

Efeito do déficit nutricional no crescimento, no índice de clorofila total e na eficiência fotossintética em clones híbridos de *Eucalyptus*⁽¹⁾

Ana Flávia Guimarães Paolinelli⁽²⁾; Inaê Mariê de Araújo Silva⁽³⁾; Kamilla Emmanuelle Carvalho de Almeida⁽⁴⁾; Janaína Fernandes Gonçalves⁽⁵⁾; José Barbosa dos Santos⁽⁶⁾; Marcelo Luiz de Laia⁽⁷⁾

⁽¹⁾ Trabalho executado com recursos da FAPEMIG, CNPq e Aperam Bioenergia LTDA.

⁽²⁾ Estudante de graduação; Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri; Diamantina, Minas Gerais; ana.flaviagp@hotmail.com; ⁽³⁾ Estudante de mestrado; Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri; ⁽⁴⁾ Estudante de mestrado; Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri; ⁽⁵⁾ Estagiária de pós-doutorado PNPd/CAPES no Programa de Pós-graduação em Ciência Florestal; Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri; ⁽⁶⁾ Professor; Departamento de Agronomia; Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri; ⁽⁷⁾ Professor Orientador; Departamento de Engenharia Florestal; Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri.

RESUMO: A produtividade de espécies arbóreas com alto potencial de crescimento, como o eucalipto, é frequentemente limitada por restrições nutricionais. Considerando que muitos plantios estão sendo iniciados em áreas cujos solos são de baixa fertilidade, torna-se extremamente importante o conhecimento das suas necessidades nutricionais. Dentro desse contexto, objetivou-se determinar a influência da omissão de macronutrientes, B, Cu e Zn, no crescimento, índice de clorofila total e eficiência fotoquímica em clones híbridos de *Eucalyptus* "urograndis" em casa de vegetação. Vasos plásticos, sem furos, com capacidade de 1 l, foram preenchidos com areia grossa lavada, como substrato, previamente homogeneizada com os nutrientes. Mudanças com 90 dias de idade tiveram seu sistema radicular lavado em água destilada e transplantadas para os respectivos vasos. Os tratamentos testados foram: completo (adubado com N, P, K, Ca, Mg, S, B, Cl, Cu, Fe, Mn, Mo e Zn), omissão individual dos nutrientes (N, P, K, Ca, Mg, S, B Cu ou Zn). Cada tratamento recebeu os nutrientes na forma de reagentes P.A. misturados totalmente ao volume do substrato daquele tratamento. O delineamento foi inteiramente casualizado (DIC), com 10 tratamentos e quatro repetições cada. As avaliações foram realizadas no final do experimento. Os resultados mostraram que o tratamento mais limitante ao crescimento, clorofila total bem como a eficiência fotoquímica foi aquele sem S. De modo geral, a omissão nutricional limitou a eficiência quântica potencial do PSII das plantas.

Termos de indexação: nutrição mineral, fotossistema II, clorofila a.

INTRODUÇÃO

O eucalipto é uma espécie de uso múltiplo e atende a muitos setores florestais brasileiros. Apresenta rápido crescimento, alta capacidade produtiva e adaptabilidade a diversos ambientes. Aliada a sua grande diversidade de espécies, essas qualidades garantem uma grande gama de utilização industrial (Assis, 1999). Historicamente, no Brasil, esta cultura tem se concentrado em solos de baixa fertilidade, não aptos à agricultura convencional, o que demanda adubações com macro e micronutrientes a fim de obter produtividade comercialmente aceitável (Silveira et al., 2001).

De acordo com Malavolta et al., (1997), uma planta normal é aquela que apresenta, no seu tecido, todos os macro e micronutrientes em quantidades e proporções não limitantes para o crescimento em todas as fases do seu ciclo de vida. Ainda, segundo esses autores, a falta dos nutrientes essenciais propiciará o desenvolvimento lento da planta, que onera a produção, e ocasionará modificações morfofisiológicas nos tecidos.

