

## EFEITOS DO DÉFICIT HÍDRICO NO CULTIVO DE MUDAS DE EUCALIPTO

**TÚLIO BARROSO QUEIROZ<sup>1</sup>; SOFIA MARIA GONÇALVES ROCHA<sup>2</sup>;  
FRANCINE SOUZA ALVES DA FONSECA<sup>3</sup>; IVAN CALDEIRA ALMEIDA  
ALVARENGA<sup>4</sup> E ERNANE RONIE MARTINS<sup>5</sup>**

<sup>1</sup>Programa de Pós-graduação em Ciência Florestal, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, UNESP, Botucatu, SP, CEP 18610-307. E-mail: tulio-bq@hotmail.com

<sup>2</sup>Programa de Pós-graduação em Ciência Florestal, Universidade Federal do Espírito, UFES, Jerônimo Monteiro, ES, CEP 29550-000. E-mail: sofiamaria.r@hotmail.com

<sup>3</sup>Instituto de Química, Universidade Estadual de Campinas, UNICAMP, Campinas, SP, CEP 13083-861. E-mail francinefonseca@yahoo.com.br

<sup>4</sup>Departamento de Agricultura, Universidade Federal de Lavras, UFLA, Lavras, MG, CEP 37200-000. E-mail: pytchouai@yahoo.com.br

<sup>5</sup>Laboratório de Plantas Mediciniais e Aromáticas, Universidade Federal de Minas Gerais, UFMG, Montes Claros, MG, CEP 39404-547. E-mail: ernane.ufmg@gmail.com

### 1 RESUMO

O objetivo do estudo foi determinar a necessidade hídrica *do Eucalyptus globulus* submetidos a diferentes lâminas de irrigação na região Norte do Estado de Minas Gerais. Os tratamentos consistiram em 6 lâminas de irrigação (50%, 75%, 100%, 125%, 150% e 175% da Evapotranspiração de referência – ETo), com quatro repetições, em delineamento inteiramente casualizado. Os resultados observados indicam que as mudas de *E. globulus* cultivadas sob lâmina de irrigação correspondente a 75% da ETo (lâmina consumida de 377,66 mm) foi responsável por maior crescimento da parte aérea (63,75 cm), maior eficiência instantânea e de uso da água (0,14  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  e 0,0419  $\text{g mm}^{-1}$ , respectivamente). Além disso, as mudas sob esta lâmina de irrigação apresentaram maior índice de qualidade de Dickson (5,64) e alta capacidade de regulação osmótica com maior conteúdo de prolina foliar (124,94  $\mu\text{g g}^{-1}$ ). O coeficiente de cultivo (Kc) para as condições destacadas foi equivalente a 1,4.

**Palavras chave:** evapotranspiração, irrigação, estresse hídrico, silvicultura

**QUEIROZ, T. B.; ROCHA, S. M. G.; FONSECA, F. S. A da.; ALVARENGA, I. C. A.  
A.; MARTINS, E. R.**

**EFFECTS OF WATER STRESS ON PRODUCTION OF EUCALYPT SEEDLINGS**

### 2 ABSTRACT

The objective of this study was to determine the water requirement of *Eucalyptus globulus* under different irrigation levels in the North region of Minas Gerais. The treatments consisted of six irrigation levels (50%, 75%, 100%, 125%, 150% and 175% of the reference evapotranspiration - ETo) with four replications fully randomized. The results indicate that the seedlings of *E. globulus* grown under irrigation blade corresponding to 75% of ETo (blade

consumed 377.66 mm) were responsible for shoot growth of plants (63.75 cm), higher instantaneous efficiency and water use ( $0.14 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  and  $0.0419 \text{ g mm}^{-1}$ , respectively). In addition, the seedlings under this irrigation blade presented higher Dickson quality index (5.64) and higher capacity for osmotic regulation with higher leaf proline content ( $124.94 \mu\text{g g}^{-1}$ ). The coefficient of cultivation (Kc) for the highlighted conditions was equivalent to 1.4.

**Keywords:** evapotranspiration, irrigation, water stress, forestry

### 3 INTRODUÇÃO

O metabolismo primário e secundário de espécies florestais é influenciado pela disponibilidade hídrica (STAPE et al., 2010; QUEIROZ et al., 2017), sendo a fase de produção das mudas, a mais sensível para o seu fornecimento, uma vez que o suprimento adequado garante crescimento rápido e homogêneo (LOPES et al., 2007). Para o correto manejo e dimensionamento do sistema de irrigação, parâmetros como a evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>), evapotranspiração da cultura (ET<sub>c</sub>) e o coeficiente da cultura (K<sub>c</sub>) devem ser previamente determinados (CHAVES et al., 2005).

A evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>) é definida como processo que envolve a perda de água de uma superfície gramada, que cobre o solo e está sem restrições hídricas (BERNARDO et al., 2009). O método de Hargreaves-Samani apresenta adequada precisão para a determinação desse parâmetro quando possui disponível apenas dados de temperatura máxima e mínima (MENDONÇA et al., 2003). Além disso, em função da dificuldade de determinação da Evapotranspiração da cultura (ET<sub>c</sub>), este parâmetro pode ser obtido por meio do ajuste da Evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>) para as condições reais do cultivo (RODRIGUES et al., 2011).

Conhecer os fatores inerentes à evapotranspiração em um ambiente protegido auxilia no uso e na eficiência hídrica da planta (OLIVEIRA et al., 2014). Quando a planta está em um ambiente que apresenta limitação hídrica, ocorrem várias alterações fisiológicas, como o fechamento estomático, diminuição da fotossíntese, aumento da temperatura foliar, acúmulo de substâncias osmoprotetoras e aumento da atividade de enzimas do sistema antioxidante, de modo a se adaptar a condição estressante (TAIZ; ZEIGER, 2009).

O acúmulo de prolina nas folhas é um dos indicadores de estresse hídrico e atua como osmoprotetor na estabilização de estruturas subcelulares e como antioxidante (HOSSAIN; FUJITA, 2010). Esse aminoácido é acumulado rapidamente, devido à sinalização inicial do ácido abscísico (ABA) produzido pelas raízes, que induz a transcrição de genes para a sua produção e também inibição da enzima responsável pela sua oxidação nos tecidos (STEWART et al., 1977, YOSHIBA et al., 1997).

O *Eucalyptus globulus* produz madeira de baixa densidade, apresenta destaque no uso para produção de celulose e papel (MILAGRES, 2009). É utilizado na medicina popular e em produtos farmacêuticos por apresentar em suas folhas, compostos terpênicos com atividades antimicrobianas, antissépticas, expectorante e alelopáticas (ROCHA; SANTOS, 2009). Além disso, está presente na Relação Nacional de Plantas de Interesse ao Sistema Único de Saúde (RENISUS), que aponta uma lista com as plantas medicinais utilizadas para fins terapêuticos, com potencial no avanço da cadeia produtiva e geração de produtos ao SUS (BRASIL, 2009).

Portanto, trabalhos sobre as respostas fisiológicas dessa espécie permitem identificar, em um nível mais aprofundado, quais alterações podem ser indicadoras de estresse e relacionar

com a produção. O presente estudo objetivou avaliar o comportamento de mudas de *Eucalyptus globulus* sob diferentes lâminas de irrigação.

