22 Bab	22,26 b
Média		32,20 A	21,62 D	31,84 AB	27,25 BC	23,16 CD	
Sol. diluída 1/4	Ca	1,66 Ca	3,41 BCa	3,73 ABa	2,80 BCa	5,05 Aa	3,33 a
Sol. 1/4 + 5 mg.L ⁻¹ Al		1,66 ABa	0,83 Bb	1,68 ABb	2,02 Aa	2,63 Ab	1,76 b
Sol. 1/4 + 20 mg.L ⁻¹ Al		1,66 Aa	1,27 Ab	0,38 Bc	0,38 Bb	0,47 Bc	0,83 c
Média		1,66 ^{ns}	1,84	1,93	1,73	2,72	
Sol. diluída 1/4	Mg	4,72	1,89	2,82	1,37	2,74	2,71 a
Sol. 1/4 + 5 mg.L ⁻¹ Al		4,72	0,82	1,65	1,81	1,77	2,15 ab
Sol. 1/4 + 20 mg.L ⁻¹ Al		4,72	1,51	1,10	1,00	1,03	1,87 b
Média		4,72 A	1,41 B	1,85 B	1,39 B	1,85 B	

⁽¹⁾Médias seguidas pela mesma letra, maiúscula na linha e minúscula na coluna, não diferem pelo teste de Duncan, a 5%. ^{ns} não significativo.

Tabela 2. Teores médios de macronutrientes na matéria seca da parte aérea de mudas de *Toona ciliata*, submetidas a soluções com adição de alumínio em diferentes épocas de avaliação em casa de vegetação. Instituto de Agronomia, UFRRJ, Seropédica, RJ

Tratamento	Macro	Época de avaliação (dias)					Média
		0 ⁽¹⁾	30	60	90	120	
		g.kg ⁻¹					
Sol. diluída 1/4	N	22,25	33,49	33,47	26,06	23,34	27,72 a
Sol. 1/4 + 5 mg.L ⁻¹ Al		22,25	28,69	32,00	22,71	21,06	25,34 ab
Sol. 1/4 + 20 mg.L ⁻¹ Al		22,25	26,98	22,78	22,94	20,81	23,15 b
Média		22,25 B	29,72 A	29,41 A	23,90 B	21,74 B	
Sol. diluída 1/4	P	2,37	3,59	3,62	2,61	2,07	2,85 a
Sol. 1/4 + 5 mg.L ⁻¹ Al		2,37	2,85	3,21	2,00	1,62	2,41 a
Sol. 1/4 + 20 mg.L ⁻¹ Al		2,37	1,70	1,48	1,24	0,95	1,55 b
Média		2,37 AB	2,71 A	2,77 A	1,95 BC	1,55 C	
Sol. diluída 1/4	K	12,77	28,86	28,57	26,15	21,14	23,50 a
Sol. 1/4 + 5 mg.L ⁻¹ Al		12,77	23,11	30,62	25,24	19,47	22,24 a
Sol. 1/4 + 20 mg.L ⁻¹ Al		12,77	22,35	20,60	28,71	27,04	22,29 a
Média		12,77 B	24,77 A	26,60 A	26,70 A	22,55 A	
Sol. diluída 1/4	Ca	4,30 Aa	6,25 Aa	7,32 Aa	6,19 Aa	6,49 Aa	6,11 a
Sol. 1/4 + 5 mg.L ⁻¹ Al		4,30 Aa	5,36 Aa	5,39 Aa	5,01 Aa	3,91 Ab	4,80 b
Sol. 1/4 + 20 mg.L ⁻¹ Al		4,30 Aa	4,24 Aa	1,95 Bb	1,83 Bb	1,21 Bc	2,70 c
Média		4,30 ^{ns}	5,28	4,89	4,34	3,87	
Sol. diluída 1/4	Mg	3,79	3,00	2,30	2,15	2,04	2,66 a
Sol. 1/4 + 5 mg.L ⁻¹ Al		3,79	2,62	2,93	2,59	2,20	2,83 a
Sol. 1/4 + 20 mg.L ⁻¹ Al		3,79	2,81	1,93	1,90	2,16	2,52 a
Média		3,79 A	2,81 B	2,38 BC	2,21 C	2,13 C	

⁽¹⁾Médias seguidas pela mesma letra, maiúscula na linha e minúscula na coluna, não diferem pelo teste de Duncan, a 5%.

