

Taxa fotossintética líquida de *Eucalyptus citriodora* Hook e *E. grandis* W. Hill em resposta à diferentes níveis de água no solo e associação com *Brachiaria brizantha* Stapf

Wilson da Silva¹, Tocio Sedyama¹, Antônio Alberto da Silva¹ e Adailson Pereira de Souza²

¹Departamento de Fitotecnia, Universidade Federal de Viçosa, 36571-000, Viçosa, Minas Gerais, Brasil. ²Universidade Federal da Paraíba, Campus de Areia, 58397-000, Areia, Paraíba, Brasil. *Author for correspondence. e-mail: tcyama@mail.ufv.br

RESUMO. Objetivou-se avaliar os efeitos da interferência de *Brachiaria brizantha* (Poaceae) sobre a taxa fotossintética líquida (*A*) de mudas de *Eucalyptus citriodora* e *E. grandis* (Myrtaceae), cultivadas em solos com diferentes níveis de água, em condições de casa de vegetação. O delineamento utilizado foi o de blocos ao acaso, com quatro repetições, em arranjo fatorial 2x3x4: duas espécies de eucalipto (*E. citriodora* e *E. grandis*), três níveis de água (20, 23 e 26%) e quatro populações de *B. brizantha* (0, 1, 2 e 3 plantas por vaso). O controle do nível de água foi feito por microtensiômetro e pesagens diárias dos vasos, com reposição da água evapotranspirada e mantido praticamente de forma constante até a última avaliação do experimento, aos 70 dias após o transplante das mudas. A mensuração de *A* foi realizada com um analisador de gás a infravermelho (IRGA). Independentemente do nível de água no solo, *B. brizantha* demonstrou ser competitiva no crescimento inicial de *E. citriodora* ou *E. grandis*, pela redução de *A*. As folhas do terço superior das mudas de *E. citriodora* ou de *E. grandis* apresentaram maior *A* que as folhas dos terços mediano e inferior, independentemente da população de *B. brizantha* e do nível de água no solo.

Palavras-chave: *Eucalyptus*, *Brachiaria brizantha*, nível de água no solo, taxa fotossintética.

ABSTRACT. Net photosynthetic rate performance of *Eucalyptus citriodora* Hook and *E. grandis* W. Hill in response to different levels of water and associated with *Brachiaria brizantha* Stapf. The effects of *Brachiaria brizantha* (Poaceae) interference on the net photosynthetic rate (*A*) of *Eucalyptus citriodora* and *E. grandis* (Myrtaceae) seedlings cultivated in soils with three levels of water under greenhouse conditions are provided. Treatments were arranged in a factorial design, with four repetitions 2x3x4: two species of eucalyptus (*E. citriodora* and *E. grandis*), three levels of water (20, 23 and 26%), and four populations of *B. brizantha* (0, 1, 2 and 3 plants per vase). Water level in the vases was maintained constant until the evaluation of final experiment 70 days after transplant of seedlings. Moisture control was done by a microtensiometer and daily weighting of vases with three replenishments of evapotranspired water. Measurements were executed with an infrared gas analyser (IRGA). In spite of any water level in the soil, *B. brizantha* demonstrated its competitiveness for *E. citriodora* and *E. grandis* initial growing, by *A* reduction. Upper third part of leaves of *E. citriodora* or *E. grandis* seedlings presented higher *A* than mean and lower third section, independently of *B. brizantha* population and water level in the soil.

Key words: *Eucalyptus*, *Brachiaria brizantha*, water levels in soils, photosynthetic rate.

As plantas daninhas interferem negativamente sobre as plantas cultivadas, necessitando-se ampliar seu controle, principalmente em povoamentos de *Eucalyptus* que, na fase de estabelecimento, apresenta crescimento inicial lento e manifesta alta sensibilidade à interferência das plantas invasoras. Isso ocorre porque o transplante das mudas no campo normalmente é realizado no período chuvoso, sob temperaturas elevadas, favorecendo a

germinação, o crescimento e o desenvolvimento rápidos de diferentes espécies infestantes. Desta forma, a ausência de controle das invasoras, como as gramíneas e, especialmente *Brachiaria brizantha* (Poaceae), ou o manejo inadequado nos estádios iniciais de crescimento da cultura do eucalipto, podem implicar em perdas na produtividade, até que essa cultura possa sombrear o solo e dificultar o

crescimento e o desenvolvimento das plantas infestantes.

