

Eficiência nutricional em clones de cedro-australiano

Nutrient use efficiency in Australian cedar clones

Raquel Oliveira Batista¹, Antonio Eduardo Furtini Neto² e Soami Fernanda Caio Decchetti³**Resumo**

Florestas plantadas com genótipos superiores, em relação à eficiência nutricional, podem garantir a manutenção da sustentabilidade da produção florestal. Este trabalho foi realizado com o objetivo de avaliar, em solução nutritiva, o crescimento, a produção de biomassa e a eficiência de absorção, translocação e utilização de macronutrientes por clones de cedro-australiano. O experimento foi conduzido em casa de vegetação e câmara de crescimento, utilizando-se quatro clones de cedro-australiano provenientes da empresa Bela Vista Florestal: clone 1 - HE, clone 2 - XF, clone 3 - XD e clone 4 - XE. O delineamento foi inteiramente casualizado com quatro tratamentos e cinco repetições. Os genótipos analisados apresentaram diferenças quanto ao crescimento, à produção de biomassa e à eficiência de absorção, translocação e utilização de macronutrientes. Quanto à eficiência nutricional, os clones podem ser categorizados considerando a seguinte ordem: clone 1 - HE > clone 4 - XE > clone 3 - XD > clone 2 - XF. O clone 1 HE se destacou como o mais eficiente na absorção e na utilização de N, P, K, Ca e S, refletindo em maior crescimento vegetativo e produção de biomassa.

Palavras-chave: *Toona ciliata*, absorção e utilização de nutrientes, nutrição de plantas e solução nutritiva.

Abstract

Forests planted with superior genotypes for nutrient use efficiency can warrant the maintenance of the forest production sustainability. This work intended to evaluate, in nutrient solution, the growth, biomass production and the efficiency of absorption, translocation and utilization of macronutrients by Australian cedar clones. The experiment was conducted in greenhouse and plant growth chamber by utilizing four Australian cedar clones coming from Bela Vista Florestal Company: clone 1 - HE, clone 2 - XF, clone 3 - XD and clone 4 - XE. The design was completely randomized with four treatments and five replications. The genotypes surveyed presented differences in growth, biomass production and the efficiency of absorption, translocation and utilization of macronutrients. As for nutrient use efficiency, the clones can be categorized considering the following order: clone 1 - HE > clone 4 - XE > clone 3 - XD > clone 2 - XF. HE clone 1 stood out as the most efficient in the absorption and utilization of N, P, K, Ca and S, reflecting into increased vegetative growth and biomass production.

Keywords: *Toona ciliata*, absorption and utilization of nutrients, plant nutrition and nutrient solution.

INTRODUÇÃO

Materiais genéticos mais eficientes nutricionalmente são alvos estratégicos para a manutenção da sustentabilidade florestal. A seleção de genótipos com alta eficiência nutricional pode ser um dos caminhos para a alocação dos mesmos sob condições distintas de fertilidade do solo, levando à adoção diferenciada de regime de adubação e, conseqüentemente, obtendo redução nos investimentos em fertilizantes e corretivos, além de aumentos na produtividade (FAGERIA, 1998; PINTO et al., 2011).

Para Barros e Novais (1990), a eficiência nutricional expressa a capacidade das plantas de absorver e utilizar os nutrientes, a eficiência de absorção torna-se mais importante na fase jovem e a eficiência de utilização, durante todo o ciclo da planta. A eficiência nutricional, segundo Fageria (1998), pode ser afetada por fatores relacionados com o clima (temperatura, radiação solar e precipitação), o solo (pH, teor de matéria orgânica, toxidez de alumínio, deficiências de nutrientes, salinidade, etc.) e a planta (crescimento do sistema radicular, fixação de nitrogênio, micorrizas, alelopatia, doenças, pragas e plantas daninhas).

¹Doutorado em Ciência do Solo. UFLA – Universidade Federal de Lavras. Caixa Postal 3037 – 37200-000 - Lavras, MG. E-mail: batista.raqueloliveira@gmail.com.

²Professor Titular do Departamento de Ciência do Solo. UFLA – Universidade Federal de Lavras. Caixa Postal 3037 - Lavras, MG - 37200-000. E-mail: afurtini@dcs.ufla.br.

³Pós-Doutoranda no Departamento de Ciência do Solo. Universidade Federal de Lavras. Caixa Postal 3037 - Lavras, MG - 37200-000. E-mail: decchetti@yahoo.com.br.

Cabe ressaltar que vários mecanismos fisiológicos e morfológicos estão envolvidos na resposta ao uso eficiente de nutrientes pela planta, tais como alta taxa de fotossíntese, manutenção normal do metabolismo com baixo teor de nutrientes nos tecidos, sistema radicular eficiente e alta relação entre raízes e parte aérea (FAGERIA; BALIGAR, 1993).

Alguns índices têm sido empregados para diferenciar e caracterizar genótipos e espécies quanto ao comportamento nutricional, como a eficiência de absorção, de translocação e de utilização de nutrientes (FURTINI NETO et al., 1996; LIMA et al., 2005; POZZA et al., 2009; PINTO et al., 2011; FONTES et al., 2013).

Informações a respeito dos mecanismos envolvidos na capacidade adaptativa de genótipos de interesse, principalmente em condições de baixa fertilidade do solo, podem fornecer subsídios para o setor florestal selecionar aqueles que aproveitam os nutrientes já existentes ou aplicados via fertilização e ou correção de forma mais eficiente. Além disso, o plantio de espécies para o suprimento de madeira de alto valor agregado, como é o caso do cedro-australiano, pode torna-se uma opção atrativa aos empreendedores de florestas plantadas.