#### 4 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em casa de vegetação na Fazenda Experimental do Instituto de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Minas Gerais (ICA/UFMG), no período de agosto a dezembro de 2013. A área experimental está localizada no município de Montes Claros, região Norte de Minas Gerais, coordenadas 16° 40' 58,5" de latitude sul, 43° 50' 25,6" de longitude leste e altitude de 626 metros. Segundo a classificação de Köppen o clima da região é do tipo Aw, tropical típico, com precipitação média anual entre 700 e 1000 mm e temperaturas médias anuais entre 22 e 24°C (ALVARES et al., 2013).

Sementes de *E. globulus* foram semeadas em bandejas de poliestireno, contendo substrato comercial Hortplant® onde permaneceram por 30 dias sob nebulização intermitente até o transplante. As mudas foram plantadas em microlisímetros de drenagem, com diâmetro de 18,5 cm e capacidade de 12 litros. A fim de quantificar o volume de água percolada, na parte inferior de cada microlisímetro foi conectada uma mangueira que permitiu coletar a água excedente em outro recipiente. O solo utilizado como substrato revelou os atributos químicos conforme a Tabela 1, que foi analisado no Laboratório de Análise de Solos da mesma instituição.

**Tabela 1.** Características químicas e físicas do solo utilizado no experimento

Atributos	Unidade	Valor
pH (H <sub>2</sub> O)	-	5,9
P <sub>Rem</sub>	mg l <sup>-1</sup>	49,1
K	mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	10
Ca <sup>2+</sup>	mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	0,2
Mg <sup>2+</sup>	cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	0,1
Al <sup>3+</sup>	cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	0
SB	cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	0,33
CTC (T)	cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	10,46
m	%	0
v	%	23
M.O	Dag Kg <sup>-1</sup>	1,26
Argila	Dag Kg <sup>-1</sup>	44,5

Em que: pH – Potencial hidrogeniônico; P<sub>Rem</sub> - fósforo remanescente, K – Potássio; Ca – Cálcio; Mg – Magnésio; Al - Alumínio; SB - soma de bases, CTC - capacidade de troca de cátions, m - saturação por alumínio, V - saturação por bases, M.O matéria orgânica.

Para fertilização do solo, 30 dias antes do transplântio, foram incorporados os seguintes nutrientes: N (100 mg dm<sup>-3</sup>); P (300 mg dm<sup>-3</sup>); K (100 mg dm<sup>-3</sup>); S (40 mg dm<sup>-3</sup>); B (0,5 mg dm<sup>-3</sup>); Zn (5 mg dm<sup>-3</sup>) e 0,5 mg dm<sup>-3</sup> de calcário dolomítico.

Para início do balanço hídrico, o solo dos microlisímetros foram saturados (24,8 mm m<sup>-2</sup>) até o início da percolação, momento em que foram tampados com saco plástico e assim permaneceram por três dias, para evitar as perdas por evaporação. Após o solo atingir a capacidade de campo, momento no qual cessou a percolação, as mudas foram então plantadas.

Utilizou-se delineamento inteiramente casualizado, no qual foram empregados seis tratamentos e quatro repetições. Os tratamentos consistiram em seis lâminas de irrigação, com base na evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>): 0,5 x ET<sub>o</sub>; 0,75 x ET<sub>o</sub>; 1,0 x ET<sub>o</sub>; 1,25 x ET<sub>o</sub>; 1,5 x ET<sub>o</sub> e 1,75 x ET<sub>o</sub>. A ET<sub>o</sub> foi calculada conforme equação (Equação 1) de Hargreaves-Samani (PEREIRA; VILA NOVA; SEDIYAMA, 1997):

$$ET_o = 0,0023 (T_{med} + 17,8) \cdot (T_{max} - T_{min})^{1/2} \cdot R_a \cdot 0,408 \quad (1)$$

Em que: ET<sub>o</sub> - Evapotranspiração potencial de referência, em mm dia<sup>-1</sup>; T<sub>med</sub> - Temperatura média diária, em °C; T<sub>max</sub> - Temperatura máxima diária, em °C; T<sub>min</sub> - Temperatura mínima diária, em °C; e R<sub>a</sub> - Radiação no topo da atmosfera, MJ m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup>.

Foram coletadas diariamente as temperaturas máximas e mínimas dentro da estufa, para uso no cálculo da ET<sub>o</sub>. Com uso de provetas, as lâminas calculadas foram aplicadas e o excedente percolado (coletado a cada três dias), foram utilizados no balanço hídrico.

A Evapotranspiração total da cultura (ET<sub>c</sub>) para o *E. globulus* na fase de muda foi calculada por meio da diferença entre o volume de água aplicado e o volume percolado em função da área da superfície (m<sup>2</sup>). Conforme equação proposta por Doorenbos e Kassan (1994) (Equação 2), os resultados obtidos da ET<sub>o</sub> e ET<sub>c</sub> foram utilizados na determinação do coeficiente da cultura (K<sub>c</sub>) para *E. globulus* na fase de muda.

$$K_c = ET_c/ET_o \quad (2)$$

Em que: K<sub>c</sub> - Coeficiente da cultura; ET<sub>c</sub> - Evapotranspiração total da cultura; ET<sub>o</sub> - Evapotranspiração potencial de referência.

As repostas das mudas em relação às lâminas de irrigação foram avaliadas 120 dias após o transplântio. As variáveis de trocas gasosas foram determinadas por meio da leitura de três folhas do terço médio da planta, pelo IRGA - *Infrared Gas Analyzer* (ADC Bioscientific, modelo LCPro+), com irradiância de 1200 μmol de fótons m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>, durante dois minutos. Nesta análise foram consideradas a temperatura foliar (T<sub>f</sub>), taxa de fotossíntese (A), concentração subestomática de CO<sub>2</sub> (C<sub>i</sub>), taxa de transpiração foliar (E), eficiência da carboxilação (CE = A/E) e a eficiência instantânea no uso da água (EIUA = A/C<sub>i</sub>).

As plantas foram colhidas em corte paralelo ao solo e mensuradas as seguintes variáveis: diâmetro do coleto (DC), altura da parte aérea (AP), número de folhas (NF), altura até o primeiro par de folhas (APF), tamanho da raiz (TR), massa fresca da parte aérea (MFPA), massa seca da parte aérea (MSPA), massa fresca da raiz (MFR) e massa seca da raiz (MFR), massa fresca total (MFT) e massa seca total (MST). A MST foi determinada em estufa de ventilação forçada a 103 °C, até peso constante, seguido da obtenção da MST. O Índice de Qualidade de Dickson (IQD), foi obtido através da Equação 3, proposta por Dickson et al. (1960).

$$IQD = [MST / (AP / DC) + MSA / MSR] \quad (3)$$

Em que: IQD - Índice de Qualidade de Dickson; MST - Massa seca total; AP - Altura da parte aérea; DC - Diâmetro do coleto; MSA - Massa seca da parte aérea; MSR - Massa seca da raiz.