Nesse contexto, acredita-se que as plantas daninhas possam competir com as culturas pela água disponível no solo, interferindo de maneira negativa na produtividade das culturas, porém em graus variáveis de intensidade, de acordo com o grau de infestação e o nível de água no solo.

O estresse hídrico na planta pode reduzir as trocas gasosas na folha e modificar a partição de carbono, favorecendo o crescimento das raízes (Schulze, 1986). Além disso, o estresse hídrico pode causar severa inibição da fotossíntese, tanto como consequência do fechamento dos estômatos como em razão de efeitos deletérios diretos, em nível de cloroplasto (Kaiser, 1987). O fechamento dos estômatos contribui notavelmente para reduzir as perdas de água durante o período de déficit hídrico ou causar alta demanda evaporativa. No entanto, esse fechamento também provoca limitação na absorção de dióxido de carbono e, em consequência, decréscimo na concentração intracelular de CO₂ (Bjorkman, 1989). Assim, o controle estomático tem sido indicado como a fração principal da limitação total da fotossíntese (Chaves, 1991; Pereira e Chaves, 1993). Entretanto, ajustes internos não-estomáticos, em diferentes níveis, têm sido observados, incluindo-se redução da atividade de algumas enzimas do ciclo de Calvin e Benson (Dua et al., 1994; Kicheva et al., 1994), inibição do transporte de fotoassimilados (Masojidek et al., 1991) e alterações do estoque de carboidratos nas células (Quick et al., 1992), promovendo respostas diferenciadas entre espécies e condições de desenvolvimento.

Neste trabalho objetivou-se avaliar os efeitos da interferência de *B. brizantha* sobre a taxa de fotossíntese líquida de mudas de *E. citriodora* Hook e *E. grandis* W. Hill ex Maiden, cultivadas em vasos contendo solo com diferentes níveis de água.

Material e métodos

O experimento foi conduzido em condições de casa de vegetação, pertencente ao Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Estado de Minas Gerais. O solo utilizado no experimento foi o Podzólico Vermelho-Amarelo câmbico, fase terraço, apresentando textura argilo-arenosa, com 38% de areia grossa, 15% de areia fina, 10% de silte e 37% de argila (Embrapa, 1979); carbono orgânico 3,0% (Defelipo e Ribeiro, 1981) e pH 5,8, tendo sido coletado sob floresta nativa, à profundidade de 0-20 cm em Viçosa, Estado de Minas Gerais. A curva característica de umidade

desse solo (Figura 1) foi determinada utilizando-se o aparelho de membrana de pressão de Richards (1949). Essa curva foi utilizada para a determinação da quantidade de água a ser adicionada em cada vaso.

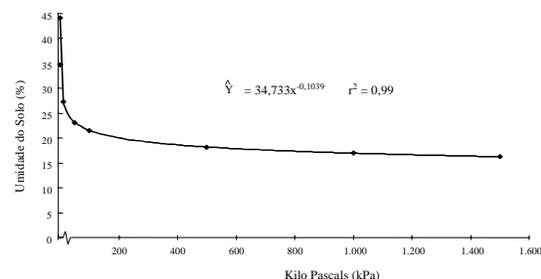


Figura 1. Curva de retenção da água do solo experimental

Após o preparo, as amostras de solo foram colocadas em vasos de plástico com capacidade para 3,25 kg, os quais estavam recobertos internamente com polietileno de 0,05 mm de espessura, para evitar a perda de água por percolação. Após estabelecer os três níveis de água no solo nos diferentes tratamentos, conforme a Tabela 1, fez-se o transplante das mudas de *E. citriodora* e *E. grandis* e das mudas de *B. brizantha*, que foram cultivadas em tubetes e caixa de plástico, respectivamente, nas populações estudadas. No momento do transplante, as mudas de eucalipto encontravam-se com aproximadamente 20 cm de altura e as de *B. brizantha*, com quatro folhas. O nível de água no solo foi mantido constante, durante toda a condução do experimento (70 dias após o transplante das mudas), fazendo-se a reposição da água evapotranspirada. Para esse controle, utilizou-se um minitank “classe A”, microtensiômetro e pesagens diárias, com reposição da água evapotranspirada às 8h, 13h e às 16h30. Foi observada, dentro da casa de vegetação, a média de evaporação potencial de 378,4 mL, a temperatura máxima de 34,7°C, a temperatura mínima de 21,0°C, e a umidade relativa do ar às 7h30 e às 14h, respectivamente de 83,6% e 56,2%.