Neste contexto, o objetivo deste trabalho foi avaliar o crescimento, a produção de biomassa e a eficiência de absorção, translocação e de utilização para nutrientes em clones de cedro-australiano cultivados em solução nutritiva.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado, inicialmente, em casa de vegetação e, posteriormente na câmara de crescimento, no Departamento de Ciência do Solo da Universidade Federal de Lavras (UFLA). Foram utilizadas mudas de cedro-australiano de quatro clones distintos da Bela Vista Florestal, situada no município de Campo Belo, MG. Os materiais genéticos foram designados como clone 1 - HE, clone 2 - XF, clone 3 - XD e clone 4 - XE, originados via propagação vegetativa com altura média de 12,0 cm. Os tratamentos foram compostos pelos quatro clones, sendo dispostos em um delineamento inteiramente casualizado, com cinco repetições.

O crescimento inicial das mudas foi realizado por um período de 35 dias, em casa de vegetação coberta com sombrite 50%. Nesta fase, as mudas de cada clone foram transferidas dos tubetes para bandejas contendo 42 L de solução

nutritiva de Clark (CLARK, 1975), com o pH ajustado para $6,0 \pm 0,2$ com HCl e ou NaOH e continuamente arejadas. No intuito de promover uma adaptação das mudas ao novo ambiente, processo denominado aclimação, utilizou-se, na primeira semana de cultivo, solução nutritiva com um quarto da força iônica (25% da concentração de sais), sendo a força iônica da solução aumentada semanalmente até atingir 100%. Durante este período, o pH da solução foi corrigido diariamente para $6,0 \pm 0,2$.

Após esta fase de aclimação (35 dias), as mudas foram selecionadas quanto à uniformidade da raiz e parte aérea (sistema radicular e altura similares) e acondicionadas em vasos individuais, aerados com mangueiras acopladas em compressores de ar, contendo 2 L da solução de Clark com 100% da força iônica, e mantidas em câmara de crescimento sob condições controladas de intensidade luminosa (aproximadamente $100 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), fotoperíodo (14 horas de luz) e temperatura ($25 \pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$). As mudas permaneceram por um período de dez dias e o pH da solução nutritiva foi corrigido para $6,0 \pm 0,2$ diariamente.

Após o período de 45 dias de cultivo em solução nutritiva, as plantas foram coletadas para as avaliações de altura e diâmetro do coleto com a utilização de uma régua milimetrada e de um paquímetro digital, respectivamente. Em seguida, separou-se a parte aérea da raiz dos clones analisados. As folhas foram destacadas do caule para a determinação da área foliar por meio do método dos discos foliares, utilizando-se um vazador com área conhecida, conforme Benincasa (2003). Posteriormente, ambas as partes foram acondicionadas em sacos de papel e secas em estufa de circulação de ar forçado a 65°C , até atingir massa constante. Após a secagem, o material vegetal foi pesado. Com a massa seca das folhas (MS folhas), a massa seca dos discos (MSD) e a área total dos discos (ATD), a área foliar foi estimada de acordo com a Equação 1.

$$\text{Área foliar} = \frac{(\text{MS folhas} + \text{MSD}) \times (\text{ATD})}{\text{MSD}} \quad (1)$$

As folhas, os discos foliares e os caules, secos em estufa, foram pesados para obtenção da massa seca de parte aérea (MSPA). Procedimento similar foi adotado para as raízes, para obtenção da massa seca de raízes (MSR). Com ambos os valores, foi determinada a relação massa seca da parte aérea/massa seca de raízes (MSPA/MSR).

O material vegetal seco foi moído em moinho tipo Willey de aço inoxidável e direcionado para digestão sulfúrica, determinando-se o teor

de N e para digestão nítrico-perclórica, em que foram obtidos os teores de P, K, Ca, Mg e S (MALVOLTA et al., 1997).

Para o cálculo da eficiência nutricional dos clones de cedro-australiano para os macronutrientes utilizaram-se os seguintes índices representados pelas Equações 2 (Eficiência de absorção - EA), 3 (Eficiência de translocação - ET) e 4 (Eficiência de utilização - EU):

$$EA = \frac{\text{mg do nutriente na planta}}{\text{g de massa seca de raiz}},$$

(SWIADER et al., 1994) (2)

$$ET = \frac{\text{mg do nutriente na parte aérea}}{\text{mg do nutriente na planta}},$$

(LI et al., 1991) (3)

$$EU = \frac{(\text{g massa seca total})^2}{\text{mg do nutriente na planta}},$$

(SIDDIQI; GLASS, 1981) (4)

Foram utilizados diagramas para agrupar os clones quanto à eficiência nutricional, em que as médias das eficiências de absorção e de utilização de cada nutriente foram usadas para separação dos quadrantes.

Os dados referentes às características avaliadas que expressam o crescimento, produção de biomassa e eficiência nutricional foram submetidos à análise de variância, utilizando-se o teste F e, quando significativa, foi feito o teste de Scott & Knott, a 5%, no intuito de agrupar os materiais genéticos. Utilizou-se o programa estatístico SISVAR para a realização dessas análises estatísticas (FERREIRA, 2011).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Crescimento e produção de biomassa

Os clones de cedro-australiano diferiram quanto à altura e à área foliar ($p < 0,05$) (Tabela 1). Os clones 1 (HE) e 2 (XF) apresentaram maior crescimento em altura quando comparados aos demais. No entanto, o clone 2 - XF foi o que apresentou a menor área foliar. O diâmetro do caule das mudas não variou entre os clones avaliados (Tabela 1).