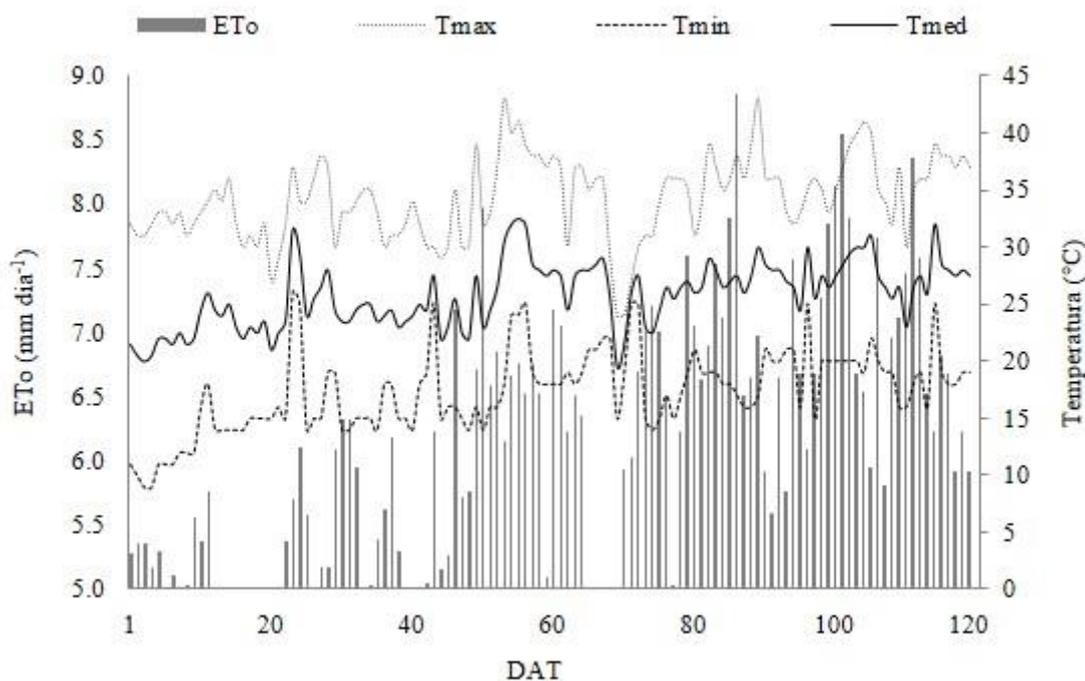
A eficiência do uso da água (EUA) foi determinada pela razão entre produtividade de massa seca total por planta e a evapotranspiração da cultura ( $\text{g mm}^{-1}$ ). Além disso, após 120 dias (final da fase de muda), foi avaliada a concentração de prolina nas folhas pelo método proposto por Bates et al. (1973). Em cada condição de cultivo (seis lâminas de irrigação), foram avaliadas quatro folhas expandidas do terço médio, localizadas na região central do galho.

Os resultados observados foram submetidos à análise de variância e as médias foram comparadas pelo teste Tukey (0,05 %) e os resultados da ETc foram submetidos à análise de regressão. Os dados foram processados pelo programa SAS® (*Statistical Analysis System*).

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

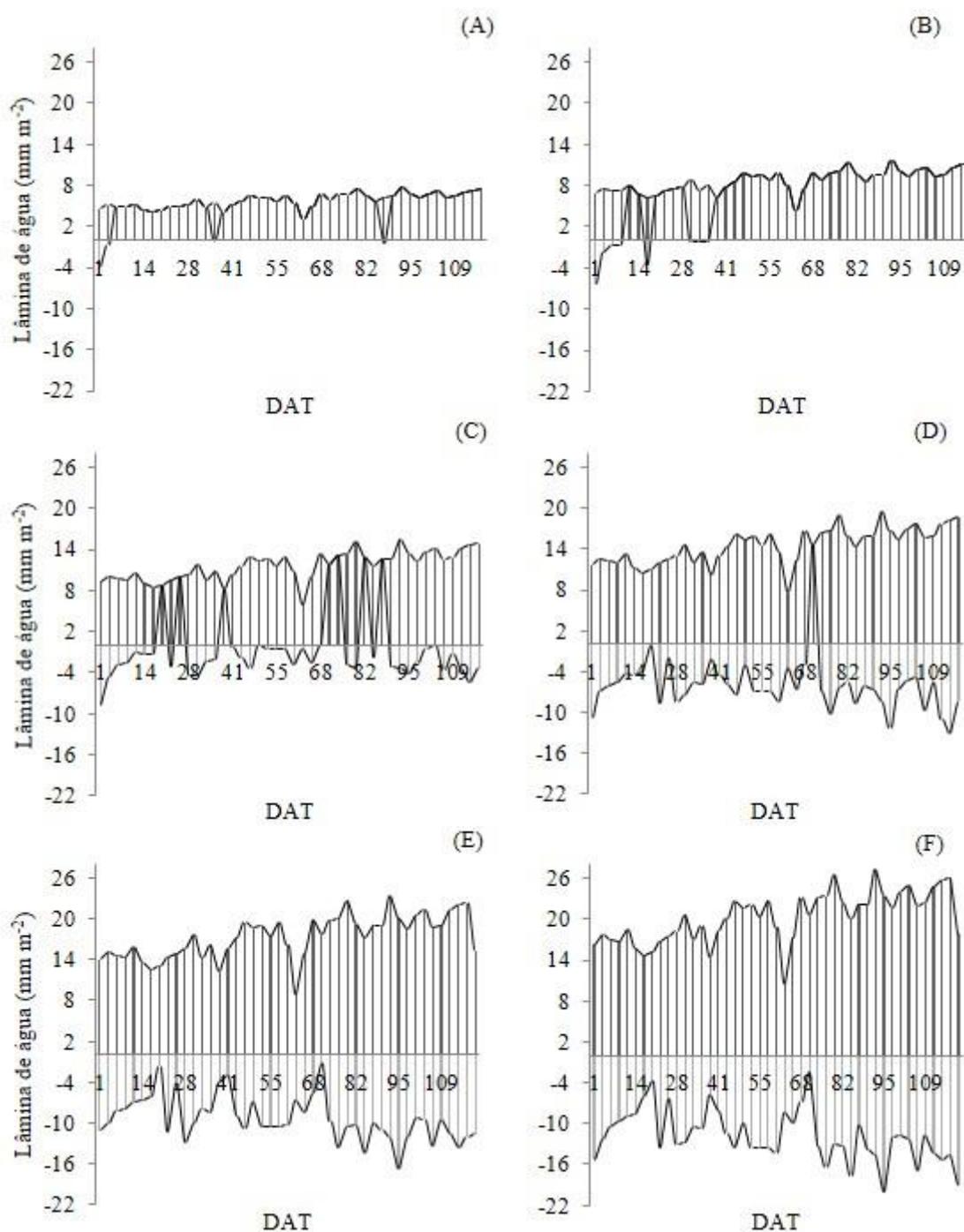
Durante o cultivo do *Eucalyptus globulus*, menores temperaturas foram observadas nos primeiros 20 dias, com temperaturas médias entre 20,5 e 24,5 °C. As maiores temperaturas foram evidenciadas entre o 40° e o 60° dia, com valores médios próximos de 40 °C. Nos últimos 30 dias de cultivo, observa-se que a temperatura média manteve-se entre 24,5 e 32 °C (Figura 1). Segundo Marengo et al. (2014), o aumento da temperatura está ligada ao aumento da irradiância, que aumenta o déficit de pressão de vapor. Essa oscilação da temperatura ao longo do dia é responsável pela variação da evapotranspiração da planta que pode ser reduzida pela manhã no momento da irrigação ou à tarde com o fechamento dos estômatos (MARENCO et al., 2014; TAN et al., 2015). Além disso, à evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>), cujo total observado durante o período do experimento foi de 731,81 mm, apresentou média diária de 6,02 mm, sendo os valores máximos de até 8,8 mm dia<sup>-1</sup> e os valores mínimos ficaram próximos de 2 mm dia<sup>-1</sup>, em razão da grande amplitude térmica.