Tabela 1. Umidade residual do solo; tensão de água no solo, mantida após o transplante das mudas; porcentagem do nível de água correspondente; e massa de água adicionada por vaso

Umidade Residual do solo (%)	Tensão de água no solo mantido após o transplante das mudas (kPa)	Nível de água no solo mantido após o transplante das mudas (% em massa)	Massa de água (g) adicionada por vaso contendo 3,25 kg de solo
10,5	202,8	20	250
10,5	49,5	23	325
10,5	16,2	26	400

O experimento foi constituído de 24 tratamentos, compreendendo duas espécies de

eucalipto (*E. citriodora* e *E. grandis*); três níveis de água (condições próximo ao estresse, 20%; intermediária, 23%; e condições próximo à capacidade de campo, 26%); e quatro populações de *B. brizantha* (0, 1, 2 e 3 plantas/vaso). O espaçamento entre os vasos foi de 35 cm. O delineamento adotado foi o de blocos ao acaso, com quatro repetições em esquema fatorial 2x3x4 e com uma planta de eucalipto por unidade experimental (vaso), totalizando 96 unidades experimentais.

Fez-se a complementação da fertilização, durante a condução do experimento, aplicando-se, alternadamente, a cada 7 dias, solução nutritiva de Clark (1975) e a formulação 20-05-20 (N, P, K). Dessa forma, o total dos nutrientes aplicados por vaso foi 278 mg de N; 62 mg de P; 265 mg de K; 31 mg de Ca e 5 mg de Mg.

Antes da mensuração de *A*, as plantas de eucalipto foram transportadas da casa de vegetação para uma sala especial com sistema de iluminação articulada, permanecendo em aclimação por um período de 60 min, com temperatura de aproximadamente de 22°C e 400 μmol de fótons $\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ de radiação fotossinteticamente ativa. A mensuração de *A* foi realizada aos 70 dias após o transplante das mudas com um analisador de gás infravermelho, portátil, sistema aberto, modelo LCA-2 (Analytical Development Co. - ADC. Ltd, Hoddesdon, UK), com uma câmara PLC-B (ADC) de 6,0 cm^2 . Foram feitas duas leituras, em duas folhas localizadas no terço superior, mediano e inferior das plantas de cada tratamento. O analisador foi calibrado com ar referencial com concentração de 340 ppm de CO_2 , proveniente da atmosfera externa, captado por uma mangueira e conectado ao IRGA. As medições foram realizadas com irradiância de 900 a 920 μmol de fótons $\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$. Esses valores foram determinados previamente pela curva de radiação versus fotossíntese, que se situou entre 800 a 1.000 μmol de fótons $\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$.

Os dados obtidos de *A* foram submetidos à análise de variância individual, para cada posição das folhas nas plantas (terço superior, mediano e inferior) das duas espécies de eucalipto, e as análises conjuntas, envolvendo as três localizações das folhas.

As equações de regressão para *A* foram ajustadas em função dos níveis de água no solo (tratamento quantitativo), com base na significância do valor de *F*, a 5 e 1% de probabilidade.

Nas comparações das populações de *B. brizantha* e das localizações das folhas das plantas (tratamento qualitativo), empregou-se o teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Resultados e discussão

A taxa de fotossíntese líquida (*A*) das plantas de eucalipto, 70 dias após o transplante das mudas, foi influenciada pela competição com plantas de *B. brizantha*, cultivadas no mesmo vaso, para os três níveis de água no solo (Tabela 2). Tal resultado mostra que *B. brizantha* promoveu a diminuição de *A* das plantas de eucalipto, independentemente dos níveis de água no solo e do número e plantas de *B. brizantha* por vaso.

Tabela 2. Valor médio da taxa de fotossíntese líquida ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) das plantas de eucalipto (*E. citriodora* e *E. grandis*), em associação com 0, 1, 2 e 3 plantas de *B. brizantha* por vaso e submetidas a 20, 23 e 26% de água no solo, 70 dias após o transplante das mudas.

