

Influência da hipoxia sobre as trocas gasosas de clones de eucalipto⁽¹⁾

Maria Celestina da Silva Guimarães⁽²⁾; Mateus Alves dos Santos⁽³⁾; Fellip Januário Pinheiro Lacerda⁽⁴⁾; Ivo Ribeiro da Silva⁽⁵⁾ & Roberto Ferreira Novais⁽⁶⁾

⁽¹⁾ Trabalho executado com recursos da FAPEMIG e CNPq.

⁽²⁾ Graduanda em Agronomia, Bolsista de Iniciação Científica do Departamento de solos; Universidade Federal de Viçosa; Viçosa, Minas Gerais; maria.celestina@ufv.br; ⁽³⁾ Graduando em Agronomia; Universidade Federal de Viçosa; Viçosa, Minas Gerais; mateus.vrbmg@gmail.com; ⁽⁴⁾ Mestrando do Programa de Pós-graduação em Solos e Nutrição de Plantas; Universidade Federal de Viçosa; Viçosa, Minas Gerais; fellip.lacerda@amcel.com.br; ⁽⁵⁾ Professor Adjunto do Departamento de Solos; Universidade Federal de Viçosa; Viçosa, Minas Gerais; ivosilva@ufv.br; ⁽⁶⁾ Professor Titular do Departamento de Solos; Universidade Federal de Viçosa; Viçosa, Minas Gerais; rfnovais@ufv.br.

RESUMO: A Seca de Ponteiro de Eucalipto do Vale do Rio doce (SPEVRD) é um distúrbio fisiológico que causa grandes perdas em plantios de eucalipto. Esse problema vem apresentando estreita correlação com ambiente de hipoxia (baixo potencial redox), criado em solos com drenagem deficiente. Assim, o objetivo deste trabalho foi verificar alterações na taxa fotossintética, condutância estomática, transpiração, concentração interna de CO₂ (Ci) e a relação interna/externa (Ci/Ca) de CO₂ em clones de eucalipto submetidos a concentrações diferentes de O₂. Foram utilizados dois clones de eucalipto, um sensível e outro tolerante a SPEVRD e quatro concentrações de oxigênio (1, 4, 6 e 8 mg L⁻¹), em solução nutritiva de Clarck. Os tratamentos foram distribuídos em delineamento em blocos ao acaso, com quatro repetições. A temperatura e a luminosidade foram controladas e o pH foi ajustado diariamente para 5,0. A oxigenação da solução foi medida e controlada com auxílio de um oxímetro e a hipoxia obtida pelo borbulhamento contínuo de N₂. Os atributos fisiológicos foram medidos por meio de um analisador de fotossíntese *Li-Cor LI-6400XT* após 14 dias de hipoxia. Houve redução da maioria dos atributos fisiológicos analisados quando os clones foram submetidos à hipoxia, sugerindo que a redução na abertura estomática pode ser uma das primeiras alterações fisiológicas, trazendo alterações nos demais atributos, sendo que o clone tolerante apresenta uma resposta mais rápida a hipoxia.

Termos de indexação: Fotossíntese; estresse hipóxico; SPEVRD.

INTRODUÇÃO

A Seca de Ponteiro de Eucalipto do Vale do Rio Doce (SPEVRD) é uma anomalia diagnosticada nos anos 80 em plantios de eucalipto na região do Vale do Rio Doce, no Estado de Minas Gerais, e posteriormente localizada em outras regiões do Brasil. Esse problema está relacionado a fatores