Tabela 3. Teores médios de macronutrientes na matéria seca total de mudas de *Toona ciliata*, submetidas a soluções com adição de alumínio em diferentes épocas de avaliação em casa de vegetação. Instituto de Agronomia, UFRRJ, Seropédica, RJ

Tratamento	Macro	Época de avaliação (dias)					Média
		0 ⁽¹⁾	30	60	90	120	
		g.kg ⁻¹					
Sol. diluída 1/4	N	49,47	65,74	67,83	53,58	51,92	57,71 a
Sol. 1/4 + 5 mg.L ⁻¹ Al		49,47	55,76	62,73	47,04	44,57	51,91 ab
Sol. 1/4 + 20 mg.L ⁻¹ Al		49,47	55,91	43,65	43,73	38,50	46,25 b
Média		49,47 BC	59,14 A	58,07 A	48,12 BC	45,00 C	
Sol. diluída 1/4	P	5,66	7,26	8,67	6,84	5,66	6,82 a
Sol. 1/4 + 5 mg.L ⁻¹ Al		5,66	8,18	8,76	7,41	6,20	7,24 a
Sol. 1/4 + 20 mg.L ⁻¹ Al		5,66	6,04	6,03	5,68	4,14	5,51 b
Média		5,66 BC	7,16 A	7,82 A	6,65 AB	5,33 C	
Sol. diluída 1/4	K	44,96 Ba	57,74 Ba	74,30 Aa	48,14 Ba	46,42 Ba	54,31 a
Sol. 1/4 + 5 mg.L ⁻¹ Al		44,96 Ba	45,59 Bb	64,66 Aa	58,36 Aa	40,45 Ba	50,81 a
Sol. 1/4 + 20 mg.L ⁻¹ Al		44,96 ABa	35,86 Bb	36,37 Bb	55,33 ABa	50,26 ABa	44,56 b
Média		44,96 B	46,40 B	58,44 A	53,95 A	45,71 B	
Sol. diluída 1/4	Ca	5,96 Ba	9,66 Aa	11,05 Aa	8,99 Aa	11,54 Aa	9,44 a
Sol. 1/4 + 5 mg.L ⁻¹ Al		5,96 Aa	6,18 Ab	7,07 Ab	7,03 Aa	6,55 Ab	6,56 b
Sol. 1/4 + 20 mg.L ⁻¹ Al		5,96 Aa	5,51 Ab	2,33 Bc	2,20 Bb	1,67 Bc	3,54 c
Média		5,96 ^{ns}	7,12	6,82	6,07	6,59	
Sol. diluída 1/4	Mg	8,51	4,89	5,12	3,52	4,78	5,36 a
Sol. 1/4 + 5 mg.L ⁻¹ Al		8,51	3,44	4,57	4,39	3,97	4,98 a
Sol. 1/4 + 20 mg.L ⁻¹ Al		8,51	4,32	3,03	2,90	3,20	4,39 b
Média		8,51 A	4,21 B	4,24 B	3,60 B	3,98 B	

⁽¹⁾Médias seguidas pela mesma letra, maiúscula na linha e minúscula na coluna, não diferem pelo teste de Duncan, a 5%.

Tabela 4. Acúmulos médios de macronutrientes na matéria seca de raiz de mudas de *Toona ciliata*, submetidas a soluções com adição de alumínio em diferentes épocas de avaliação em casa de vegetação. Instituto de Agronomia, UFRRJ, Seropédica, RJ