Em relação à produção de biomassa, o clone 1 - HE também apresentou maior produção de massa seca da parte aérea (MSPA) comparado aos demais, o que refletiu em sua maior produção de massa seca total (MST) (Tabela 2). Tal fato corrobora os resultados obtidos para as características morfológicas que demonstram o maior crescimento vegetativo da parte aérea para este

clone (Tabela 1). As produções de massa seca de raiz dos clones 1 (HE), 2 (XF) e 3 (XD) foram semelhantes, mas superiores em relação ao clone 4 - XE (Tabela 2).

Diferenças na produção de biomassa entre materiais genéticos também foram abordadas por alguns autores em estudos com espécies florestais tais como *Eucalyptus* sp. (LIMA et al., 2005; PINTO et al., 2011).

Tabela 1. Altura, diâmetro do caule e área foliar de clones de cedro-australiano.

Table 1. Height, stem diameter, leaf area of Australian cedar clones.

Clone	Altura	Diâmetro do caule	Área foliar
	cm	mm	cm ²
Clone 1 - HE	48,4a ⁽¹⁾	6,82a	2174a
Clone 2 - XF	46,1a	6,67a	1319b
Clone 3 - XD	40,8b	6,50a	1893a
Clone 4 - XE	43,2b	6,25a	1793a
CV (%) ⁽²⁾	5,7	4,5	18,3

⁽¹⁾Valores seguidos da mesma letra, em cada coluna, não diferem entre si (Scott-Knott, 5%). ⁽²⁾Coefficiente de variação das médias entre clones.

Tabela 2. Produção de massa seca na parte aérea (MSPA), no sistema radicular (MSR), total (MST) e a relação entre a massa seca da parte aérea e da raiz apresentados pelos clones de cedro.

Table 2. Dry matter yield of the shoot, root system, total and the ratio between the shoot and root dry presented by the cedar clones matter.

Clone	MSPA	MSR	MST	MSPA/MSR
	g planta ⁻¹			
Clone 1 - HE	7,61a ⁽¹⁾	1,32a	8,93a	5,80a
Clone 2 - XF	5,83b	1,48a	7,31b	3,98b
Clone 3 - XD	6,32b	1,41a	7,73b	4,52b
Clone 4 - XE	6,15b	1,10b	7,25b	5,57a
CV (%) ⁽²⁾	10,0	10,2	8,8	13,0

⁽¹⁾Valores seguidos da mesma letra, em cada coluna, não diferem entre si (Scott-Knott, 5%). ⁽²⁾Coefficiente de variação das médias entre clones.

A relação entre a produção de massa seca da parte aérea (MSPA) e da raiz (MSR) é uma informação relevante, uma vez que evidencia o investimento relativo de fotoassimilados para o crescimento destes compartimentos da planta. Em outras palavras, uma menor relação entre essas produções reflete um maior investimento na produção de raízes. Neste contexto, os clones 2 (XF) e 3 (XD) obtiveram maiores produções relativas de raízes, quando comparadas com as produções de biomassa aérea. Por outro lado, maiores relações entre a produção de massa seca da parte aérea e de raízes foram observadas para os clones 1 (HE) e 4 (XE), devido ao maior in-

vestimento relativo na produção de biomassa aérea e à menor produção de raízes, respectivamente (Tabela 2).

Em termos práticos, baixa relação parte aérea/raiz pode sugerir uma maior capacidade da planta se adaptar às condições de baixa fertilidade do solo, uma vez que, segundo Horn et al. (2006), haverá maior translocação de fotoassimilados para a produção de raízes, o que implicará em uma maior exploração do solo para garantir o suprimento necessário de nutrientes. Em contrapartida, os autores enfatizam que este investimento pode limitar o desenvolvimento vegetativo da parte aérea das plantas, o que pode afetar diretamente o potencial produtivo do material genético. A baixa relação parte aérea/raiz também pode ser uma estratégia da planta para tolerar o estresse hídrico em função da restrita disponibilidade de água (REIS et al. 2006).

Eficiência nutricional

Os clones de cedro-australiano distinguiram-se quanto à eficiência de absorção, translocação e utilização de N, Ca e Mg, à eficiência de absorção e utilização de P, à eficiência de absorção e translocação de K e à eficiência de utilização de S (Tabela 3).

Distinta magnitude dos índices de eficiência de absorção (EA) foi observada entre os clones de cedro-australiano para o nitrogênio (N) (Tabela 3). Os clones 1 (HE) e 4 (XE) mostraram

maiores índices de eficiência de absorção de N. Em relação à eficiência de translocação de N para a parte aérea, os clones 1 (HE), 2 (XF) e 4 (XE) apresentaram maiores índices em relação ao clone 3 - XD. Os clones 1 (HE) e 3 (XD) foram mais eficientes na utilização do N, ou seja, demonstram maior capacidade de convertê-lo em biomassa. Neste caso, é importante ressaltar que o clone 3 - XD, mesmo com uma menor eficiência de absorção deste nutriente, mostrou-se eficiente na sua utilização.

Para o S, apenas a eficiência de utilização permitiu distinguir os clones de cedro-australiano, tendo o clone 1 - HE como destaque por apresentar um maior índice em relação aos demais (Tabela 3), em função da sua maior produção de biomassa (Tabela 2).

Considerando as eficiências de absorção e de utilização de N e S, os diagramas apresentados na Figura 1 permitiram agrupar os clones de cedro-australiano quanto à eficiência nutricional para estes nutrientes.

Para o N, foi possível agrupar os clones em quatro grupos distintos: grupo 1 (clone 1 - HE) com alta eficiência de absorção e utilização; grupo 2 (clone 3 - XD) com baixa eficiência de absorção, porém, elevada eficiência de utilização; grupo 3 (clone 4 - XE), com alta eficiência de absorção e baixa eficiência de utilização e o grupo 4 (clone 2 - XF), com baixas eficiências de absorção e utilização (Figura 1A).