abióticos e a solos com impedimentos físicos, reduzindo o crescimento de plantas podendo levá-las à morte. Embora ainda não se conheçam bem as verdadeiras causas que levam ao surgimento da SPEVRD, observa-se que a hipoxia (baixo potencial redox) é a primeira alteração abiótica a predispor os clones de eucalipto, de forma diferenciada, à SPEVRD, podendo trazer alterações no metabolismo dessas plantas, acarretando modificações fisiológicas de modo a levar à sobrevivência em condição de déficit de O₂ (Clemens et al., 1978 ; Blake & Reid, 1981). Dentre as alterações fisiológicas têm-se a queda do pH citosólico e a pouca disponibilidade de ATP, ocorrendo uma queda na síntese de aquaporinas (Bramley & Tyerman, 2010). Dessa forma as raízes sob estresse hipóxico absorvem menos água, reduzindo, assim, o seu fornecimento para a parte aérea, reduzindo também o transporte de hormônios, nutrientes e outros solutos às partes apicais via fluxo de massa (Jackson et al., 1996; Grichko & Glick, 2001). Essas mudanças podem alterar a fisiologia, o crescimento e o desenvolvimento da parte aérea, em especial as partes mais novas. Essas modificações podem incluir degradação de moléculas de clorofila, queda na permeabilidade das membranas, peroxidação, queda na expansão foliar, epinastia e redução na condutância estomática.

O fechamento estomático reduz as trocas gasosas, impedindo uma absorção eficiente de CO₂. Com a falta de CO₂ no sítio de carboxilação a energia luminosa, que continua sendo absorvida pelos fotossistemas, começa a se acumular e provoca uma super redução da cadeia transportadora de elétrons que, ao absorverem muita luz, ficam muito tempo excitados e reagem com o O₂ livre no estroma, resultando na produção de EROs (Espécies Reativas de Oxigênio), (Schanz et al., 1996; Carvalho & Amancio, 2002), cujo acúmulo pode levar à senescência e até à morte de tecido ou planta (Sgherri et al., 1993). Dessa forma, este estudo teve a finalidade de caracterizar as

possíveis alterações fisiológicas, quando clones de eucalipto forem submetidos à estresse hipóxico.

MATERIAL E MÉTODOS

A condução deste experimento foi realizada em Câmara de Crescimento no Departamento de Solos, Universidade Federal de Viçosa. Os clones empregados foram 1213 (sensível) e 2719 (tolerante), sendo estes produto dos cruzamentos *Eucalyptus urophylla* x *E. grandis* (*E. urograndis*).

Os tratamentos consistiram de uma combinação fatorial 2x4, constituído por dois clones e 4 concentrações de O₂ (1, 4, 6 e 8 mg L⁻¹) em solução nutritiva de Clarck (Clarck, 1975). Os tratamentos foram distribuídos em um delineamento experimental em blocos ao acaso, com quatro repetições.

Os clones foram mantidos em condição de iluminação artificial por lâmpadas halógenas (600 μmol m⁻² s⁻¹), com fotoperíodo dia/noite de 10/16 h. A temperatura foi controlada em 30 °C ±2 e a umidade relativa mantida em torno de 70 %, de modo a simular as condições de campo.

Com 25-30 dias de idade as mudas foram trazidas da Cenibra para casa de vegetação. Após cinco dias de aclimação nos tubetes originais, elas foram removidas do substrato, lavadas com água deionizada e transferidas para bandejas de 10 L contendo solução nutritiva de Clark com a metade da concentração da solução original. A solução foi trocada semanalmente e continuamente aerada. O pH foi mantido em 5,0 por adições de ácido ou base.

Para evitar o escurecimento e estimular o crescimento radicular foram aplicados 100 μmol L⁻¹ de Al (Silva et al., 2004). O O₂ dissolvido, em cada tratamento, foi quantificado com oxímetro, sendo a leitura realizada quatro vezes ao dia. Nos tratamentos com hipóxia a baixa concentração de O₂ foi mantida por meio de injeção contínua de N₂ na solução. As plantas foram cultivadas nessas condições por um período de 14 dias

Ao final do experimento foram aferidos alguns atributos fisiológicos como: fotossíntese, condutância estomática, transpiração, concentração interna de CO₂ e a relação interna/externa de CO₂, sob luz saturante artificial (1400 μmol m⁻¹ s⁻¹), por meio de analisador de fotossíntese Li-Cor LI-6400XT, IRGA. As medições foram realizadas entre 7:00 e 11:00 h. Os dados foram analisados de acordo com o delineamento em blocos casualizados.