Tratamento	Macro	Época de avaliação (dias)					Média
		0 ⁽¹⁾	30	60	90	120	
g.planta ⁻¹							
Sol. diluída 1/4	N	0,007 Ba	0,005 Ba	0,044 Aa	0,018 Bb	0,065 Aa	0,028 a
Sol. 1/4 + 5 mg.L ⁻¹ Al		0,007 Ba	0,005 Ba	0,024 Bab	0,051 Aab	0,066 Aa	0,031 a
Sol. 1/4 + 20 mg.L ⁻¹ Al		0,007 Aa	0,004 Aa	0,006 Ab	0,021 Ab	0,019 Ab	0,011 b
Média		0,007 C	0,005 C	0,025 B	0,030 B	0,050 A	
Sol. diluída 1/4	P	0,001 Ca	0,001 Ca	0,006 ABab	0,002 BCb	0,009 Aab	0,004 b
Sol. 1/4 + 5 mg.L ⁻¹ Al		0,001 Ba	0,001 Ba	0,005 Bab	0,012 Aab	0,013 Aa	0,006 a
Sol. 1/4 + 20 mg.L ⁻¹ Al		0,001 Aa	0,001 Aa	0,001 Ab	0,004 Ab	0,004 Ab	0,002 b
Média		0,001 C	0,001 C	0,004 B	0,006 B	0,008 A	
Sol. diluída 1/4	K	0,008 Ba	0,004 Ba	0,059 Aa	0,014 Bb	0,066 Aab	0,030 a
Sol. 1/4 + 5 mg.L ⁻¹ Al		0,008 Ca	0,004 Ca	0,028 Bab	0,072 Aab	0,061 Aab	0,035 a
Sol. 1/4 + 20 mg.L ⁻¹ Al		0,008 Aa	0,002 Ba	0,004 Ab	0,027 Ab	0,026 Ab	0,013 b
Média		0,008 B	0,003 B	0,030 A	0,038 A	0,051 A	
Sol. diluída 1/4	Ca	0,001	0,000	0,005	0,002	0,012	0,004 a
Sol. 1/4 + 5 mg.L ⁻¹ Al		0,001	0,000	0,002	0,004	0,008	0,003 a
Sol. 1/4 + 20 mg.L ⁻¹ Al		0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000 b
Média		0,001 B	0,000 B	0,002 B	0,002 B	0,007 A	
Sol. diluída 1/4	Mg	0,001	0,000	0,004	0,001	0,007	0,003 a
Sol. 1/4 + 5 mg.L ⁻¹ Al		0,001	0,000	0,002	0,004	0,006	0,002 a
Sol. 1/4 + 20 mg.L ⁻¹ Al		0,001	0,000	0,000	0,001	0,001	0,001 b
Média		0,001 B	0,000 B	0,002 B	0,002 B	0,005 A	

⁽¹⁾Médias seguidas pela mesma letra, maiúscula na linha e minúscula na coluna, não diferem pelo teste de Duncan, a 5%.

Tabela 5. Acúmulos médios de macronutrientes na matéria seca da parte aérea de mudas de *Toona ciliata*, submetidas a soluções com adição de alumínio em diferentes épocas de avaliação em casa de vegetação. Instituto de Agronomia, UFRRJ, Seropédica, RJ

Tratamento	Macro	Época de avaliação (dias)				
		0 ⁽¹⁾	30	60	90	120
				g.planta ⁻¹		
Sol. diluída 1/4	N	0,009 Ca	0,010 Ca	0,142 Ba	0,047 Cb	0,287 Aa
Sol. 1/4 + 5 mg.L ⁻¹ Al		0,009 Ca	0,010 Ca	0,063 Bab	0,162 Aa	0,224 Aa
Sol. 1/4 + 20 mg.L ⁻¹ Al		0,009 Ba	0,006 Ba	0,009 Bb	0,042 Ab	0,040 Ab
Sol. diluída 1/4	P	0,001 Ca	0,001 Ca	0,015 Ba	0,005 Cb	0,022 Aa
Sol. 1/4 + 5 mg.L ⁻¹ Al		0,001 Ba	0,001 Ba	0,006 Bb	0,014 Aa	0,016 Aa
Sol. 1/4 + 20 mg.L ⁻¹ Al		0,001 Aa	0,000 Aa	0,001 Ab	0,002 Ab	0,002 Ab
Sol. Diluída 1/4	K	0,005 Da	0,009 Da	0,120 Ba	0,044 Cb	0,261 Aa
Sol. 1/4 + 5 mg.L ⁻¹ Al		0,005 Ca	0,008 Ca	0,059 Bb	0,182 Aab	0,208 Aab
Sol. 1/4 + 20 mg.L ⁻¹ Al		0,005 Aa	0,005 Aa	0,009 Ab	0,052 Ab	0,054 Ab
Sol. Diluída 1/4	Ca	0,002 Ca	0,002 Ca	0,031 Ba	0,012 Bb	0,080 Aa
Sol. 1/4 + 5 mg.L ⁻¹ Al		0,002 Ca	0,002 Ca	0,010 Bb	0,038 Aa	0,042 Ab
Sol. 1/4 + 20 mg.L ⁻¹ Al		0,002 Aa	0,001 Aa	0,001 Ab	0,003 Ab	0,002 Ac
Sol. Diluída 1/4	Mg	0,002 Ba	0,001 Ba	0,010 Ba	0,004 Bb	0,023 Aa
Sol. 1/4 + 5 mg.L ⁻¹ Al		0,002 Ba	0,001 Ba	0,006 Ba	0,019 Aa	0,024 Aa
Sol. 1/4 + 20 mg.L ⁻¹ Al		0,002 Aa	0,001 Aa	0,001 Ab	0,003 Ab	0,004 Ab

⁽¹⁾Médias seguidas pela mesma letra, maiúscula na linha e minúscula na coluna, não diferem pelo teste de Duncan, a 5%.