**Figura 1.** Evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>), Temperatura mínima (T<sub>min</sub>), máxima (T<sub>max</sub>) e média (T<sub>med</sub>) na casa de vegetação durante os 120 dias após o transplântio (DAT) de *Eucalyptus globulus* em Montes Claros – MG



Neste estudo os tratamentos submetidos a menor lâmina de irrigação apresentaram também menor volume de água percolado, indicando, portanto melhor aproveitamento da água pela planta. A lâmina total aplicada para os tratamentos correspondeu a 260,93 mm (Figura 2A.); 391,40 mm (Figura 2B.); 521,87 mm (Figura 2C.); 652,34 mm (Figura 2D.); 782,80 mm (Figura 2E.) e 913,27 mm (Figura 2F.) para as lâminas aplicadas de 0,5; 0,75; 1,0; 1,25; 1,5 e 1,75 x ET<sub>o</sub> respectivamente. A evapotranspiração da cultura, ET<sub>c</sub>, que corresponde consumo real de água pelas mudas, foi de 255,97 mm; 377,60 mm; 427,20 mm; 360,88 mm; 361,89 mm e 380,35 mm para as lâminas aplicadas de 0,5; 0,75; 1,0; 1,25; 1,5 e 1,75 x ET<sub>o</sub> respectivamente.

**Figura 2.** Balanço hídrico da aplicação de diferentes lâminas de irrigação em *E.globulus*, em casa de vegetação durante 120 dias em Montes Claros – MG.

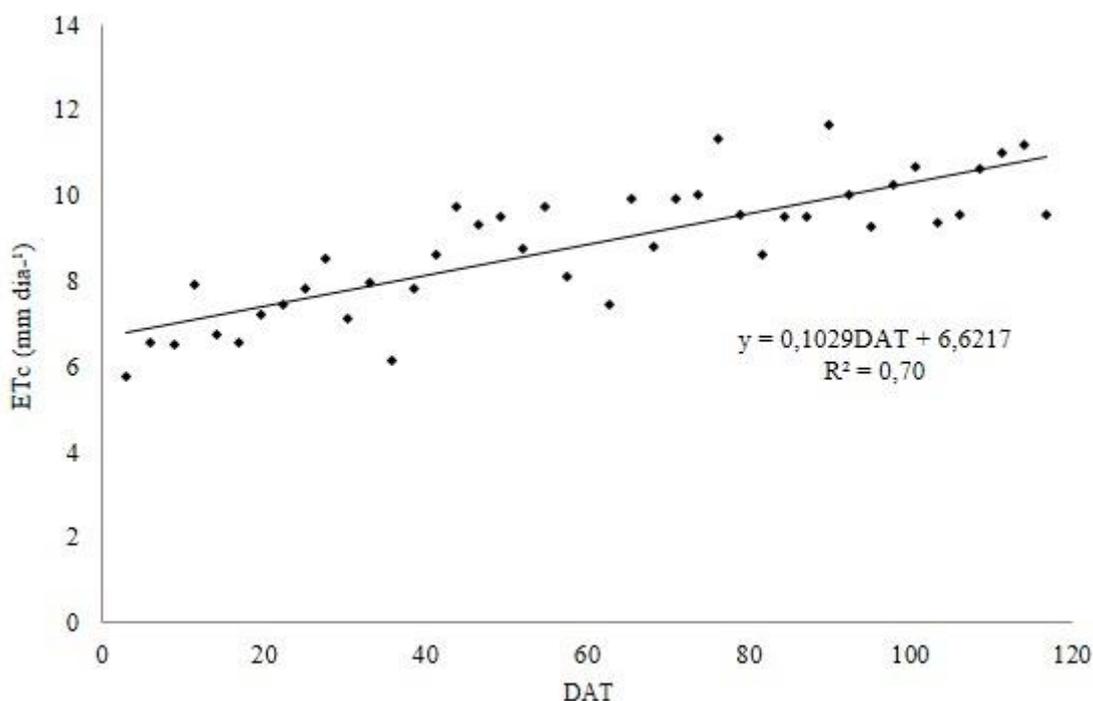


Em que: A. = T1 – 0,5 x ETo (ETc = 255,97 mm), B. = T2 – 0,75 x ETo (ETc = 377,60 mm), C. = T3 – 1 x ETo (ETc = 427,20 mm), D. = T4 – 1,25 x ETo (ETc = 360,88 mm), E. = T5 – 1,50 x ETo (ETc = 361,89 mm), F. = T6 – 1,75 x ETo (ETc = 380,35 mm). Barras positivas correspondem às lâminas de água aplicadas e Barras negativas correspondem a água percolada.

O balanço hídrico entre o volume de água aplicado e percolado durante o cultivo de *E. globulus* em ambiente protegido apontou que lâminas de irrigação iguais ou superiores a ETo são responsáveis por maiores perdas de água no sistema. O planejamento da irrigação garante um padrão de qualidade das mudas, uma vez que a irrigação excessiva pode ocasionar a lixiviação de nutrientes e comprometer o crescimento das mudas (TATAGIBA et al., 2015; LOPES et al., 2007).

A partir da lâmina correspondente a 0,75 x ETo é possível observar que os níveis mais elevados da ETc do *E. globulus* ocorrem 90 DAT. Desse modo, o consumo médio nesse período correspondeu a  $9,90 \text{ mm dia}^{-1} \pm 4,09$ , enquanto que, os níveis mais baixos de consumo são observados nos primeiros 30 DAT com  $7,03 \text{ mm dia}^{-1} \pm 2,97$  (Figura 3).

**Figura 3.** Variação da Evapotranspiração da cultura (ETc) do *Eucalyptus globulus* em casa de vegetação em Montes Claros – MG