Embora variáveis morfológicas sejam importantes para a avaliação do efeito da omissão nutricional em diferentes espécies, podem não ser eficientes para avaliar os efeitos deletérios da ausência de cada nutriente em cloroplastos, os quais podem ser mais evidenciados por meio da avaliação da eficiência quântica potencial do fotossistema II (PSII), obtido por meio da razão Fv/Fm, em que a fluorescência variável (Fv) é determinada por $Fv = Fm - F_0$, F_0 é a fluorescência mínima e Fm é a fluorescência máxima. Tal razão, em plantas com aparato fotossintético em estado perfeito, pode variar numa faixa de 0,75 a 0,85 (Bolhàr-Nordenkamp et al., 1989).

Portanto, na busca por entender o efeito da supressão de nutrientes no aparato fotossintético de um clone de eucalipto, largamente utilizado em plantios comerciais, objetivaram-se determinar o

efeito da omissão de macronutrientes, B, Zn e Cu no crescimento, no índice de clorofila total e na eficiência quântica do PSII, em condições controladas.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em casa de vegetação pertencente ao Departamento de Engenharia Florestal da Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, localizada em Diamantina – MG. Foram utilizadas mudas do clone comercial 144 (*Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*), fornecidas pela Empresa Aperam Bioenergia LTDA, localizada no município de Itamarandiba – MG. As mudas foram produzidas, segundo os critérios comercialmente adotados pela empresa, em tubetes de polipropileno contendo vermiculita (40%), casca de arroz carbonizada (30%) e fibra de coco (30%). Aos 90 dias de idade, as raízes foram lavadas com água destilada a fim de remover todo o substrato. Em seguida, foram transplantadas para vasos plásticos, com capacidade de 1 l, contendo areia grossa lavada. Os tratamentos utilizados foram completo (adubado com N, P, K, Ca, Mg, S, B, Cl, Cu, Fe, Mn, Mo e Zn) e omissão individual dos nutrientes (N, P, K, Ca, Mg, S, Cu, B e Zn). A adubação completa consistiu em 300 mg de N, 200 mg de P, 150 mg de K, 75 mg de Ca, 15,5 mg de Mg, 50 mg de S, 0,5 mg de B, 1,5 mg de Cu, 5 mg de Fe, 0,1 mg de Mo, 5 mg de Zn e 4 mg de Mn. As análises químicas da areia lavada mostrou que a quantidade do nutriente Fe presente no substrato era suficiente para o desenvolvimento da planta. A análise físico-química foi realizada pelo laboratório de análises de solos da Universidade Federal de Viçosa. A nutrição nos tratamentos de omissão foi idêntica ao completo, à exceção do nutriente omitido, que não estava presente. Os nutrientes foram aplicados na forma de reagentes P.A. e misturados totalmente ao volume de substrato correspondente a cada tratamento.

As plantas foram irrigadas diariamente, com água destilada, às oito horas, durante todo o período experimental, com volume suficiente para manter o substrato com 12% de umidade. A quantidade de água necessária foi obtida pelo método gravimétrico, onde a massa do conjunto vaso-solo-planta foi quantificada antes do horário de irrigação, estimando-se o volume necessário diariamente. Foi utilizado o delineamento inteiramente casualizado, com 10 tratamentos e quatro repetições cada, totalizando 40 unidades experimentais. No final do experimento (60 dias), efetuaram-se as medições da altura, diâmetro, clorofila total e das variáveis da fluorescência da clorofila *a*. O índice de clorofila total foi quantificado diretamente com clorofilômetro

marca ClorofiLOG (CFL 1030), conforme as instruções do fabricante e expresso em uma unidade adimensional, chamada Índice de Clorofila Falker (ICF) (Falker Automação Agrícola, 2008). Todas as medições foram efetuadas na primeira folha totalmente expandida e em bom estado fitossanitário. Foram realizadas três leituras para a obtenção do valor médio, utilizado nas análises estatísticas. As variáveis da fluorescência da clorofila *a* foram determinadas utilizando um fluorímetro JUNIOR-PAM portátil. A partir dos valores de F_0 (fluorescência mínima) e de F_m (fluorescência máxima), calculou-se a fluorescência variável ($F_v = F_m - F_0$), determinando-se, então, a eficiência quântica potencial do PSII (F_v/F_m).