Tabela 3. Eficiência de absorção (EA), translocação (ET) e utilização (EU) de macronutrientes por clones de cedro-australiano em solução nutritiva.

Table 3. Efficiency of uptake (EU), translocation (ET) and utilization (EU) of macronutrients by Australian cedar clones in nutrient solution.

Clone	EA	ET	EU	EA	ET	EU
	mg g ⁻¹		g ² mg ⁻¹	mg g ⁻¹		g ² mg ⁻¹
Nitrogênio			Enxofre			
Clone 1 - HE	344,14a ⁽¹⁾	0,92a	0,18a	27,96a	0,95a	2,09a
Clone 2 - XF	274,54b	0,92a	0,13b	25,95a	0,94a	1,46b
Clone 3 - XD	274,71b	0,90b	0,16a	29,14a	0,95a	1,38b
Clone 4 - XE	321,85a	0,92a	0,14b	28,49a	0,94a	1,67b
CV (%)	5,8	0,9	11,0	7,1	0,7	10,0
Fósforo			Potássio			
Clone 1 - HE	31,11a	0,96a	1,90a	251,48a	0,94a	0,22a
Clone 2 - XF	32,61a	0,96a	1,13c	183,86c	0,91b	0,19a
Clone 3 - XD	31,68a	0,96a	1,25c	222,80b	0,92b	0,20a
Clone 4 - XE	25,71b	0,95a	1,71b	257,50a	0,94a	0,19a
CV (%)	9,4	0,5	5,1	7,7	0,8	9,7
Cálcio			Magnésio			
Clone 1 - HE	119,08a	0,97a	0,47a	26,11a	0,97a	2,14b
Clone 2 - XF	122,23a	0,96b	0,30c	19,77b	0,95c	1,96b
Clone 3 - XD	120,84a	0,96b	0,37b	21,38b	0,95c	2,08b
Clone 4 - XE	103,36b	0,95b	0,50a	20,89b	0,96b	2,49a
CV (%)	6,6	0,3	6,1	7,7	0,3	9,7

⁽¹⁾Valores seguidos da mesma letra, em cada coluna, não diferem entre si (Scott-Knott, 5%). ⁽²⁾Coefficiente de variação das médias entre clones.

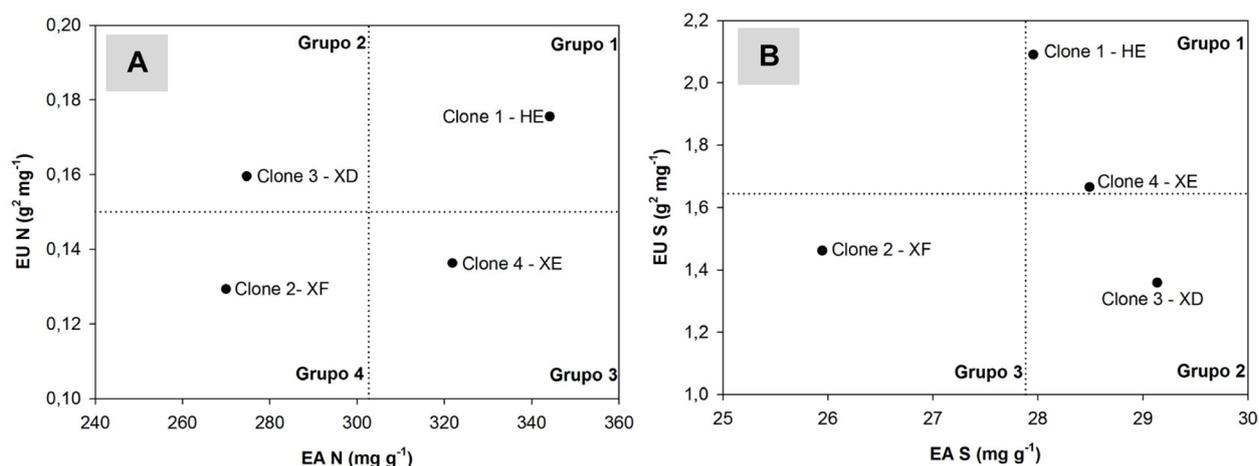


Figura 1. Diagramas de distribuição dos clones de cedro-australiano, em função da eficiência nutricional de nitrogênio (A) e enxofre (B).

Figure 1. Distribution diagrams of Australian cedar clones as a function of nitrogen (A) and sulfur (B) nutritional efficiency.

Os clones 1 (HE) e 3 (XD), pertencentes aos grupos 1 e 2, respectivamente, parecem permitir reduções nas adubações nitrogenadas, devido à alta capacidade de converter o N em biomassa, sem comprometer a produtividade, além de favorecer a sustentabilidade do povoamento florestal. Por outro lado, os clones do grupo 3 e 4, representados pelos clones 2 (XF) e 4 (XE), respectivamente, poderiam ser alocados em solos com maior disponibilidade de N e ou com maiores investimentos em fertilizantes nitrogenados para garantir a manutenção da produtividade (Figura 1A).

Vale ressaltar que o maior investimento na fertilização do clone 4 - XE pode ser justificado, devido à sua alta taxa de recuperação do N em solução, o que pode refletir em uma resposta produtiva.

Os clones de eucalipto avaliados por Pinto et al. (2011) também foram distribuídos em quatro grupos, quanto à eficiência nutricional em N. Os autores sugerem uma devida atenção para os clones pertencentes aos grupos 2 e 3, quanto à adubação nitrogenada, em especial na fase de implantação, pelo fato de ser o nutriente que mais limita o crescimento das plantas, no intuito de não comprometer a produção do sítio florestal.