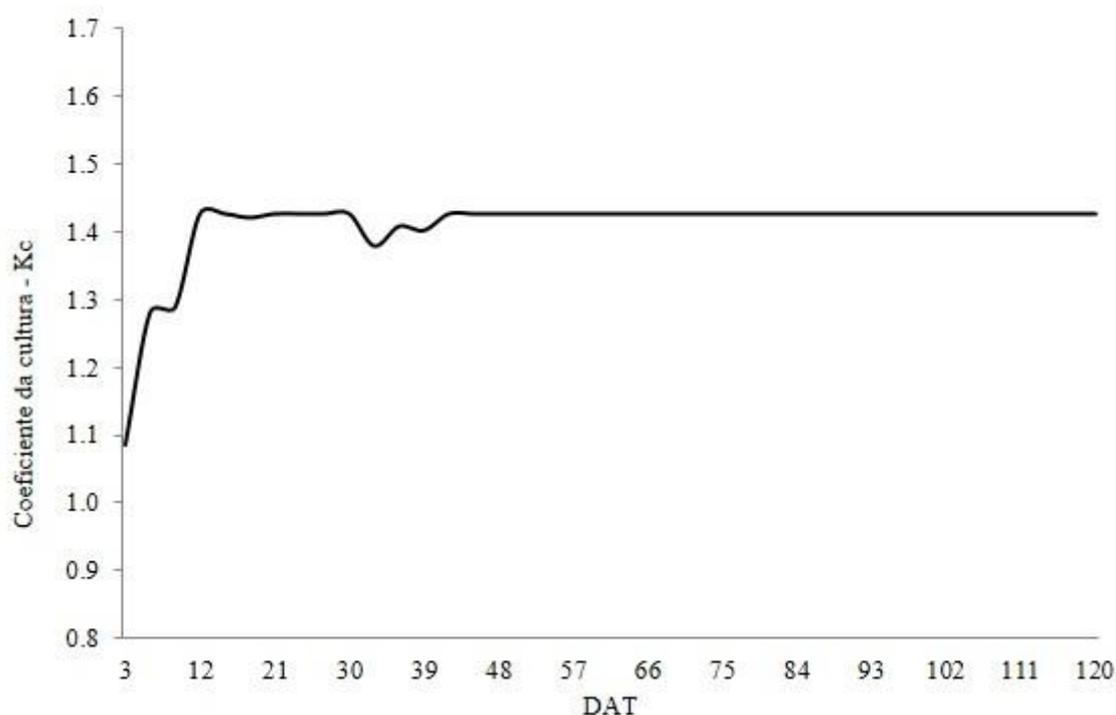


Em *Lippia sidoides* Cham, Lopes et al. (2011), também observaram um aumento da ETc com a idade das mudas, mesmo nas menores lâminas aplicadas. Esse aumento da ETc ao longo do tempo é atribuída ao crescimento da plantas, onde há o aumento da superfície foliar e de raízes e conseqüente aumento do fluxo de água pela planta. Souza et al. (2014) estudando a figueira (*Ficus carica* L.) observou que o aumento do volume de água recebido diminui a eficiência de uso da água. Butrinowski et al. (2013), observaram que o crescimento e massa seca de mudas de *Eucalyptus grandis* em ambiente protegido é maior quando ocorre reposição de água superior a 50% do volume de água evaporada.

Na Figura 4 são apresentados coeficientes de cultura para *E. globulus* irrigado em função de 0,75 x ETo, sendo os menores valores para o Kc nos primeiros 10 dias, com variação entre 1,09 a 1,29. Normalmente o Kc apresenta uma curva sigmóide, pois acompanha o crescimento e desenvolvimento da cultura, portanto, os menores valores observados se deve ao fato das plantas estarem no estágio inicial de crescimento e apresentavam menor superfície evaporativa, e conseqüentemente, menor evaporação da cultura (DOORENBOS; KASSAM, 1994). Para os

demais dias, o Kc permaneceu em aproximadamente 1,4 com pequenas variações do 30° ao 40° dia.

**Figura 4.** Coeficiente da cultura para mudas de *E. globulus* cultivadas em casa de vegetação em Montes Claros – MG.



Tatagiba et al. (2015) ao realizar um estudo com mudas de eucalipto em viveiro, no município de Alegre – ES, verificou valor médio do Kc correspondente a 1,25, utilizando 90% da máxima capacidade de retenção de água no substrato. Para o cultivo de pimenta no estado do Ceará, Chaves et al. (2005), observaram diferentes valores de Kc, os primeiros 25 dias correspondente a 0,96 e os demais igual a 1,29. Já Lopes et al. (2011) estudando o alecrim-pimenta em Montes Claros-MG observaram valores médios para Kc entre 0,98 a 1,52.

Na Tabela 2 são apresentados os valores médios para: as trocas gasosas, crescimento, massa fresca e seca, e eficiência do uso da água em mudas de *Eucalyptus globulus* submetidos a diferentes lâminas de irrigação, 120 DAT.

**Tabela 2.** Trocas gasosas, crescimento e produção de massa fresca e seca de mudas de *Eucalyptus globulus* submetidos a diferentes lâminas de irrigação, 120 dias após o transplantio em Montes Claros – MG, 2013.

	<b>T1</b>	<b>T2</b>	<b>T3</b>	<b>T4</b>	<b>T5</b>	<b>T6</b>
<b>Tf</b>	33,79 a (3,64)	33,57 a (4,94)	33,90 a (4,95)	34,04 a (4,84)	34,11 a (5,79)	34,21 a (5,67)
<b>A</b>	28,29 a (12,96)	15,03 b (23,57)	11,50 b (33,72)	15,14 b (36,73)	9,98 b (22,16)	11,00 b (36,52)
<b>Ci</b>	211,67 abc (6,46)	254,75 ab (6,55)	290,33 a (2,38)	285,44 a (2,98)	130,28 c (8,68)	185,67 bc (37,34)
<b>E</b>	6,60 a (20,62)	4,84 ab (13,07)	5,23 ab (10,43)	6,14 a (9,72)	3,24 b (16,36)	4,12 c (28,88)
<b>Gs</b>	0,75 a (11,32)	0,43 a (29,90)	0,59 a (47,02)	0,72 a (35,95)	0,82 a (11,46)	0,78 a (9,13)
<b>CE</b>	4,42 a (17,59)	3,08 ab (15,04)	2,24 b (35,31)	2,44 b (35,09)	3,07 ab (11,46)	2,62 ab (7,71)
<b>EIUA</b>	0,14 a (20,43)	0,06 b (28,77)	0,04 b (35,55)	0,05 b (38,32)	0,08 ab (30,53)	0,06 b (6,76)
<b>DC</b>	4,88 b (17,06)	6,68 a (2,67)	4,53 b (3,95)	3,38 b (14,52)	2,48 c (10,83)	2,48 c (9,20)
<b>AP</b>	48,83 b (8,64)	63,75 a (14,16)	42,53 cb (4,62)	34,53 cd (12,34)	26,10 d (14,15)	27,63 d (17,41)
<b>NF</b>	127,50 b (17,90)	198,00 a (20,06)	48,00 c (13,18)	36,00 c (39,87)	25,50 c (8,55)	25,50 c (6,50)
<b>APF</b>	6,88 a (10,90)	11,20 a (33,40)	9,15 a (42,68)	6,98 a (31,37)	5,18 a (22,63)	5,23 a (29,01)
<b>CR</b>	45,18 a (14,54)	44,70 a (15,39)	42,35 a (9,25)	45,03 a (17,02)	52,30 a (12,15)	41,43 a (9,98)
<b>MFPA</b>	33,06 b (17,17)	70,47 a (14,97)	16,40 c (2,06)	8,75 c (46,39)	3,97 c (22,38)	4,27 c (48,62)
<b>MSPA</b>	8,02 b (20,33)	21,04 a (10,73)	4,09 c (11,84)	2,29 c (56,03)	0,91 c (14,93)	1,24 c (50,43)
<b>MFR</b>	62,39 a (62,44)	29,81 a (80,23)	26,64 a (54,38)	13,12 a (53,73)	29,75 a (35,07)	9,98 a (30,32)
<b>MSR</b>	6,21 b (33,38)	20,48 a (52,06)	6,30 b (14,23)	4,10 b (68,73)	1,41 b (35,34)	1,34 b (36,62)
<b>MFT</b>	95,44 ab (43,44)	100,28 a (24,16)	43,04 bc (33,53)	21,87 c (47,17)	33,72 c (31,51)	14,24 c (25,86)
<b>MST</b>	14,23 b (25,43)	41,52 a (27,91)	10,39 b (8,63)	6,40 b (64,12)	2,32 b (25,50)	2,57 b (43,16)
<b>IQD</b>	2,85 b (19,74)	5,64 a (6,00)	1,78 c (11,94)	1,26 c (29,67)	0,94 c (13,22)	1,11 c (16,75)
<b>EUA</b>	0,0364 a (20,82)	0,0419 a (33,96)	0,0013 b (32,82)	0,0002 b (26,21)	0,0001 b (19,67)	0,000 b (20,45)