Quando da obtenção das variáveis da fluorescência da clorofila *a*, as mudas foram mantidas no escuro para que os centros de reação das folhas adquirissem a condição de "abertos" (extintor fotoquímico não-reduzido). As leituras foram realizadas entre as 20 e 22 h. Os valores de fluorescência obtidos foram, automaticamente, armazenados no equipamento e, posteriormente, transferidos para um computador.

Os dados obtidos foram submetidos a uma análise de variância (ANOVA) e, quando significativos, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Todas as análises estatísticas foram realizadas no ambiente R (R Core Team, 2013).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Segundo os resultados, o nutriente omitido que mais interferiu negativamente no crescimento, na síntese de clorofila, e na eficiência fotoquímica foi a falta de enxofre (**Tabela 1**).

Tabela 1: Resultados médios para as variáveis altura, índice de clorofila total e eficiência quântica potencial do PS II de mudas de eucalipto, após 60 dias da aplicação dos tratamentos ⁽¹⁾

Tratamentos	Altura (cm)		Clorofila Total		Fv/Fm	
Omissão de Ca	38,8750	a	43,4425	ab	0,6975	ab
Omissão de Zn	38,1250	ab	31,5725	abc	0,6975	ab
Omissão de Mg	37,5250	abc	45,8900	ab	0,7900	a
Omissão de Cu	37,0000	abc	49,5575	a	0,7400	ab
Omissão de K	36,6250	abc	36,9325	abc	0,8000	a
Omissão de B	35,7500	abc	28,7575	abc	0,3925	bc
Omissão de N	34,2500	abc	24,1525	bc	0,6225	ab
Omissão de P	33,7500	abc	50,5250	a	0,7275	ab
Completo	32,6250	bc	45,5300	ab	0,6225	ab
Omissão de S	31,5000	c	15,7750	c	0,0375	c
CV % ²	7,16		27,82		23,41	

⁽¹⁾ Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

Crescimento (altura)

Embora não estatisticamente diferente da maioria dos tratamentos (**Tabela 1**), a omissão de enxofre foi a que mais limitou o crescimento em altura do clone estudado. A ausência desse nutriente reduziu em 19% a altura, quando comparada ao tratamento sem Ca, que menos afetou o crescimento em altura.

Alvarez (1974) afirma que a aplicação de adubos nitrogenados e, ou, fosfatados com altos teores de nitrogênio e fósforo pode induzir a falta de enxofre e acentuar sua deficiência. Braga et al., (1995) verificaram que a omissão do enxofre no meio de crescimento afetou o crescimento das espécies *Acacia mangium*, quaresmeira (*Tibouchina granulosa*), peroba-rosa (*Aspidosperma polyneuron*) e plantas de pereira (*Platycyamus regnellii*). Resultado semelhante foi obtido por Renó et al., (1997), pois estes autores constataram que esse nutriente foi altamente limitante para o crescimento de mudas de cedro (*Cedrela fissilis*), jacaré (*Piptadenia gonoacantha*), pau-ferro (*Caesalpineia ferrea*) e canafístula (*Senna multijuga*).

Diferentemente do enxofre, a omissão de Ca foi o tratamento que menos limitou a altura das mudas. Resultados semelhantes foram obtidos por Duboc et al. (1996), para jatobá (*Hymenaea courbaril*), e por Venturin et al. (2005), para *Eremanthus erythropappus* (candeia). Eles também constataram que a altura não foi estatisticamente diferentes entre os tratamentos com omissão de Mg, Ca, K, S, Zn ou completo, tal qual o aqui verificado.

Para o tratamento completo, em função da ótima disponibilidade de nutrientes, esperava-se o maior crescimento em altura, fato não observado (**Tabela 1**).