Equações de regressão quadráticas e lineares foram ajustadas para cada atributo

avaliado (fotossíntese, condutância estomática, transpiração, concentração interna de CO₂ e a relação interna/externa de CO₂). Os dados foram testados pelo teste t, utilizando os níveis de significância (p<0,1), (p<0,05), (p<0,01).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A redução da concentração de O₂ provocou uma queda na maioria dos atributos avaliados, sendo mais expressiva no clone tolerante (**Figura 1**). Houve diminuição da taxa fotossintética líquida (A) para ambos os clones, podendo esta chegar a 70 % para o clone 2719 em condição intensa de hipóxia (1 mg L⁻¹ de O₂). Martinazzo et al. (2012), estudando plantas de Ameixeira (*Prunus Salicina* Lindl.), observaram uma redução em (A) quando essas plantas foram submetidas ao alagamento. Esta redução pode estar associada ao fechamento estomático, que desencadeia vários processos, como a redução de CO₂ interno, da transpiração e altera a relação Ci/Ca. Em plantas de Carnaúba (*Copernicia prunifera* (Mill.) H.E. Moore) foi observado que a condição de alagamento causa redução da condutância estomática e fotossíntese (Arruda & Calbo, 2004).

A condutância estomática (g_s) é uma das primeiras alterações fisiológicas que as plantas, de modo geral, apresentam em condição de alagamento. Bradford & Hsiao (1982), estudando uma espécie de tomate (*Lycopersicon esculentum*) observaram uma redução de 30 % em g_s quando esse material permaneceu por 24 h em condição de alagamento. Para duas espécies de eucalipto (*E. camaldulensis* e *E. lesouefii*), também foi observado que a hipóxia causa alteração de condutância estomática (Vander et al., 1989). Para os clones de eucalipto, alvo do estudo, a redução em g_s foi mais intensa para o clone tolerante, sendo que uma pequena variação na concentração de O₂ em solução nutritiva de 8 para 6 mg L⁻¹, acarretou uma redução em g_s de 33 %, diferentemente do clone suscetível que não apresentou variação.

A transpiração (E) das mudas de eucalipto, também, foi afetada pela hipóxia, sendo reduzida com o aumento da restrição de O₂ ao sistema radicular. Este fato é explicado, basicamente, pela redução de g_s. Essa afirmação, corrobora com o estudo realizado por Martinazzo et al. (2012), em que a imposição de hipóxia causou a redução na transpiração de plantas de amexeira.

A redução da concentração interna de CO₂ (Ci) foi similar aos demais atributos fotossintéticos, porém não foi significativa para o clone suscetível. No clone tolerante essa redução sugere que em



condição de hipoxia, a taxa fotossintética líquida pode ser controlado pela condutância estomática.

O clone tolerante responde mais rapidamente à hipoxia do que o suscetível; uma pequena queda na concentração de oxigênio já causa redução da condutância estomática e, conseqüentemente da fotossíntese pela diminuição da concentração de carbono absorvido. Porém, ele mantém carbono no sítio de carboxilação e isso o permite manter a fotossíntese em taxas suficientes para sobreviver e evitar degradação pelas formas reativas de oxigênio. Esse mecanismo é vantajoso para a recuperação das plantas após o estresse. Observa-se por meio da relação entre carbono interno e externo que o CO₂ externo não é fator limitante à fotossíntese e sim à redução da condutância estomática.

CONCLUSÕES

1. A redução da concentração de oxigênio provoca a queda da condutância estomática afetando os outros atributos em ambos os clones.
2. O clone tolerante tem uma maior responsividade a hipoxia.