Em que: T1 = 0,5 x ET<sub>o</sub>; T2 = 0,75 x ET<sub>o</sub>; T3 = 1 x ET<sub>o</sub>; T4 = 1,25 x ET<sub>o</sub>; T5 = 1,5 x ET<sub>o</sub>; T6 = 1,75 x ET<sub>o</sub>; Tf = Temperatura foliar (°C); A = Taxa de fotossíntese foliar (μmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>); Ci = Concentração subestomática de CO<sub>2</sub> (μmol CO<sub>2</sub>/ mol de ar); E = Taxa de transpiração

foliar ( $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ); CE= Eficiência da carboxilação ( $\mu\text{mol CO}_2/\text{ppm de CO}_2$ ); Gs= Condutância estomática de  $\text{CO}_2$  ( $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ); EIUA= Eficiência instantânea no uso da água ( $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ); DC= Diâmetro do coleto (cm); AP= Altura da parte aérea (cm); NF= Número de folhas (un); APF= Altura até o primeiro par de folhas (cm); CR= Comprimento da raiz (cm); MFPA = Massa fresca da parte aérea (g); MSPA = Massa a seca da parte aérea (g); MFR = Massa fresca da raiz (g); MSR = Massa seca da raiz (g); MFT= Massa fresca total (g); MST= Massa seca total (g), IQD= Índice de Qualidade de Dickson, EUA=Eficiência do uso da água ( $\text{g mm}^{-1}$ ). Médias seguidas de mesma letra na linha, não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey e valores entre ( ) é correspondente ao coeficiente de variação (cv).

As trocas gasosas, mesmo na condição de menor disponibilidade hídrica, apontaram maior taxa de fotossíntese (A) e a eficiência instantânea no uso da água (EIUA), correspondente a  $28,29 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  e  $0,14 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , respectivamente. Resposta semelhante foi observada no estudo proposto por Scaloni et al. (2014) para uvaia (*Eugenia pyriformis*). Apesar da relação direta entre a fotossíntese e a produção de matéria seca, há outro processo fisiológico que pode comprometer o desenvolvimento da planta, a fotorrespiração. Esse processo ocorre devido à dupla afinidade da rubisco com o  $\text{O}_2$  e o  $\text{CO}_2$ , e em condições de limitação hídrica, se intensifica e pode comprometer a produção, mesmo com maiores taxas fotossintéticas (ZHANG et al., 2016a)

As plantas submetidas a 0,75 x ETo foram as que apresentaram as maiores médias para praticamente todas as variáveis de crescimento e produção de matéria seca (Tabela 2). Outra importante observação consiste no maior valor da EUA para as plantas submetidas a 0,50 x ETo e 0,75 x ETo (0,0364 e 0,0419  $\text{g mm}^{-1}$ , respectivamente), uma vez que essa variável corresponde a quantidade de água necessária para a planta converter em produção de biomassa (MAHOUACHI, 2009). Portanto, pode-se inferir que o *E. globulus* apresenta tolerância a limitação hídrica, conseguindo manter seu crescimento mesmo nas menores lâminas aplicadas. Conforme Silva et al. (2012), disponibilidades hídricas menores, também permitiram maior crescimento em plantas de *Melaleuca alternifolia*. De acordo com Tatagiba et al. (2015), a disponibilidade hídrica no substrato entre 70% e 90% da capacidade de retenção são responsáveis pela maior produção de biomassa.

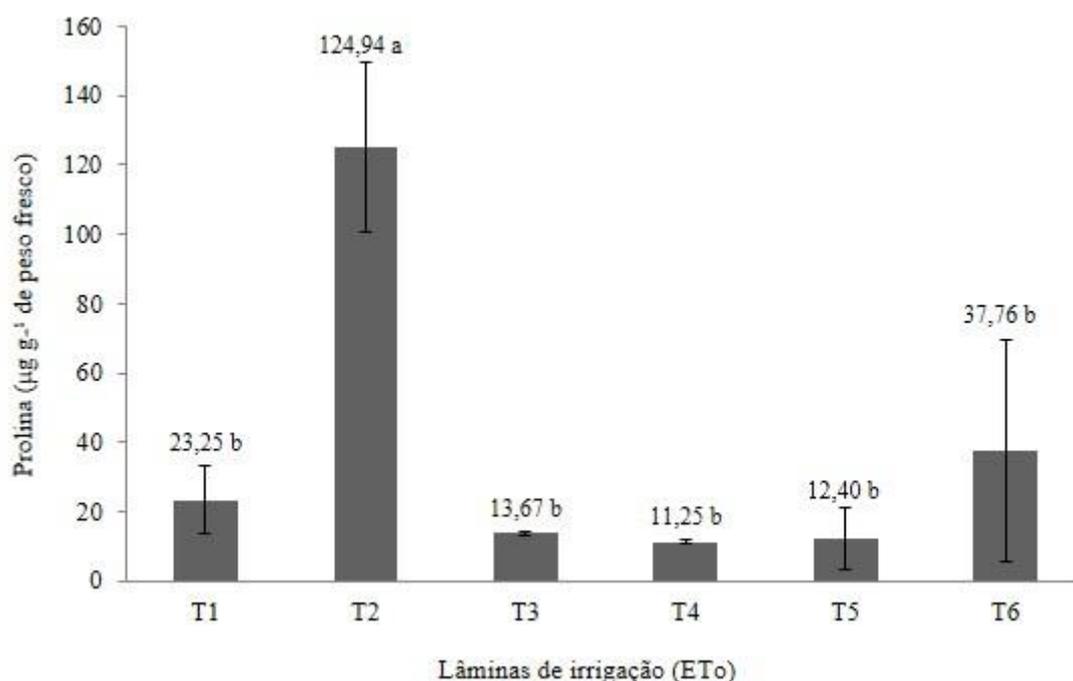
As lâminas superiores a 1 x ETo possivelmente estavam acima da máxima capacidade de retenção de água no substrato, não sendo totalmente aproveitadas pelas plantas, foram percoladas. O excesso de água contribuiu para uma condição de hipóxia das raízes, o que ocasionou uma diminuição da produção de matéria seca total da planta.

Plantas sob condição de baixa disponibilidade de oxigênio nas raízes, tem sua fotossíntese prejudicada, pois apresentam redução no transporte de elétrons, que se relaciona ao número de coletores de luz no fotossistema II (MARTINAZZO et al., 2012). Portanto, essa condição além de diminuir a taxa fotossintética e prejudicar mobilização de carboidratos para as raízes (SILVEIRA et al., 2015), foi responsável por limitar o crescimento generalizado da planta (MAZZUCHELLI et al., 2014). Na condição de cultivo todos os tratamentos apresentaram raízes enoveladas. De acordo com Mafia et al. (2005), esse comportamento ocorre em função da limitação do volume explorável de substrato em determinada idade.