Populações de plantas de <i>B. brizantha</i> /vaso	Água no solo (%)		
	20	23	26
Zero <i>B. brizantha</i>	1,529 a	1,992 a	2,579 a
Uma <i>B. brizantha</i>	1,071 b	1,250 b	1,142 b
Duas <i>B. brizantha</i>	0,879 b	1,029 bc	1,163 b
Três <i>B. brizantha</i>	0,933 b	0,938 c	1,133 b

- Médias seguidas pela mesma letra na mesma coluna não diferem entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey

Verificou-se que houve efeito linear crescente de *A* no tratamento sem e com duas plantas de *B. brizantha* por vaso, competindo com os eucaliptos, entre os três níveis de água no solo (Figura 2). Porém, sem *B. brizantha*, o efeito linear de *A* foi mais acentuado do que com duas plantas da gramínea, atingindo valor máximo estimado de 2,56 $\mu\text{mol m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, solo 26% de água, e o mínimo de *A* de 1,51 $\mu\text{mol m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, sob 20% de água. Não houve efeito significativo de *A*, com uma e três plantas de *B. brizantha* por vaso, competindo com os eucaliptos, entre os níveis de água no solo.

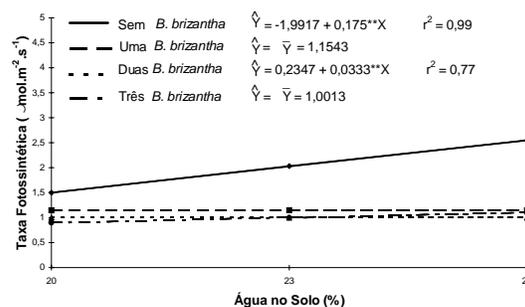


Figura 2. Taxa de fotossíntese líquida ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) das plantas de eucalipto (*E. citriodora* e *E. grandis*), em associação com 0, 1, 2 e 3 plantas de *B. brizantha* por vaso, submetidas a 20, 23 e 26% de água no solo, aos 70 dias após o transplante das mudas

Brachiaris brizantha interferiu negativamente em *A* dos eucaliptos quando estiveram em convivência. Segundo Larcher (1986), a falta de água é o principal

fator limitante da assimilação de CO₂. Os processos fotossintéticos podem tolerar altos níveis de deficiência hídrica foliar, sendo a inibição da fixação de CO₂ observada tipicamente em folhas sob tensão hídrica, em virtude da redução no suprimento de CO₂, como resultado do fechamento estomático (Sharkey, 1990). De acordo com Silva (1997), a biomassa seca e a área foliar das plantas de eucalipto apresentaram menores valores quando conviveram em solos com maiores níveis de água (26% de água no solo), em presença da gramínea. Ainda nesse nível de água, as plantas de *B. brizantha* desenvolveram mais rápido o sistema radicular, exercendo maior competição com o eucalipto (Silva e Silva, 2000a). Outra suposição seria a maior liberação de substâncias alelopáticas pela gramínea quando esta estava crescendo em ótimas condições de água no solo, provocando maior interferência negativa sobre as plantas de eucalipto.

A taxa de fotossíntese líquida variou com a localização das folhas nas plantas de eucalipto. Os maiores valores de *A* foram obtidos nas folhas do terço superior, seguidos pelas folhas do terço mediano, e valores menores nas folhas do terço inferior para cada nível de água no solo (Tabela 3). Verificou-se efeito linear crescente sobre *A* para as folhas do terço superior e mediano; não se observando, entretanto, efeito para as folhas do terço inferior, em função dos níveis de água no solo (Figura 3). Todavia, o maior valor foi observado nas folhas superiores de plantas cultivadas em solo com 26% de água, que atingiram o valor máximo estimado de *A* de 2,24 μmol m⁻² s⁻¹. O valor mínimo estimado foi de 1,56 μmol m⁻² s⁻¹, em folhas de plantas cultivadas sob estresse hídrico (20% de água no solo). Nas folhas medianas esses valores foram 0,97 e 1,30 μmol m⁻² s⁻¹, respectivamente, para 20 e 26% de água no solo.