Tabela 6. Acúmulos médios de macronutrientes na matéria seca total de mudas de *Toona ciliata*, submetidas a soluções com adição de alumínio em diferentes épocas de avaliação em casa de vegetação. Instituto de Agronomia, UFRRJ, Seropédica, RJ

Tratamento	Macro	Época de avaliação (dias)				
		0 ⁽¹⁾	30	60	90	120
		g.planta ⁻¹				
Sol. diluída 1/4	N	0,016 Ca	0,015 Ca	0,186 Ba	0,065 Cb	0,352 Aab
Sol. 1/4 + 5 mg.L ⁻¹ Al		0,016 Ba	0,015 Ba	0,087 Bab	0,213 Aab	0,289 Aab
Sol. 1/4 + 20 mg.L ⁻¹ Al		0,016 Aa	0,010 Aa	0,015 Ab	0,062 Ab	0,059 Ab
Sol. diluída 1/4	P	0,002 Ba	0,002 Ba	0,022 Aa	0,008 Bb	0,031 Aa
Sol. 1/4 + 5 mg.L ⁻¹ Al		0,002 Ba	0,002 Ba	0,010 Bb	0,026 Aa	0,029 Aa
Sol. 1/4 + 20 mg.L ⁻¹ Al		0,002 Aa	0,001 Aa	0,002 Ab	0,007 Ab	0,006 Ab
Sol. diluída 1/4	K	0,013 Ca	0,014 Ca	0,179 Bab	0,058 BCb	0,327 Aa
Sol. 1/4 + 5 mg.L ⁻¹ Al		0,013 Ba	0,012 Ba	0,087 Bab	0,254 Aab	0,269 Aab
Sol. 1/4 + 20 mg.L ⁻¹ Al		0,013 Aa	0,007 Aa	0,013 Ab	0,079 Ab	0,080 Ab
Sol. diluída 1/4	Ca	0,002 Ba	0,002 Ba	0,036 Ba	0,014 Ba	0,091 Aa
Sol. 1/4 + 5 mg.L ⁻¹ Al		0,002 Ba	0,002 Ba	0,012 ABa	0,042 Aa	0,051 Ab
Sol. 1/4 + 20 mg.L ⁻¹ Al		0,002 Aa	0,001 Aa	0,001 Aa	0,004 Aa	0,003 Ac
Sol. diluída 1/4	Mg	0,003 Ba	0,001 Ba	0,013 Ba	0,005 Bb	0,030 Aa
Sol. 1/4 + 5 mg.L ⁻¹ Al		0,003 Ba	0,001 Ba	0,007 Ba	0,023 Aa	0,030 Aa
Sol. 1/4 + 20 mg.L ⁻¹ Al		0,003 Aa	0,001 Aa	0,001 Aa	0,004 Ab	0,005 Ab

⁽¹⁾Médias seguidas pela mesma letra, maiúscula na linha e minúscula na coluna, não diferem pelo teste de Duncan, a 5%.

4. CONCLUSÕES

O crescimento, teor e acúmulo de nutrientes em plantas de *Toona ciliata* foram estimulados na presença de 5mg.L⁻¹ de alumínio.

A adição de 20 mg.L⁻¹ de Al reduziu o crescimento das plantas e o acúmulo de macronutrientes, na seguinte ordem decrescente: Ca > Mg > N > P > K.

Os sintomas visuais de fitotoxicidade associados à dose de 20 mg.L⁻¹ de Al foram típicos da toxicidade a este elemento, além das folhas apresentarem coloração verde intensa progredindo para o amarelecimento; com a acentuação dos sintomas, as folhas mais velhas progrediram para amarelo-castanho, dos bordos para o centro do limbo e enrolamento ou encurvamento de folhas novas.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVARENGA, A.A. de; CALBO, A.G.; NEIVA, L.C. da S.; MULLER, M.W. Influência de fitorreguladores sobre a ação tóxica do alumínio em *Stylosanthes humiles* H.B.K. **Ciência e Prática**, Lavras, v.4, n.1, p.31-37, 1980.