O tratamento de 0,75 x ETo apresentou o melhor resultado para o Índice de qualidade de Dickson (IQD), contrastando com os resultados observados para aroeira-vermelha (*Schinus terebinthifolius*) onde não houve influência das diferentes lâminas de irrigação nesse índice, (MORAIS et al., 2012). O índice é indicado para avaliação da qualidade de mudas, pois contempla a distribuição do crescimento entre as partes da planta, além disso, quanto maior o índice, maiores as chances de sobrevivência das mudas em campo (BINOTTO et al., 2010).

O maior conteúdo de prolina foliar ( $124,94 \mu\text{g g}^{-1}$ ) foi observado nas mudas de *E. globulus* cultivadas com lâmina de irrigação correspondente a  $0,75 \times \text{ET}_0$  (lamina aplicada de  $377,60 \text{ mm}$ ). Os demais tratamentos apresentaram valores entre  $11,25 \mu\text{g g}^{-1}$  e  $37,76 \mu\text{g g}^{-1}$ , sem diferença significativa entre eles (Figura 5). Nesse caso, a prolina pode ter atuado como protetora da condição de limitação hídrica, permitindo que a planta acumulasse maiores quantidades de matéria seca. No entanto Koca et al. (2007), relata que o acúmulo de prolina pode inibir o crescimento das plantas.

**Figura 5.** Teor de prolina livre em folhas de *Eucalyptus globulus* submetidas à diferentes lâminas de irrigação.



Em que: As barras indicam o desvio padrão ( $n=4$ ): T1=  $0,5 \times \text{ET}_0$ ; T2=  $0,75 \times \text{ET}_0$ ; T3=  $1 \times \text{ET}_0$ ; T4=  $1,25 \times \text{ET}_0$ ; T5=  $1,5 \times \text{ET}_0$ ; T6=  $1,75 \times \text{ET}_0$  em Montes Claros - MG, 2013

Gonçalves (2015), ao estudar *E. grandis* vs. *E. urophylla* submetidas à deficiência hídrica observou aumento dos teores de prolina ( $12,74 \mu\text{g g}^{-1}$ ). Esse aumento relaciona-se à mecanismo de tolerância a estresses hídricos moderados (ALBUQUERQUE et al., 2013) ou ainda pelo estresse relacionado ao calor (ZHANG et al., 2016b). Neste estudo, o aumento no teor de prolina foliar não promoveu redução na biomassa de mudas de *E. globulus*, quando comparado aos demais tratamentos.

## 6 CONCLUSÃO

Para obtenção de mudas de *E. globulus*, os resultados deste estudo permitiram recomendar a aplicação de lâmina de irrigação correspondente a  $75\%$  da Evapotranspiração de referência nas condições climáticas do Norte de Minas Gerais. Esta lâmina é responsável por menores perdas por percolação no sistema de cultivo, sendo recomendado um Coeficiente de cultivo (Kc) equivalente a  $1,4$ .

A produção de mudas de *E. globulus* sob lâminas de irrigação correspondente a 0,75 x ETo possibilitou obter maior produção média de biomassa, crescimento, acúmulo de prolina, qualidade de mudas e eficiência do uso da água.

## 7 AGRADECIMENTO (S)

Ao Laboratório de Plantas Medicinais e Aromáticas do Instituto de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Minas Gerais (ICA-UFMG), ao Programa de Educação Tutorial, PET-Agronomia ICA-UFMG e à Fundação de Amparo à Pesquisa do estado de Minas Gerais (FAPEMIG) pelo apoio.

## 8 REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, M. P. F.; MORAES, F. K. C.; SANTOS, R. I. N. CASTRO, G. L. S.; RAMOS, E. M. L.; PINHEIRO, H. A. Ecofisiologia de plantas jovens de mogno-africano submetidas à déficit hídrico e reidratação. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Goiânia, v. 48, n. 1, p. 9-16, 2013.

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L. SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil, **Meteorologische Zeitschrift**, Gebrüder Borntraeger, v.22, n.6 , p. 1-18, 2013.

BATES, L. S.; WALDREN, R. P.; TEARE, I. D. Rapid determination of free proline for water-stress studies. **Plant and Soil**, The Hague, v. 39, p. 205-207, 1973.

BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de irrigação**. Viçosa: UFV, 2009. 67 p.

BINOTTO, A. F.; LÚCIO, A. D.; LOPES, S. J. Correlations between growth variables and the Dickson quality index in forest seedlings. **Revista Cerne**, Lavras, v. 16, n. 4, p. 457-464, 2010.

BRASIL. **RENISUS**: relação nacional de plantas de interesse ao sistema único de Saúde. Cidade, 2009. Disponível em: <<http://portal.saude.gov.br/portal/arquivos/pdf/RENISUS.pdf>>. Acesso em: 30 set. 2017.

BUTRINOWSKI, R. T.; BUTRINOWSKI, I. T.; SANTOS, E. L.; PICOLOTTO, P. R.; PICOLOTTO, R. A.; SANTOS, R. F. Disponibilidade hídrica no desenvolvimento inicial de mudas de *Eucalyptus grandis* em ambiente protegido. **Acta Iguazu**, Cascavel, v. 2, n. 3, p. 84-93, 2013.

CHAVES, S. W. P.; AZEVEDO, B. M.; MEDEIROS, J. F.; BEZERRA, M. L.; MORAIS, N. B. Evapotranspiração e coeficiente de cultivo da pimenteira em lisímetro de drenagem. **Revista Ciência Agrônômica**, Fortaleza, v. 36, n. 3, p. 262-267, 2005.

DICKSON, A.; LEAF, A. L.; HOSNER, J. F. Quality appraisal of white spruce and white pine seedling stock in nurseries. **Forest Chronicles**, Mattawa, v. 36, p. 10-13, 1960.

DOORENBOS, J.; KASSAM, A. H. Efeito da água no rendimento das culturas. Estudos FAO: **Irrigação e Drenagem**, Campina Grande: UFPB, 1994. 306 p.

GONÇALVES, K. S.; SOUZA, A. P.; VELINI, E. D. Aplicação de reguladores vegetais e de fosfito de Potássio em mudas de eucalipto submetidas à deficiência hídrica. **Irriga**, Botucatu, v. 20, n. 2, p. 273-285, 2015.

HOSSAIN, M. A.; FUJITA, M. Evidence for a role of exogenous glycinebetaine and proline in antioxidant defense and methylglyoxal detoxification systems in mung bean seedlings under salt stress. **Physiology and Molecular Biology of Plants**, Lucknow, v. 16, n. 1, p. 19-29, 2010.

KOCA, H.; BOR, M.; ÖZDEMİR, F.; TÜRKAN, I. The effect of salt stress on lipid peroxidation, antioxidative enzymes and proline content of sesame cultivars. **Environmental and Experimental Botany**, Barcelona, v.60, n.3, 2007, p. 344-351, 2007.

LOPES, J. L.; GUERRINI, I. A.; SAAD, J. C. Qualidade de mudas de eucalipto produzidas sob diferentes lâminas de irrigação e dois tipos de substrato. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 31, p. 835-843, 2007.

LOPES, O. D.; KOBAYASHI, M. K.; OLIVEIRA, F. G.; ALVARENGA, I. C. A.; MARTINS, E. R.; CORSATO, C. E. Determinação do coeficiente de cultura (Kc) e eficiência do uso de água do alecrim-pimenta irrigado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 15, n. 6, p. 548-553, 2011.