O diagrama de distribuição dos clones em função da eficiência nutricional para o S permitiu agrupá-los em: grupo 1 – composto pelos clones 1 (HE) e 4 (XE) com alta eficiência de absorção e utilização; grupo 2 – composto pelo clone 3 - XD com alta eficiência de absorção e baixa eficiência de utilização e grupo 3 – composto pelo clone 2 - XF com baixas eficiências de absorção e utilização (Figura 1B).

O cedro-australiano é considerado uma espécie exigente em S (BRAGA et al., 2014) e, com isso, deve-se direcionar esforços para garantir o suprimento adequado deste nutriente para as plantas. A avaliação da eficiência nutricional é uma ferramenta que pode auxiliar na escolha do material genético para a alocação à distinta disponibilidade de S no solo. Neste contexto, faz-se conveniente, a princípio, a escolha pelos clones 1 (HE) e 4 (XE), componentes do grupo 1, por apresentarem maior eficiência na absorção e na utilização do S. Os clones 3 - XD (grupo 2) e 2 - XF (grupo 3) requerem a devida atenção quanto à adubação sulfatada, visto que os mesmos apresentam baixa capacidade de converter este nutriente em biomassa (Figura 1B).

Diferenças entre os clones também foram identificadas quanto à eficiência de absorção de P e K (Tabela 3). Para o P, a maioria dos clones avaliados mostraram eficientes na sua absorção, com exceção do clone 4 - XE, em função da menor produção de raízes (Tabela 2). Para o K, os clones 1 (HE) e 4 (XE) obtiveram maiores índices de eficiência de absorção deste nutriente.

Em relação à eficiência de translocação de K para a parte aérea, os clones 1 (HE) e 4 (XE) também se destacaram em relação aos demais. O clone 1 - HE foi mais eficiente na utilização de P, seguido pelo clone 4 - XE (Tabela 3). Esta maior eficiência do clone 1 - HE está relacionada à sua maior produção de biomassa (Tabela 2).

No estudo realizado por Lima et al. (2005), com clones de eucalipto, os autores verificaram que as diferenças na eficiência nutricional quanto à K ocorreram em função de distinta eficiência de absorção e não por diferenças na eficiência de utilização. Por outro lado, Pinto

et al. (2011) relatam variações entre clones de eucalipto quanto à eficiência nutricional deste nutriente, decorrentes da variação dos mesmos índices utilizados no presente trabalho.

De acordo com Pozza et al. (2009), quando se avalia a produção de biomassa em relação ao suprimento de nutrientes, a eficiência de utilização do nutriente absorvido pela planta é tão importante quanto à eficiência de absorção dos nutrientes. Vários estudos demonstram o comportamento diferencial entre variedades ou espécies na absorção e no uso de nutrientes (LIMA et al., 2005; POZZA et al., 2009; PINTO et al., 2011; FONTES et al., 2013).

Levando em consideração a eficiência nutricional para P, os clones de cedro-australiano podem ser agrupados em: grupo 1 – clones com alta eficiência de absorção e utilização (clone 1 - HE); grupo 2 – clones com baixa eficiência de absorção e alta de utilização (clone 4 - XE) e grupo 3 – clones com alta eficiência de absorção e baixa eficiência de utilização (clones 2 - XF e 3 - XD) (Figura 2A).

Para o K, os clones foram distribuídos em quatro grupos: grupo 1 - clones com alta eficiência de absorção e utilização (clone 1 - HE); grupo 2 – clones com baixa eficiência de absorção e alta de utilização (clone 3 - XD); grupo 3 – clones com alta eficiência de absorção e baixa eficiência de utilização (clone 4 - XE) e grupo 4 – clones com baixa eficiência de absorção e utilização (clone 2 - XF) (Figura 2B).

A maioria das florestas plantadas no Brasil apresenta o cultivo das espécies florestais em solos com baixa fertilidade natural, principalmente quanto à baixa disponibilidade de P e K (SILVEIRA et al., 2004). A sustentabilidade dos plantios florestais pode ser alcançada, especialmente, pela adoção de regimes diferenciados de

adubação para suprir adequadamente às necessidades nutricionais de cada material genético, evitando a ocorrência do esgotamento da fertilidade do solo ou, ainda, contaminações do ecossistema decorrentes da aplicação excessiva de fertilizantes. Nesse sentido, os clones pertencentes aos grupos 1 e 2 para a eficiência nutricional em P e K (Figura 2A e 2B, respectivamente) sugerem uma menor exigência em adubações em relação aos clones do grupo 3, para P (Figura 2A) e dos grupos 3 e 4, para K (Figura 2B), devido à alta eficiência dos mesmos em utilizar estes nutrientes para produção de biomassa.

Em condições limitantes de P e K no solo, a planta com maior eficiência de uso pode apresentar maior potencial produtivo e menor exigência desses elementos. Quanto à eficiência nutricional, tanto de P como de K, o clone 1 - HE se destacou em relação aos demais, o que sugere uma alocação para solos com distintas condições de disponibilidade destes nutrientes.

É importante ressaltar que, para a manutenção da sustentabilidade de uma floresta plantada, é necessário, também, o conhecimento da ciclagem biogeoquímica dos nutrientes. Santana et al. (2002) enfatizam que o emprego de técnicas de manejo que optem por plantas mais eficientes em utilizar nutrientes, conservando ao máximo os resíduos da espécie no sítio florestal, além do ciclo de crescimento ser longo o suficiente para permitir, através da serapilheira, a máxima eficiência da ciclagem de nutrientes, terá como consequência uma maior conservação do ecossistema dos plantios florestais. Este aspecto é particularmente importante para nutrientes pouco móveis na planta, uma vez que estes nutrientes ficariam alocados nos órgãos mais velhos e nas cascas das árvores.