ALVAREZ, E.; MARTÍNEZ, A.; CALVO, R.M. Geochemical aspects of aluminium in forest soils in Galicia (NW Spain). **Biogeochemistry**, Heidelberg, v.16, p.167-180, 1992.

ALVES, R.M.M.; OLIVEIRA, L.E.M.; FURTINI-NETO, A.E.; DELU-FILHO, N. Comportamento diferencial das espécies florestais cássia-verrugosa (*Senna multijuga* (L.C.Rich.) I. e B.) e ipê-mirim (*Tecoma stans* H. B. K.) na presença de alumínio. **Ciência Agrotécnica**, Lavras, v.25, n.5, p.1161-1168, 2001.

ARAÚJO, J.M. de; SANTOS, J.B. dos; RAMALHO, M.A.R.; GUEDES, G.A.A. Controle genético da tolerância do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) às condições dos solos sob vegetação de cerrado. **Ciência e Prática**, Lavras, v.16, n.2, p.189-196, 1992.

ASHER, C.J. Beneficial elements, functional nutrients, and possible new essential elements. In: MORTVEDT, J.J.; COX, F.R.; SHUMAN, L.M.; WELCH, R.M., eds. **Micronutrients in Agriculture**. Madison, American Society of America, 1991. p.703-723.

BALIGAR, V.C.; ANGHINONI, I.; PITTA, G.V.E.; SANTOS, H.L. dos; CUNHA FILHO, E.; SCHAFFERT, R.E. Aluminum effects on plant and nutrient uptake parameters of soil and solution grown sorghum genotypes. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v.18, n.11, p.2325-2328, 1995.

BASU, A.; BASU, U.; TAYLOR, G.J. Induction of microsomal membrane proteins in roots of an aluminum resistant cultivar of *Triticum aestivum* L. under conditions of aluminum stress. **Plant Physiology**, Washington, v.104, n.3, p.1007-1013, 1994.

BUENO N. Alguns aspectos recentes da nutrição mineral do cupuaçuzeiro. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL SOBRE PIMENTA-DO-REINO E CUPUAÇU, 1., Belém, 1997. **Anais...** Belém, EMBRAPA Amazônia Oriental/IICA, 1997. p.79-80.