AGRADECIMENTOS

A FAPEMIG e CNPq pelos recursos concedidos.

REFERÊNCIAS

- ARRUDA, G.M.T & CALBO, M.E.R. Efeitos da inundação no crescimento, trocas gasosas e porosidade radicular da carnaúba (*Copernicia prunifera* (Mill.) H.E. Moore). *Acta Botânica Brasílica* 18 (2):219-224, 2004.
- BLAKE, T.J. & REID, D.M. Ethylene, water relations and tolerance to waterlogging of three eucalyptus species. *Aust. J. Plant Physiol.*, 8:497-505, 1981.
- BRADFORD, K.J. & HSIAO, T.C. Stomatal behavior and water relations of waterlogged tomato plants. *Plant Physiol.*, 70:1508-1513, 1982.
- BRAMLEY, H. & TYERMAN, S. Root water transport under waterlogged conditions and the roles of aquaporins. In *Waterlogging Signalling and Tolerance in Plants* (S. Mancuso & S. Shabala, eds.). Berlin, Heidelberg, Springer, 2010, p 151-180.
- CARVALHO, L.C. & AMANCIO, S. Antioxidant defence system in plantlets transferred from in vitro to ex vitro: effects of increasing light intensity and CO₂ concentration, *Plant Sci.*, 162:33-40, 2002.
- CLARCK, R. B. Characterization of phosphatase of intact maize roots. *J. Agric. Food Chem.*, 23:458-460, 1975.
- CLEMENS, J., ANN-MAREE KIRK & MILLS, P.D. The resistance to waterlogging of three eucalyptus species. *Oecologia*, 34:125-131, 1978.
- GRICHKO, V.P. & GLICK, B.R. Ethylene and flooding stress in plants, *Plant Physiol. Biochem.*, 39:1-9, 2001.
- JACKSON, M.B.; DAVIES, W.J. & ELSE, M.A. Pressure-flow relationships, *Ann. Bot.*, 77:17-24, 1996.
- MARTINAZZO, E.G.; PERBONI, A.T.; OLIVEIRA, P.V.; BIANCHI, V.J.; BACARIN, M.A. Atividade fotossintética em plantas de ameixeira submetidas ao déficit hídrico e ao alagamento. *Ci. Rural*, 43:35-41, 2013.
- SCHANZ, P.; PICON, C.; VIVIN, P.; DRYER, E.; GUEHL, J.M. & POLE, A. Responses of antioxidative systems to drought stress in pendunculate oak and maritime pine as modulated by elevated CO₂, *Plant Physiol.*, 110:393-402, 1996.
- SGHERRI, C.L.M.; PINZIO, C. & NAVARI-IZZO, F. Chemical changes and O₂ production in thylakoid membranes under water stress, *Physiol. Plant.*, 87:21-216, 1993.
- SILVA, I.R.; NOVAIS, R.F.; JHAM, G.N.; BARROS, N.F.; GEBRIM, F.O.; NUNES, F.N.; NEVES, J.C.L. & LEITE, F.P. Responses of eucalypt species to aluminum: the possible involvement of low molecular weight organic acids in the Al tolerance mechanism. *Tree Physiol.*, 24:1267-1277, 2004.
- VANDER MOEZEL, P.G.; WATSON, L.E & BELL, D.T. Gas exchange responses of two eucalyptus species to salinity and waterlogging. *Tree Physiol.*, 5:251-257, 1989.