Índice de Clorofila total

Em relação à clorofila total, apesar de alguns tratamentos não apresentarem diferenças estatísticas entre si (**Tabela 1**), a omissão de alguns nutrientes ocasionou teores baixos para essa variável. O tratamento com omissão de S resultou em uma redução do índice de clorofila total (**Tabela 1**). Segundo Marengo & Lopes (2005), na deficiência de enxofre, observa-se redução de síntese de proteínas, o que leva ao acúmulo do N orgânico solúvel, nitrato e amido e à redução dos teores de clorofila. Malavolta et al. (1997) confirma que a omissão do enxofre causa diminuição na fotossíntese e na atividade respiratória.

Com relação a enxofre e nitrogênio, não foi

observada diferença significativa entre ambos (**Tabela 1**). Tal fato pode ser explicado devido, segundo a literatura especializada, ambos os metabolismos estarem associados entre si.

Os tratamentos com omissão de P, Cu e Mg apresentaram os maiores teores de clorofila total (**Tabela 1**). Alguns estudos, como o desenvolvido por Naiff (2007), têm verificado uma coloração verde mais intensa, quase que azulada, em folhas com deficiência de P. Segundo Malavolta (1980), essa coloração se deve ao aumento da concentração relativa no teor de clorofila. Coloração semelhante foi observada neste estudo quando da omissão de P (dados não mostrados). Já para o Cu, a detecção de altos teores de clorofila pode ser explicada por uma provável eficiência da planta no consumo desses nutrientes, ou por falta de relação funcional direta desses para com a molécula de clorofila. Em relação ao Mg, por se tratar de um componente central da molécula da clorofila (Mengel & Kirkby, 2001), esperava-se valores consideravelmente mais baixos do que os observados.

Eficiência fotoquímica

O rendimento quântico máximo do PSII, estimado pela razão Fv/Fm, indica a dissipação fotoquímica de energia e expressa a eficiência de captura desta energia de excitação pelos centros de reação abertos do PSII (Baker, 1991).

De modo geral, a omissão nutricional provocou um declínio nos valores da razão Fv/Fm para valores inferiores a 0,75, o que é um possível indicativo, tanto de uma regulação fotoprotetora reversível, quanto de uma inativação irreversível do PSII. Este declínio pode ser explicado pela participação direta ou indireta de tais nutrientes no funcionamento do aparato fotossintético das plantas.

Os tratamentos que mais limitaram a eficiência quântica potencial do PSII foram aqueles onde se omitiu enxofre e boro.

Darlene et al. (2010) afirma que a influência do S na fase fotoquímica da fotossíntese não é relatada na literatura, mas a sua assimilação depende de ferredoxina reduzida, o que poderia resultar em alterações no sinal da fluorescência.

Golbach et al. (2007) descrevem que a função do boro no processo fotossintético ainda é desconhecida, mas, a deficiência pode afetar o funcionamento das membranas do cloroplasto, que, por sua vez, afeta o transporte de elétrons no tilacoide, resultando em fotoinibição.

Por outro lado, a omissão que menos limitou a eficiência quântica do PSII foram aquelas onde se omitiu Mg ou K. Considerando que o Mg tem participação direta no processo fotossintético, atuando como componente central da molécula de clorofila, esperava-se o contrário. Já o

potássio, que participa indiretamente do processo fotossintético, controlando as trocas gasosas subjacentes a fotossíntese, assim como favorecendo o fluxo de elétrons entre os fotossistemas, o resultado aqui obtido pode estar coerente.

CONCLUSÕES

A omissão nutricional pode interferir na altura total, no índice de clorofila total e na eficiência quântica potencial do PSII, para o clone em questão.

Nestas condições, o crescimento em altura é significativamente influenciado pela ausência de S.

A omissão de S e N tem grande influência no índice de clorofila *a*.

A ausência da maioria dos nutrientes limita a eficiência quântica potencial do PSII das plantas.