- CAMBRAIA, J. Mecanismos de tolerância a toxidez de alumínio em plantas. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FISILOGIA VEGETAL, 2., Piracicaba, 1989. **Anais...** Piracicaba, Sociedade Brasileira de Fisiologia Vegetal, 1989. p.85-92.
- CAMBRAIA, J.; SILVA, M.A. da; CANO, M.A.O., SANT'ANNA, R. Método simples para a avaliação de cultivares de sorgo quanto a tolerância ao alumínio. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, Campinas, v.3, n.2, p.87-95, 1991
- CRONAN, C.S.; GRIGAL, D.F. Use of calcium/aluminum ratios as indicators of stress in forest ecosystems. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v.24, p.209–226, 1995.
- DELAÚ-FILHO, N.; OLIVEIRA, L.E.M.; ALVARENGA, A.A.; GOMIDE, M.B. Seleção de genótipos de seringueira tolerantes ao alumínio. In: REUNIÃO DA SOCIEDADE LATINO AMERICANA DE FISILOGIA VEGETAL, 10, 1989, Puerto Iguazu. **Anais...** Puerto Iguazu: SLAV, 1989. p.61.
- DINIZ, V.P.M. de; CALBO, M.E.R. Efeitos da aplicação foliar de fósforo sobre a toxidez de alumínio em plantas de tomate. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, Campinas, v.2, n.2, p.57-61, 1990.
- FAGERIA, N.K.; ZIMMERMANN, F.J.P. Seleção de cultivares de arroz para tolerância à toxidez de alumínio em solução nutritiva. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.14, p.41-47, 1979.
- FAQUIN, V.; VALE, F.R. Toxidez de alumínio e manganês. **Informativo Agropecuário**, Belo Horizonte, v.15, p.28-38, 1991.
- FORBES, V.E. Is hormesis na evolutionary expectation? **Functional Ecology**, London, v.14, p.12-24, 2000.
- FORTUNATO, R.P.; NICOLOSO, F.T. Toxidez de alumínio em plântulas de grapia (*Apuleia leiocarpa* Vog. Macbride). **Ciência Rural**, Santa Maria, v.34, n.1, p.89-95, 2004.
- FOY, C.D. Differential aluminum and manganese tolerances of plant species and varieties in acid soils. **Ciência e Cultura**, São Paulo, v.28, n.2, p.150-155, 1976.
- FOY, C.D. Effect of aluminum on plant growth. In: CARLSON, F.W., ed. **The plant root and its environment**. Charlottesville, University Press of Virginia, 1974. p.601-640.
- FOY, C.D.; CHANEY, R.L.; WHITE, M.C. The physiology of metal toxicity in plants. **Annual Review of Plant Biology**, Palo Alto, v.29, p. 511-566, 1978.
- FRÁGUAS, J.C. Efeito do alumínio no comprimento de raízes e na absorção de fósforo e cálcio em porta-enxertos de videira. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.17, n.2, p.251-255, 1993.
- FURLANI, P.R. Efeitos fisiológicos do alumínio em plantas. In: SIMPÓSIO AVANÇADO DE SOLOS E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 2., Piracicaba, 1989. **Anais...** Campinas, Fundação Cargill, 1989. p.73-90.
- FURTINI NETO, A.E.; RESENDE, A.V.; VALE, F.R.; FAQUIN, V.; FERNANDES, L.A. Acidez do solo, crescimento e nutrição mineral de algumas espécies arbóreas, na fase de muda. **Cerne**, Lavras, v.5, n.2, p.01-12, 1999.
- HARIDASAN, M. DEARAUJO, G.M. Aluminium – accumulation species in two forest communities in the cerrado region of central of Brazil. **Forest Ecology Management**, Netherlands, v.24, p.15-26, 1988.

- HARIDASAN, M.; PAVIANI, T.I.; SHIAVANI, I. Localization of aluminum in the leaves of some aluminum-accumulating species. **Plant and soil**, Dordrecht, v.94, p.435-437, 1986.
- HUANG, J.W.; SHAFF, J.E.; GRUNES, D.L.; KOCHIAN, L.V. Aluminum effects on calcium fluxes at the root apex of aluminum-tolerant and aluminum-sensitive wheat cultivars. **Plant Physiology**, Washington, v.98, n.1, p.230-237, 1992.
- JAN, F.; PETTERSSON, S. Aluminium sensitivity of two upland rice cultivars at various levels on nutrient supply. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v. 18, n. 6, p.1323-1335, 1995.
- JANSEN, S.; BROADLEY, M.R.; ROBBRECHT, E.; SMETS, E. Aluminum hyperaccumulation in angiosperms: a review of its phylogenetic significance. **Botanic Review**, New York, v.68, p.235-239, 2002.
- JARVIS, S.C.; HATCH, D.J. Differential effects of low concentrations of aluminium on the growth of four genotypes of white clover. **Plant and soil**, Dordrecht, v.99, n.1, p.241-253, 1987.
- KELTJENS, W.G.; VAN LOENEN, E. Effects of aluminium on growth and chemical composition of hidroponically grown seedlings of five different forest tree species. **Plant and soil**, Dordrecht, v.119, p.39-50, 1989.
- KOCHIAN, L.V. Cellular mechanisms of aluminum toxicity and resistance in plants. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, Palo Alto, v.46, p.237-260, 1995.
- MA, J. F.; HIRADATE, S.; NOMOTO, K.; IWASHITA, T.; MATSUMOTO, H. Internal detoxification mechanism of Al in hydrangea (Identification of Al form in the leaves). **Plant Physiology**, Washington, v.113, n.4, p.1033-1039, 1997.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. **Avaliação do estado nutricional das plantas; princípios e aplicações**. Piracicaba, POTAFOS, 1997. 319p.
- MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 2. ed. San Diego: Academic, 1997. 889p.
- MATSUMOTO, H.; SENOO, Y.; KASAI, M.; MAESHIMA, M. Response of the plant root to aluminum stress: analysis of the inhibition of the root elongation and changes in membrane function. **Journal Plant Research**, Tokyo, v.109, p.99-105, 1996.
- MERINO, A.; RODRÍGUEZ LÓPEZ, A.; BRANÑAS, J.; RODRÍGUEZ-SOALLEIRO, R. Nutrition and growth in newly established plantations of *Eucalyptus globulus* in northwestern Spain. **Annals of Forest Science**, v.60, p.509-517, 2003.
- MILLARD, M.M.; FOY, C.D.; CORADETTI, C.A.; REINSEL, M.D. X-Ray photoelectron spectroscopy surface analysis of aluminum ion stress in barley roots. **Plant Physiology**, Washington, v.93, n.2, p.578-583, 1990.
- MULLETTE, K.J. Stimulation of growth in eucalyptus due to aluminum. **Plant and soil**, Dordrecht, v.42, p.495-599, 1975.
- NAGATA, T.; HAYATSU, M.; KOSUGE, N. Aluminum kinetics in the tea plant using Al-27 and F-19 NMR. **Phytochemistry**, Oxford, v.32, p.771-775, 1993.
- OLIVEIRA, L.E.M de; RENA, A.B. Influência do alumínio sobre o comportamento nutricional de cultivares de mandioca em solução nutritiva. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.24, n.9, p.1119-1230, 1989.