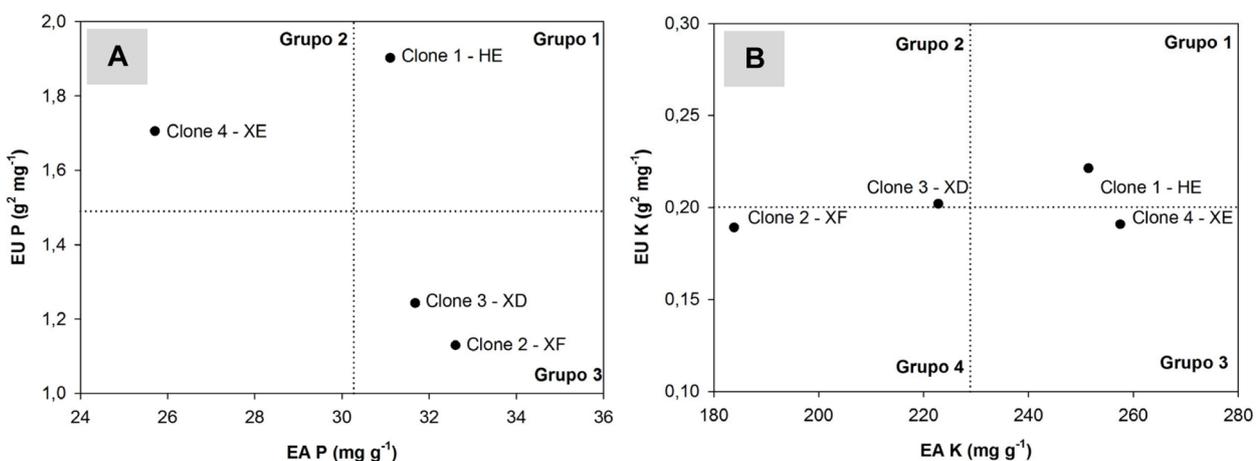


Figura 2. Diagramas de distribuição dos clones de cedro-australiano, em função da eficiência nutricional de fósforo (A) e potássio (B).

Figure 2. Distribution diagrams of Australian cedar clones as a function of phosphorus (A) and potassium (B) nutritional efficiency.

As eficiências de absorção, translocação e utilização de Ca e de Mg para os quatro clones de cedro-australiano podem ser observadas na Tabela 3. Os clones 1 (HE), 2 (XF) e 3 (XD) foram mais eficientes na absorção de cálcio, e apenas o clone 1 - HE, mais eficiente na absorção de magnésio. O clone 1 - HE apresentou maior eficiência de translocação de Ca e de Mg, transportando mais eficientemente os nutrientes absorvidos para a parte aérea. Diferenças significativas entre os clones em relação à eficiência de utilização foram observadas tanto para o Ca como para o Mg, tendo os clones 1 (HE) e 4 (XE) sido mais eficientes na utilização do Ca e apenas este último clone, mais eficiente na utilização do Mg.

A menor eficiência de utilização do Ca pelos clones XF e XD pode ser atribuída, em parte, à baixa mobilidade deste nutriente no floema (MARSCHNER, 2012) e a uma possível imobilização na forma de oxalato ou fosfato de cálcio (CALDEIRA et al., 2002). Comportamento semelhante foi identificado por Faria et al. (2008) em árvores de híbridos *Eucalyptus* spp. sob fornecimento de Ca.

O cultivo de genótipos menos eficientes no uso de Ca evidencia a necessidade de maior investimento em relação à calagem ou a um fertilizante que contenha o nutriente, principalmente na fase de implantação da floresta. No caso do cedro, estudos anteriores indicam que a espécie é sensível à acidez (BRAGA, 2011), exigindo, dessa forma, o fornecimento de calcário.

Vale ressaltar que os clones de cedro-australiano testados neste trabalho foram mais eficientes em transportar Ca e Mg para a parte aérea do que clones de eucalipto avaliados no mesmo período de cultivo (45 dias) por Pinto et al. (2011). Os clones de eucalipto foram cultivados em solução

nutritiva, na fase de muda, e apresentaram porcentagens de translocação do Ca e do Mg para a parte aérea de até 90% e 93%, respectivamente. Por outro lado, os clones de cedro-australiano atingiram patamares de 97% de translocação desses nutrientes para esse compartimento.

Os clones podem ser separados em três grupos quanto à eficiência nutricional para Ca (Figura 3A) e Mg (Figura 3B). Para o Ca, os clones agruparam-se em: grupo 1 (clone 1 - HE com alta eficiência de absorção e utilização); grupo 2 (clone 4 - XE com baixa eficiência de absorção e alta de utilização) e grupo 3 (clone 2 - XF e clone 3 - XD com alta eficiência de absorção e baixa de utilização). Para o Mg, os clones foram distribuídos em: grupo 1 (clone 4 - XE com baixa eficiência de absorção e alta de utilização); grupo 2 (clone 1 - HE com alta eficiência de absorção e baixa de utilização) e grupo 3 (clone 2 - XF e clone 3 - XD com baixas eficiências de absorção e utilização).