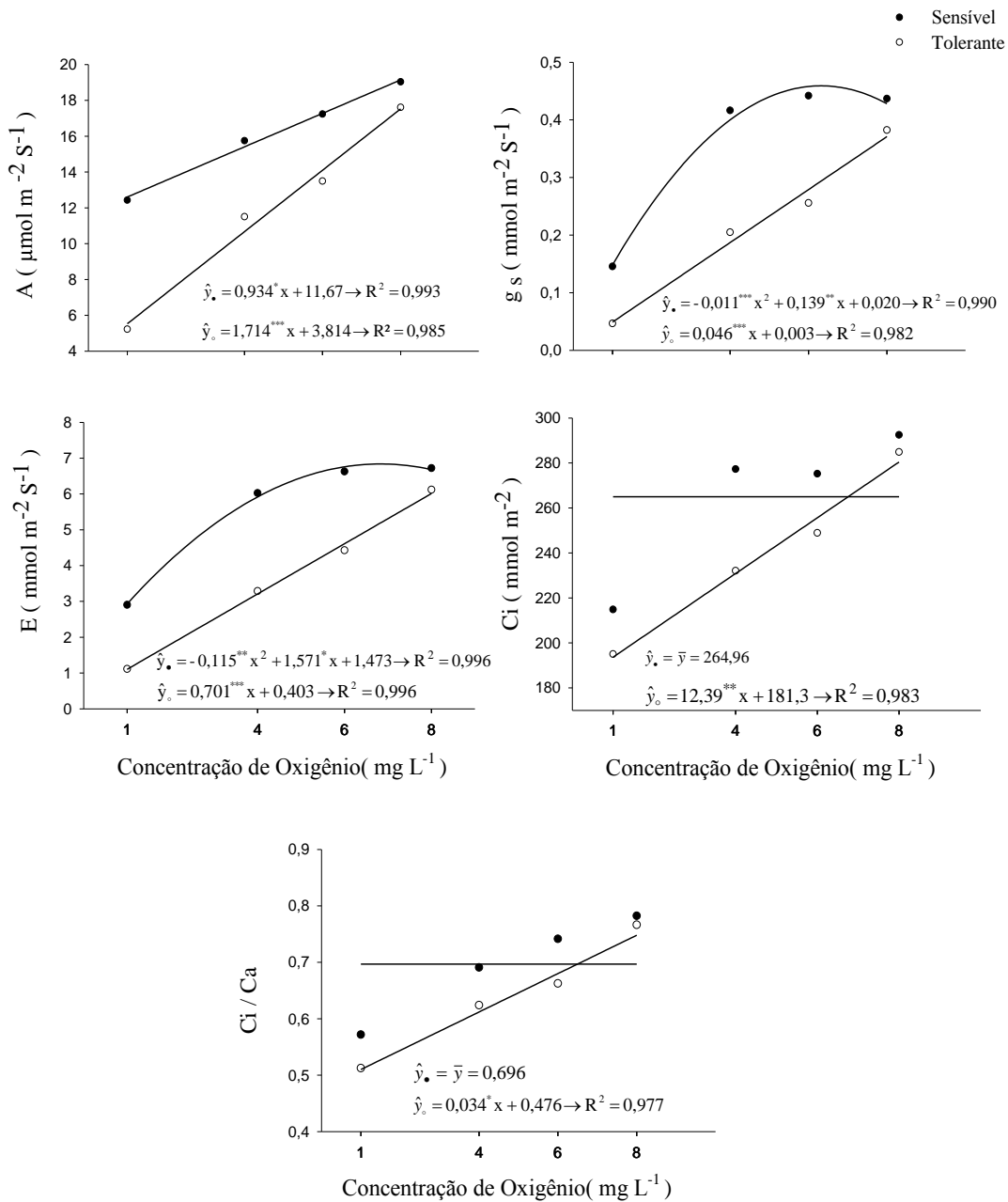


Figura 1 - Taxa Fotossintética (A), Condutância Estomática (gs), Transpiração (E), Concentração interna de CO_2 (Ci) e relação Ci /Ca em clones de eucalipto (E. Urograndis) ao final de 14 dias de experimento. Equações de regressão foram ajustadas para cada parâmetro acima, sendo os níveis de significância * ($p < 0,1$), ** ($p < 0,05$), *** ($p < 0,01$) pelo teste t.