OLIVEIRA, L.E.M. **Crescimento e comportamento nutricional de cultivares de mandioca (*Manihot esculenta*, Grantz), submetidos a níveis de alumínio**. Viçosa: UFV, 1979. 39p. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal de Viçosa.

RENGEL, Z. Competitive Al³⁺ inhibition of net Mg²⁺ uptake by intact *Lolium multiflorum* roots. II. Plant age effects. **Plant Physiology**, Washington, v.93, n.3, p.1261-1267, July 1990.

SALVADOR, J.O.; MOREIRA, A.; MALAVOLTA, E.; CABRAL, C.P. Influência do alumínio no crescimento e na acumulação de nutrientes em mudas de goiabeira. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.24, n.4, p.787-796, 2000.

SANCHEZ-RODRÍGUEZ, F.; RODRÍGUEZ-SOALLEIRO, R.; ESPAÑOL, E.; LÓPEZ, C.A.; MERINO, A. Influence of edaphic factors and tree nutritive status on the productivity of *Pinus radiata* D. Don plantations in northwestern Spain. **Forest Ecology Management**, Netherlands, v.171, p.181–189, 2002.

SCHIER, G.A. Response of red spruce and balsam fir seedlings to aluminium toxicity in nutrient solutions. **Canadian Journal of Forest Research**, Ottawa, v.15, p.29-33, 1985.

SIEGEL, N.; HAUG, A. Calmodulin - dependent formation of membrane potential in barley root plasma membrane vesicles: A biochemical model of aluminum toxicity in plants. **Plant Physiology**, Washington, n.59, p.285-291, 1983.

SILVA, I.R.; SMYTH, T.J.; ISRAEL, D.W.; RUFTY, T.E. Altered aluminum inhibition of soybean root elongation in the presence of magnesium. **Plant and soil**, Dordrecht, v.230, p.223-230, 2001.

TAKAMI, C.; TAKENAKA, C.; TEZUKA, T. Mitigation of aluminum toxicity by calcium and magnesium in Japanese cedar (*Cryptomeria japonica*). **Journal Forest Research**, Tokyo, v.10, p.9-14, 2005.

TEDESCO, M.J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C.A.; BOHNEN, H.; VOLKWEISS, S.J. **Análises de solo, plantas e outros minerais**. 2ed. Porto Alegre: UFRGS, 1995. 174p.

WATANABE, T.; OSAKI, M. Mechanisms of adaptation to high aluminum condition in native plant species growing in the acid soils: a review. **Communications in Soil Science Plant Analysis**, New York, v.33, p.1247-1260, 2002.

WATANABE, T.; OSAKI, M.; YOSHIHARA, T.; TADANO, T. Distribution and chemical speciation of aluminum in the Al accumulator plant, *Melastoma malabathricum* L. **Plant and soil**, Dordrecht, v.201, p.165-173, 1998.

YANG, Y.H.; CHEN, S.M. Physiological effects of aluminum/calcium ratios on aluminum toxicity of mungbean seedling growth. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v.24, p.585–597, 2001.