MAFIA, R. G.; ALFENAS, A. C.; SIQUEIRA, L.; FERREIRA, E. M.; LEITE, H. G.; CAVALLAZZI, J. R. P. Critério técnico para determinação da idade ótima de mudas de eucalipto para plantio. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 29, n. 6, p. 947 -953, 2005.

MAHOUACHI, J. Changes in nutrient concentrations and leaf gas exchange parameters in banana plantlets under gradual soil moisture depletion. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v. 120, p. 460-466, 2009.

MARENCO, R. A.; ANTEZANA-VERA, S. A.; GOUVÊA, P. R. S.; CAMARGO, M. A. B.; OLIVEIRA, M. F.; SANTOS, J. K. S. Fisiologia de espécies florestais da Amazônia: fotossíntese, respiração e relações hídricas. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 61, p. 786-789, 2014. Suplemento.

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. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 43, n.1, p. 35-41, 2013.

MAZZUCHELLI, E. L.; SOUZA, G. M.; PACHECO, A. C. Rustificação de mudas de eucalipto via aplicação de ácido salicílico. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 44, n. 4, p. 443-450, 2014.

MENDONÇA, J. C.; SOUZA, E. F.; BERNARDO, S.; DIAS, G. P.; GRIPPA, S. Comparação entre métodos de estimativa da evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>) na região Norte Fluminense, RJ. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 7, n. 2, p.275-279, 2003.

MILAGRES, F. R. **Avaliação da madeira de híbridos de *Eucalyptus globulus* com *E. grandis* e *E. urophylla*, para produção de celulose, utilizando espectroscopia NIR**. 2009. 128 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal)-Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2009.

MORAIS, W. W. C.; SUSIN, F.; VIVIAN, M. A.; ARAÚJO, M. M. Influência da irrigação no crescimento de mudas de *Schinus terebinthifolius*. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 32, n. 69, p. 23, 2012.

OLIVEIRA, E. C.; CARVALHO, J. A.; ALAMEIDA, E. F. A.; REZENDE, F. C.; SANTOS, B. G.; MIMURA, S. N. Evapotranspiração da roseira em ambiente protegido. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 18, n. 3, p. 314-321, 2014.

PEREIRA, A. R.; VILA NOVA, N. A.; SEDIYAMA, G. C. **Evapotranspiração**. Piracicaba: FEALQ, 1997. 183 p.

QUEIROZ, T. B.; PEREIRA N. N. J.; SILVA, J. C. R. L.; FONSECA, F. S. A.; MARTINS, E. R. Influence of water regime on initial growth and essential oil of *Eucalyptus globulus*. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 47, n. 3, p. 1-8, 2017.

ROCHA, M. E.; SANTOS, C. L. D. O uso comercial e popular do eucalipto *Eucalyptus globulus* Labill-Myrtaceae. **Saúde & Ambiente em Revista**, Duque de Caxias, v. 2, n. 2, p. 23-34, 2009.

RODRIGUES, S. B. S.; MANTOVANI, E. C.; OLIVEIRA, R. A.; PAIVA, H. N.; ALVES, M. E. B. Necessidade hídrica de mudas de eucalipto na Região Centro-oeste de Minas Gerais. **Irriga**, Botucatu, v. 16, n.2, p. 212-223, 2011.

SCALON, S. P.; JEROMINI, T. S.; MUSSURY, R. M.; DRESCH, D. M. Photosynthetic metabolism and quality of *Eugenia pyriformis*. Cambess. seedlings on substrate function and water levels. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, Rio de Janeiro, v. 86, n. 4, p. 2039-2048, 2014.

SILVA, S. R.; DEMUNER, A. J.; BARBOSA, L. C. A. DE; CASALI, V. W. D.; NASCIMENTO, E. A.; PINHEIRO, A. L. Efeito do estresse hídrico sobre características de crescimento e a produção de óleo essencial de *Melaleuca alternifolia* Cheel. **Acta Scientiarum. Agronomy**, Maringa, v. 24, p. 1363-1368, 2012.

SILVEIRA, H. R. O.; SOUZA, K. R. D.; ALVES, J. D.; SANTOS, M. O.; ANDRADE, C. A.; BOMFIM, S. C. Gas exchange and carbohydrate partitioning in coffee seedlings under waterlogging. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 39, n. 2, p. 138-146, 2015.

SOUZA, A. P.; SILVA, A. C.; LEONEL, S.; SOUZA, M. E.; TANAKA, A.

Evapotranspiração e eficiência do uso da água no primeiro ciclo produtivo da figueira 'roxo de valinhos' submetida a cobertura morta. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 30, n. 4, p. 1127-1138, 2014.

STAPE, J. S.; BINKLEY, D.; RYAN, M. G.; FONSECA, S.; LOOS, R. A.; TAKAHASHI, E. N.; SILVA, C. R.; SILVA, S. R.; HAKAMADA, R. E.; FERREIRA, J. M. A.; LIMA, A. M. N.; GAVA, J. L.; LEITE, F. P.; ANDRADE, H. B.; ALVES, J. M.; SILVA, G. G. C.; AZEVEDO, M. R. The Brazil *Eucalyptus* Potential Productivity Project: Influence of water, nutrients and stand uniformity on wood production. **Forest Ecology Management**, Amsterdam, v. 259, p. 1684-1694, 2010.

STEWART, C. R.; BOGGESS, S. F.; ASPINALL, D.; PALEG, L. G. Inhibition of proline oxidation by water stress. **Plant Physiology**, Washington, v. 59, n. 5, p. 930-932, 1977.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 4. ed. Porto Alegre: Artmed, 2009. 819 p.

TAN, C. L.; WONG, N. H.; TAN, P. Y.; JUSUF, S. K.; ZHI, Q. C. Impact of plant evapotranspiration rate and shrub albedo on temperature reduction in the tropical outdoor environment. **Building and Environment**, Oxford, v. 94, n.1, p. 206-217, 2015.

TATAGIBA, S. D.; XAVIER, T. M. T.; TORRES, H.; PEZZOPANE, J. E. M.; CECILIO, R. A.; ZANETTI, S. S. Determinação da máxima capacidade de retenção de água no substrato para produção de mudas de eucalipto em viveiro. **Revista Floresta**, Curitiba, v. 45, n. 4, p. 745-754, 2015.

YOSHIBA, Y.; KIYOSUE, T.; NAKASHIMA, K.; YAMAGUCHI-SHINOZAKI, K.; SHINOZAKI, K. Regulation of levels of proline as an osmolyte in plants under water stress. **Plant and Cell Physiology**, Kyoto, v. 38, n. 10, p. 1095-1102, 1997.

ZHANG, C.; ZHAN, D. X.; LUO, H. H.; ZHANG, Y. L.; ZHANG, W. F. Photorespiration and photoinhibition in the bracts of cotton under water stress. **Photosynthetica**, Kyoto, v. 54, n. 1, p. 12-18, 2016a.

ZHANG, L.; ZHENG, F.; QI, W.; WANG, T.; MA, L.; QIU, Z.; LI, J. Irradiation with low-dose gamma ray enhances tolerance to heat stress in *Arabidopsis* seedlings. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, Prague, v. 128, p. 181-188, 2016b.