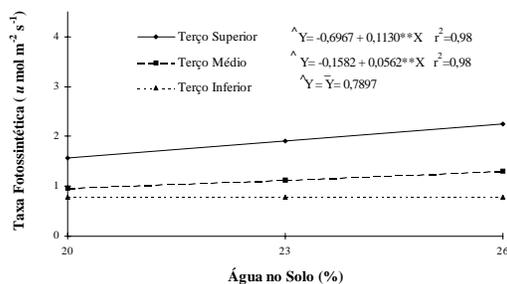


Figura 3. Taxa de fotossíntese líquida (μmol m⁻² s⁻¹) das plantas de eucalipto (*E. citriodora* e *E. grandis*) em folhas do terço superior, mediano e inferior da planta, submetidas a 20, 23 e 26% de água no solo, 70 dias após o transplante das mudas

As folhas do terço inferior não apresentaram diferença de *A* dentro dos níveis de água no solo (Figura 3). Segundo Larcher (1986), com o aumento da idade das folhas, ocorre possivelmente um declínio da atividade do sistema fotossintético. A variação de *A*, nos diferentes níveis de água no solo e nas posições mediana e superior, poderia estar relacionada à disponibilidade de água no solo. Em solos com maior disponibilidade de água, as folhas mais jovens tendem a permanecer túrgidas (estômatos abertos). Essas podem apresentar maiores variações na condutância estomática, em função da pequena variação de água no solo, o que não aconteceria com as folhas mais velhas, como no caso das folhas inferiores. Conforme Salisbury e Ross (1992), a cutícula menos espessa favorece a transpiração, principalmente em folhas mais jovens e para Fahn (1990), as folhas mais jovens apresentam cutículas menos espessas.

Tabela 3. Valor médio da taxa de fotossíntese líquida (μmol m⁻² s⁻¹) das plantas de eucalipto (*E. citriodora* e *E. grandis*), registradas nas folhas do terço superior, mediano e inferior da planta; submetidas a 20, 23 e 26% de água no solo, 70 dias após o transplante das mudas

Posição das folhas na planta	Água no solo(%)		
	20	23	26
Terço superior	1,541 a	1,947 a	2,219 a
Terço mediano	1,066 b	1,163 b	1,425 b
Terço inferior	0,703 c	0,797 c	0,869 c

Médias seguidas pela mesma letra na mesma coluna não diferem entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey

Detecta-se que os eucaliptos apresentaram maior taxa de fotossíntese líquida em folhas do terço superior, tanto naqueles cultivados sem *B. brizantha* quanto em convivência, em comparação com as folhas do terço mediano e inferior da planta (Tabela 4). As folhas do terço mediano apresentaram valores intermediários, enquanto as do terço inferior exibiram menor *A* entre as populações de *B. brizantha*. Aos 70 dias após o transplante das mudas, a altura estimada dos eucaliptos foi de 99,4 cm no nível de 26% e 79,1 cm no nível de 20% de água no solo, sem braquiária (Silva e Silva, 2000b). A aclimação do aparelho fotossintético ocorre em folhas ao sol que, geralmente, se localizam na parte superior das plantas e são mais eficientes na utilização da radiação, quando em alta intensidade de luz. Folhas à sombra, que se localizam no interior da copa, possuem irradiância de compensação luminosa mais baixa (Jahnke e Lawrence, 1965).

A interceptação da radiação luminosa pelas folhas depende, dentre outros fatores, da posição dessas na planta. Folhas verticalmente dispostas permitem maior penetração de luz no interior da copa que

aquelas dispostas horizontalmente (Oliver e Larson, 1990). Esse fato explica a maior *A* observada nas folhas do terço superior das plantas de eucalipto (Tabela 4).

Tabela 4. Taxa de fotossíntese líquida ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) das plantas de eucalipto (*E. citriodora* e *E. grandis*), em associação com 0, 1, 2 e 3 plantas de *B. brizantha* por vaso, registradas em folhas do terço superior, mediano e inferior da planta, 70 dias após o transplante das mudas.

Populações de plantas de <i>B. brizantha</i> /vaso	Posição das folhas na planta		
	Terço superior	Terço mediano	Terço inferior
Zero <i>B. brizantha</i>	3,171 Aa	1,792 Ba	1,138 Ca
Uma <i>B. brizantha</i>	1,667 Ab	1,071 Bb	0,725 Cb
Duas <i>B. brizantha</i>	1,417 Abc	1,025 Bb	0,629 Cb
Três <i>B. brizantha</i>	1,354 Ac	0,983 Bb	0,667 Cb

Médias seguidas pela mesma letra, maiúscula numa mesma linha e minúscula na mesma coluna, não diferem entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey

Os valores de *A* das folhas das plantas de *E. citriodora* e *E. grandis* cultivadas sem *B. brizantha* foram maiores que quando estavam em competição com a gramínea, sob os três níveis de água estudados (Tabela 4). Esses resultados evidenciam que houve interferência (competição e/ou alelopatia) negativa da gramínea sobre o eucalipto, pois, durante a condução do experimento, a variação no sombreamento do eucalipto pelas plantas de *B. brizantha* e a disponibilidade de nutrientes foram mínimas, uma vez que a água foi repostada três vezes ao dia e os nutrientes, semanalmente.