A elevada eficiência de utilização de nutrientes demonstrada pelos clones distribuídos nos grupos 1 (clone 1 - HE) e 2 (clone 4 - XE) para Ca e pelo clone do grupo 1 (clone 4 - XE) para Mg (Figuras 3A e 3B, respectivamente) sugere que estes clones podem apresentar menor diferença de resposta produtiva sob alta ou baixa disponibilidade desses nutrientes. Tal fato auxilia na redução da exportação de nutrientes por unidade de biomassa de lenho, sendo um aspecto importante para uma exploração florestal de forma sustentável. Por outro lado, alta eficiência de absorção associada à baixa produção de biomassa, como observado para os clones 2 (XF) e 3 (XD) para Ca, pode sugerir em um possível consumo de luxo (FURTINI NETO et al., 1996) do nutriente pelas plantas.

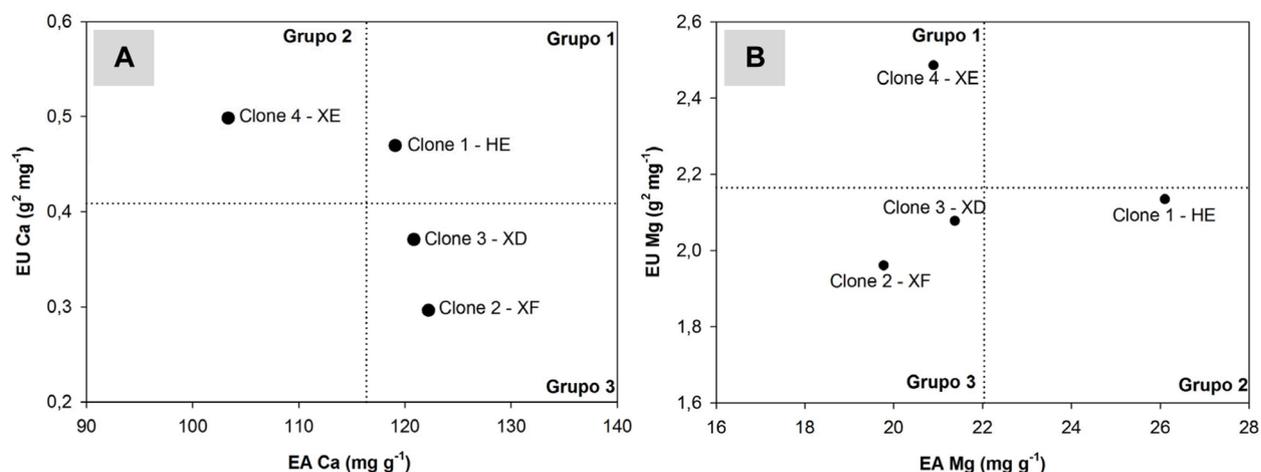


Figura 3. Diagramas de distribuição dos clones de cedro-australiano em função da eficiência nutricional de cálcio (Ca) e magnésio (Mg).

Figure 3. Distribution diagrams of Australian cedar clones as a function of calcium (Ca) and magnesium (Mg) nutritional efficiency.

Considerando à eficiência nutricional para os macronutrientes, de modo geral, os clones de cedro-australiano podem ser categorizados na seguinte ordem decrescente: clone 1 - HE > clones 4 - XE > clone 3 - XD > clone 2 - XF. Neste caso, o clone 1 - HE mostrou-se mais eficiente na absorção e na utilização de N, P, K, Ca e S, refletindo em uma maior produção de biomassa pelas plantas. O clone 4 - XE apresentou alta eficiência de absorção e de utilização apenas para o S, porém, se destacou pela maior eficiência de uso do P, Ca e Mg. O clone 3 - XD foi eficiente no uso de N e K e ineficiente no uso dos outros macronutrientes. Por fim, o clone 2 - XF obteve maior eficiência de uso para P e Ca, no entanto, mostrou-se ineficiente tanto na absorção quanto na utilização de N, S, K e Mg.

Neste trabalho foi observado que o clone mais eficiente em absorver e utilizar nutrientes (clone 1 - HE) apresentou maior relação parte aérea/raiz (Tabela 2) e maior eficiência em translocar nutrientes para produzir biomassa aérea (Tabela 3). Estas características fisiológicas podem contribuir para que este clone apresente uma maior produção da parte aérea com um menor requerimento nutricional em relação aos demais.

A eficiência nutricional de espécies ou genótipos distintos pode estar associada a vários mecanismos e suas interações (MARSCHNER, 2012) que, certamente, não foram abordados no presente trabalho. No entanto, tomando como base os resultados apresentados, os clones mais eficientes nutricionalmente, caso sejam alocados para solos de baixa fertilidade natural, deve-se levar em consideração um menor investimento em fertilizantes e corretivos, podendo apresentar uma maior recuperação dos nutrientes aplicados.

É importante ressaltar que o estudo realizado com clones de cedro-australiano em condições ambientais controladas, na fase de muda, possibilitou a identificação de diferenças na eficiência nutricional para macronutrientes, porém, para validar essas informações obtidas, faz-se necessária a condução de estudos com materiais adultos em distintas condições edafoclimáticas. Tais trabalhos podem auxiliar na avaliação do comportamento nutricional e da produtividade destes clones levando em consideração influências do sítio florestal, da idade, do uso de fertilizantes e corretivos e das práticas de manejo.

CONCLUSÕES

Os materiais genéticos avaliados diferem na capacidade de crescimento e de produção de biomassa, bem como no comportamento nutricional.

Diferenças na eficiência nutricional dos clones de cedro-australiano para os macronutrientes podem ser atribuídas às diferenças na capacidade de absorção, de translocação e de utilização destes nutrientes.