CONCLUSÕES GERAIS

Entre os fungos micorrízicos arbusculares testados, *Acaulospora morrowiae*, *Entrophospora contigua* e *Scutellospora pellucida* foram os mais eficientes em promover o acúmulo de matéria seca da parte aérea, desenvolvimento da área foliar e teor de fósforo foliar em mudas de *Toona ciliata*, além de apresentarem as maiores densidades de esporos por 50 cm³ de substrato, com exceção a *S. pellucida*. A maior colonização micorrízica em mudas de *Toona ciliata* foi obtida com a espécie *Scutellospora pellucida*.

O comportamento da espécie em resposta ao emprego de soluções nutritivas completas e diluídas a 1/2 e 1/4, mostrou que o maior incremento em altura, diâmetro e matéria seca ocorreu em plantas submetidas à solução diluída a 1/4. Os teores e acúmulos de macronutrientes em plantas de cedro-australiano seguiram a seguinte ordem decrescente: N > K > Ca > P > Mg.

Com relação à deficiência nutricional verificou que a omissão de K foi a que mais afetou o desenvolvimento da planta em altura. A limitação no incremento diâmetro do coleto das plantas ocorreu em todos os tratamentos, com exceção da solução completa. A produção de massa seca total das plantas foi afetada em todos os tratamentos com omissão de nutrientes, obedecendo a seguinte ordem decrescente: Completo > -P > -Mg > -N > -K > -Ca. O crescimento inicial de mudas de *Toona ciliata* é afetado pela omissão de todos os macronutrientes, sendo os sintomas semelhantes com os sintomas de outras espécies da mesma família. Os danos mais intensos e imediatos foram observados na omissão de K e Ca. Assim, a espécie *Toona ciliata* demonstrou ser exigente em macronutrientes na seguinte ordem decrescente: K > N > Mg > Ca > P.

A resposta da espécie a presença de alumínio de mostrou que o crescimento, teor e acúmulo de nutrientes em plantas de cedro-australiano foram estimulados na presença de 5mg.L⁻¹ de alumínio. A adição de 20 mg.L⁻¹ de Al reduziu o crescimento das plantas e o acúmulo de macronutrientes, na seguinte ordem decrescente: Ca > Mg > N > P > K. Os sintomas visuais de fitotoxidez associados à dose de 20 mg.L⁻¹ de Al foram típicos da toxidez a este elemento, além das folhas apresentarem coloração verde intensa progredindo para o amarelecimento; com a acentuação dos sintomas, as folhas mais velhas progrediram para amarelo-castanho, dos bordos para o centro do limbo e enrolamento ou encurvamento de folhas novas.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O cedro-australiano vem se apresentando como uma espécie potencial para a silvicultura brasileira, porém pouco conhecimento se tem ainda sobre o comportamento desta espécie com relação às exigências nutricionais.

Na produção de mudas de *Toona ciliata*, a inoculação com fungos micorrízicos arbusculares, *Acaulospora morrowiae*, *Entrophospora contigua* e *Scutellospora pellucida*, promoveram maior acúmulo de matéria seca da parte aérea, maior área foliar e teor de fósforo foliar. É interessante que seja feito o estudo do crescimento das plantas no campo quando inoculadas na fase de mudas com essas espécies de fungos.

Em condições de casa de vegetação, observou-se que a espécie estudada acumulou macronutrientes na seguinte ordem: $N > K > Ca > P > Mg$. Com a omissão de macronutrientes, observou-se aos 135 dias que as plantas de cedro-australiano foram mais exigentes em $K > N > Mg > Ca > P$. Os danos mais intensos e imediatos em plantas de cedro-australiano ocorreram quando as mesmas foram submetidas a soluções nutritivas com omissão de K e Ca, resultado comprovado na produção de matéria seca total das plantas.

As plantas de cedro-australiano apresentaram sintomas visuais de fitotoxidez em soluções com adição de 20 mg.L^{-1} de Al, além de redução do crescimento e acúmulo de macronutrientes, na seguinte ordem: $Ca > Mg > N > P > K$. Além dos sintomas típicos da toxidez a este elemento, foram observados outros sintomas, com as folhas apresentando coloração verde intensa passando para o amarelo castanho, dos bordos para o centro do limbo e enrolamento ou encurvamento de folhas novas.

Para melhor evidenciar os efeitos do alumínio sobre plantas de cedro-australiano observa-se a necessidade de avaliar doses entre 5 e 20 mg.L^{-1} de Al, em solução nutritiva, além de doses superiores a esta última.

O presente trabalho serve como base para futuras pesquisas, a nível de campo, na área de nutrição de cedro australiano.