Referências

- BJORKMAN, O. Some viewpoints on photosynthetic response and adaptation to environmental stress. In: BRIGGS, W.R. (ed.). *Photosynthesis*. New York: Alan Liss, 1989. p. 45-58.
- CHAVES, M.M. Effects of water deficits on carbon assimilation. *J. Exp. Bot.*, Vienna, v. 42, p. 1-16, 1991.
- CLARK, R.B. Characterization of phosphatase of intact maize roots. *J. Agric. Food Chem.*, Washington D.C., v. 23, p. 458-460, 1975.
- DEFELIPO, B.V., RIBEIRO, A.C. *Análise química do solo (metodologia)*. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 1981. (Boletim de extensão, 29).
- DUA, A. et al. CO₂ exchange, primary photochemical reactions and enzymes of photosynthetic carbon reduction cycle in *Brassica* pods during water stress and recovery. *Photosynthetica*, Prague, v. 30, p. 261-268, 1994.
- EMBRAPA-EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. *Manual e métodos de análise de solo*. Rio de Janeiro, 1979.
- FAHN, A. *Plant anatomy*. Oxford: Pergamon, 1990.

JAHNKE, L.S., LAWRENCE, D.B. Influence of photosynthetic crown structure on potential productivity of vegetation, based primarily on mathematical models. *Ecology*, New York, v. 46, p. 319-326, 1965.

KAISER, W.M. Effect of water deficit on photosynthetic capacity. *Plant Physiol.*, Bethesda, v. 71, p. 142-149, 1987.

KICHEVA, M.I. et al. Stomatal and nonstomatal limitations to photosynthesis in the wheat cultivars subjected to water stress. *Photosynthetica*, Prague, v. 30, p. 107-116, 1994.

LARCHER, W. *Ecofisiologia vegetal*. São Paulo: Editora Pedagógica e Universitária, 1986.

MASOJIDEK, J. et al. The synergistic effect of drought and light stresses in sorghum and pearl millet. *Plant Physiology*, 96:198-207, 1991.

OLIVER, C.D., LARSON, B.C. *Forest stand dynamics*. New York: McGraw - Hill, 1990.

PEREIRA, J.S.; CHAVES, M.M. Plant water deficit in Mediterranean ecosystems. In: SMITH, J.A.; GRIFFITHS, H. (Ed.). *Water deficits: plant responses from cell to community*. Oxford: Bios Scientific, 1993. p.237-251.

QUICK, W.P. et al. The effect of water stress on photosynthetic carbon metabolism in four species grown under field conditions. *Plant Cell and Environment*, Oxford, 15:25-35, 1992.

RICHARDS, L.A. Methods of measuring soil moisture tension. *Soil Sci.*, Baltimore, v. 15, p. 95-112, 1949.

SALISBURY, F.B.; ROSS, C.W. *Plant physiology*. Belmont: Wadsworth, 1992.

SILVA, W. *Interferência de Brachiaria brizantha sobre Eucalyptus citriodora e E. grandis, cultivados em solos com diferentes teores de água*. 1997. Tese (Doutorado em Fitotecnia) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1997.

SILVA, W.; SILVA, A.A. et al. Absorção de nutrientes por mudas de duas espécies de eucalipto em resposta a diferentes teores de água no solo e competição com plantas de *Brachiaria brizantha*. *Ciência e Agrotecnologia*, Lavras, v. 24, p. 147-159, 2000b.

SILVA, W.; SILVA, A.A. et al. Altura e diâmetro de *Eucalyptus citriodora* e *E. grandis*, submetida diferentes teores de água em convivência com *Brachiaria brizantha*. *Revista Floresta*, Curitiba, v. 27, p. 3-16, 2000b.

SCHULZE, E.D. Whole-plant responses to drought. *Australian J. Plant Physiol.*, Melbourne, v. 13, p. 127-141, 1986.

SHARKEY, T.D. Water stress effects on photosynthesis. *Photosynthetica*, Prague, v. 24, p. 651-659, 1990.

Received on September 15, 2000.

Accepted on April 12, 2001.