O clone 1 - HE se destaca por ser o mais produtivo e eficiente na absorção e utilização de macronutrientes.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BARROS, N. F.; NOVAIS, R. F. **Relação solo-eucalipto**. Viçosa: Folha de Viçosa, 1990. 330 p.
- BENINCASA, M. M. P. **Análise de crescimento de plantas: noções básicas**. Jaboticabal: FUNEP, 2003. 42 p.
- BRAGA, M. M. **Crescimento e qualidade de mudas de cedro australiano (*Toona ciliata* M. Roem var. *australis*) em função da aplicação de calcário e enxofre**. 2011. 81 p. Dissertação (Mestrado em Fertilidade do Solo e Nutrição Mineral de Plantas) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2011.
- BRAGA, M. M.; FURTINI NETO, A. E.; OLIVEIRA, A. H.; BATISTA, R. O. Enxofre no crescimento e qualidade de mudas de cedro australiano. **Científica**, Jaboticabal, v. 42, n. 1, p. 91-100, 2014.
- CALDEIRA, M. V. W.; RONDON NETO, R. M.; SCHUMACHER, M. V. Avaliação da eficiência nutricional de três procedências australianas de acácia-negra (*Acacia mearnsii* De Wild.). **Revista Árvore**, Viçosa, v. 26, n. 5, p. 615-620, 2002.
- CLARK, R. B. Characterization of phosphates of intact maize roots. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Davis, v. 23, n. 3, p. 458-460, 1975.
- FAGERIA, N. K. Otimização da eficiência nutricional na produção das culturas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 2, n.1, p. 6-16, 1998.
- FAGERIA, N. K.; BALIGAR, V. C. Screening crop genotypes for mineral stresses. In: WORKSHOP ON ADAPTATION OF PLANTS TO SOIL STRESSES, 1993, Lincoln. **Proceedings...** Lincoln: University of Nebraska, 1993. p. 142-159.

- FARIA, G. E.; BARROS, N. F.; CUNHA, V. L. P.; MARTINS, I. S.; MARTINS, R. C. C. Avaliação da produtividade, conteúdo e eficiência de utilização de nutrientes em genótipos de *Eucalyptus* spp. no vale do Jequitinhonha, MG. **Revista Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 18, n. 3, p. 363-373, 2008.
- FERREIRA, D. F. SISVAR: A Computer Statistical Analysis System. **Revista Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 35, p. 1039-1042, 2011.
- FONTES, A. G.; GAMA-RODRIGUES, A. C.; GAMA-RODRIGUES, E. F. Eficiência nutricional de espécies arbóreas em função da fertilização fosfatada. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 33, n. 73, p. 9-18, 2013.
- FURTINI NETO, A. E.; BARROS, N. F.; GODOY, M. F.; NOVAIS, R. F. Eficiência nutricional de mudas de *Eucalyptus* em relação a fósforo. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 20, n.1, p. 17-28, 1996.
- HORN, D.;ERNANI, P.R.;SANGOI, L.;SCHWEITZER, C.; CASSOL, P. C. Parâmetros cinéticos e morfológicos da absorção de nutrientes em cultivares de milho com variabilidade genética contrastante. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 30, n. 1, p. 77-85, 2006.
- LI, B.; McKEAND, S. E.; ALLEN, H. L. Genetic variation in nitrogen use efficiency of loblolly pine seedlings. **Forest Science**, Bethesda, v. 37, n. 2, p. 613-626, 1991.
- LIMA, A. M. N.; NEVES, J. C. L.; SILVA, I. R. LEITE, F. P. Cinética de absorção e eficiência nutricional de K, Ca e Mg em plantas jovens de quatro clones de eucalipto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 29, n. 6, p. 903-909, 2005.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2.ed. Piracicaba: Potafos, 1997. 319 p.
- MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 3.ed. San Diego: Academic Press, 2012. 651 p.
- PINTO, S. I. C.; FURTINI NETO, A. E.; NEVES, J. C. L.; FAQUIN, V.; MORETTI, B. S. Eficiência nutricional de clones de eucalipto na fase de mudas cultivados em solução nutritiva. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 35, n. 2, p. 523-533, 2011.
- POZZA, A. A. A.; CARVALHO, J. G.; GUIMARES, P. T. G.; FIGUEIREDO, F. C.; ARAÚJO, A. R. Suprimento do silicato de cálcio e a eficiência nutricional de variedades de cafeeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 33, n. 6, p. 1705-1714, 2009.
- REIS, G. G.; REIS, M. G. F.; FONTAN, I. C. I.; MONTE, M. A.; GOMES, A. N.; OLIVEIRA, C. H. R. Crescimento de raízes e da parte aérea de clones de híbridos de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* e de *Eucalyptus camaldulensis* x *Eucalyptus* spp submetidos a dois regimes de irrigação no campo. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 30, n. 6, p. 921-931, 2006.
- SANTANA, R. C.; BARROS, N. F.; NEVES, J. C. L. Eficiência de utilização de nutrientes e sustentabilidade da produção em procedências de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna* em sítios florestais do Estado de São Paulo. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 26, n. 4, p. 447-457, 2002.
- SIDDIQI, M. Y.; GLASS, A. D. M. Utilization index: a modified approach to the estimation and comparison of nutrient utilization efficiency in plants. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v. 4, n. 3, p. 289-302, 1981.
- SILVEIRA, R. L. V. A.; HIGASHI, E. N.; GONÇALVES, A. N.; MOREIRA, A. Evaluation of the nutritional status of eucalypts: visual and foliar diagnoses and their interpretation. In: GONÇALVES, J. L. M.; BENEDETTI, V. **Forest nutrition and fertilization**. Piracicaba: IPEF, 2004. p. 85-111.
- SWIADER, J. M.; CHYAN, Y.; FREIJI, F. G. Genotypic differences in nitrate uptake and utilization efficiency in pumpkin hybrids. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v. 17, n. 10, p. 1687-1699, 1994.

Recebido em 12/05/2014

Aceito para publicação em 25/03/2015