REFERÊNCIAS

ALVAREZ V., V.H. Equilíbrio de formas disponíveis de fósforo e enxofre em dois Latossolos de Minas Gerais. 1974. 125p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1974.

ASSIS, T. F. de. Aspectos do Melhoramento de Eucalyptus para a Obtenção de Produtos Sólidos da Madeira. WORKSHOP: Técnicas de Abate, Processamento e Utilização da Madeira de Eucalipto. Viçosa-MG, 22 a 24 de junho de 1999. p. 61-72.

BAKER, N.R. A possible role for photosystem II in environmental perturbations of photosynthesis. *Physiologia Plantarum*, v.81, n.4, p.563-70, 1991.

BOLHÀR-NORDENKAMPF, H.R et al. Chlorophyll fluorescence as probe of the photosynthetic competence of leaves in the field: a review of current instrument. *Functional Ecology*, v.3, p.497-514, 1989.

BRAGA, F.A.; VALE, F.R.; VENTORIN, N.; AUBERT, E.; LOPES, G.A. Exigências nutricionais de quatro espécies florestais. *Revista Árvore*, Viçosa, v.19, n.1, p.18-31, 1995.

DARLENE A.P. V.; TOMÁS, A.P.; ELIANE S.S.; JOÃO B.T.; Fluorescência e teores de clorofila em abacaxizeiros cv. Pérola submetido a diferentes concentrações de sulfato de amônio. *Revista Brasileira de Fruticultura*, Jaboticabal, v. 32, n. 2, p. 360-368, Junho 2010.

DUBOC, E.; VENTORIM, N.; VALE, F. R. DO; DAVIDE, A. C. Nutrição do jatobá (*Hymenaea courbaril* L. var. *stilbocarpa*(Hayne) Lee et Lang. *Revista Cerne*, Lavras, v. 2, n. 1, p. 1-12, 1996.

FALKER AUTOMAÇÃO AGRÍCOLA. Manual do medidor eletrônico de teor clorofila (ClorofiLOG/CFL 1030). Porto Alegre, 2008. P.33. Disponível em: <http://www.falker.com.br/produto_download.php?id=4>. Acesso em: 10 abril 2013.

MALAVOLTA, VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. de. Avaliação do estado nutricional das plantas. Princípios e aplicações. 2. ed. Piracicaba: POTAFOS, 1997. 319p.

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

MARENCO, R.A.; LOPES, N.F. Fisiologia Vegetal: fotossíntese, respiração, relações hídricas e nutrição mineral. Viçosa: UFV, 439p., 2005.

MENGEL, K.; KIRKBY, E.A. Principles of plant nutrition. 5.ed. Dordrechth: Kluwer Academic Publishers, 2001. 849p.

NAIFF, A.P.M. Crescimento, Composição Mineral e Sintomas Visuais de Deficiências de Macronutrientes em Plantas de *Alpinia Purpurata* Cv. Jungle King. Tese de Mestrado. Universidade Federal Rural Da Amazônia. Belém, p.77, 2007.

R Core Team. R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing. Vienna, Austria. <http://www.R-project.org>. 2013.

RENÓ, N.B.; SIQUIERA, J.O.; CURTI, N.; VALE, F.R. Limitações nutricionais ao crescimento inicial de quatro espécies arbóreas nativas em Latossolo vermelho-amarelo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v.32, n.1, p.17-25, 1997.

SILVEIRA, R.L.V.A.; HIGASHI, E.N.; SGARBI, F.; MUNIZ, M.R.A. Seja o doutor do seu eucalipto. Potafos-Informações agronômicas, Piracicaba, n.93, p.1-31, 2001. (Arquivo do Agrônomo - Nº 12).

VENTURIN, N; SOUZA, P.A.: MACEDO, R. L. G.: NOGUEIRA, F. D. Adubação mineral da candeia (*Eremanthus erythropappus* (DC) McLeish). *Floresta*, Curitiba, PR, v.35, n.2, p. 211-219, mai/ago. 200.