

VALORES LÍMITROFES PARA TRANSPIRAÇÃO, DESENVOLVIMENTO E CRESCIMENTO DE *Corymbia citriodora* (Hook.) K.D. Hill & L.A.S. Johnson EM RESPOSTA À DEFICIÊNCIA HÍDRICA NO SOLO¹

Marcel Carvalho Abreu², Fabrina Bolzan Martins³, Cleverson Henrique de Freitas⁴, Rodolfo Armando de Almeida Pereira⁴ e Eliane Guimarães Pereira Melloni³

RESUMO – Quando a disponibilidade de água no solo é reduzida, as plantas respondem diminuindo a taxa de transpiração, o crescimento e o desenvolvimento, na tentativa de aclimação à deficiência hídrica. Com o objetivo de quantificar essas respostas em mudas de *Corymbia citriodora* (Hook.) K.D. Hill & L.A.S. Johnson, foi utilizada a metodologia da fração de água transpirável no solo (FATS), em um experimento conduzido em casa de vegetação, sob o delineamento inteiramente casualizado, sendo dois níveis de suplementação hídrica, duas épocas de aplicação da deficiência hídrica e nove repetições. A FATS e os parâmetros de transpiração, crescimento e desenvolvimento foram medidos diariamente durante a aplicação da deficiência hídrica. A FATS crítica, em que a transpiração, o crescimento e desenvolvimento começam a ser reduzidos, foi distinta nas épocas de aplicação da deficiência hídrica devido à diferença das condições meteorológicas. Os valores elevados de FATS indicaram que a espécie possuiu boa aclimação à deficiência hídrica no solo, quando comparada com as espécies anuais e outras perenes.

Palavras-chave: Relações hídricas; Déficit de pressão de vapor; Fechamento estomático.

THRESHOLDS FOR TRANSPIRATION, DEVELOPMENT AND GROWTH OF Corymbia citriodora (Hook.) K.D. Hill & L.A.S. Johnson IN RESPONSE TO SOIL WATER STRESS

ABSTRACT – When water availability in the soil is reduced, plants respond decreasing transpiration rate, growth and development in an attempt to acclimate to water deficit. To quantify these responses in seedlings of *Corymbia citriodora* (Hook.) K.D. Hill & L.A.S. Johnson, we used the methodology of the Fraction of Transpirable Soil Water (FTSW), in an experiment conducted in a greenhouse, in a completely randomized design with two levels of water supplementation, two application times of water deficiency and nine replicates. The FTSW and the transpiration, growth and development parameters were measured daily during the application of water deficiency. The FTSW threshold, in which transpiration, growth and development begin to be reduced, was variable for different application times of water stress due to the difference in weather conditions. The high values of FTSW indicate that the species has good acclimation to soil water deficit compared to annuals and other perennials species.

Keywords: Water relationship; Vapour pressure deficit; Stomatal closure.

¹ Recebido em 11.08.2014 aceito para publicação em 12.08.2015.

² Universidade Federal de Itajubá, Programa de Pós-Graduação em Meio Ambiente e Recursos Hídricos, Itajubá, Minas Gerais - Brasil. E-mail: <marcelc.abreu@gmail.com>.

³ Universidade Federal de Itajubá, Instituto de Recursos Naturais, UNIFEI, Itajubá, Minas Gerais - Brasil. E-mail: <fabrinabm@gmail.com> e <eliane.melloni@gmail.com>.

⁴ Universidade Federal de Itajubá, graduando em Ciências Atmosféricas, Itajubá, Minas Gerais - Brasil. E-mail: <sonhfreitas@gmail.com> e <rodolfoarmando.17@gmail.com>.



1. INTRODUÇÃO

Os principais fatores que influenciam a saída de água das plantas para a atmosfera através da transpiração, bem como a entrada e assimilação de CO₂ para a realização da fotossíntese, são os conteúdos de água na fase líquida presente no solo e na fase gasosa presente na atmosfera, além das características morfológicas da espécie (TAIZ; ZEIGER, 2009). Um pequeno desequilíbrio em um desses fatores já leva à situação de deficiência hídrica, o que pode reduzir o volume celular e afetar todos os processos fisiológicos das plantas (SCHOPPACH; SADOK, 2012).

Entre as principais respostas da planta em situação de deficiência hídrica estão a redução da área foliar, modificações no sistema radicular, redução da condutância e fechamento estomático, senescência e abscisão foliar, fatores determinantes na diminuição da assimilação do carbono e que levam, conseqüentemente, à queda no crescimento, desenvolvimento e produtividade de culturas agrícolas e florestais (TAIZ; ZEIGER, 2009; BIMPONG et al., 2011). A deficiência hídrica é mais severa quando as plantas estão na fase de muda, o que pode ser determinante na implantação e estabelecimento de espécies florestais no campo (MARTINS et al., 2008).

Um conceito utilizado para avaliar as respostas das plantas à deficiência hídrica no solo é através da fração da água transpirável no solo (FATS). A FATS é considerada o melhor indicador da real quantidade de água extraída pelas plantas para a transpiração (MARTINS et al., 2008; LAGO et al., 2012; SOUZA et al., 2014), processo que corresponde a 97% do total de água absorvida pela planta, enquanto os 3% restantes são destinados a suprir o crescimento e o desenvolvimento, bem como participar de reações metabólicas (TAIZ; ZEIGER, 2009). A FATS considera duas fases distintas: a primeira quando o conteúdo de água no solo permite máxima transpiração e máxima condutância estomática e, a segunda, quando o conteúdo de água no solo começa a decrescer e as plantas iniciam o fechamento estomático e a redução da condutância estomática (SINCLAIR; LUDLOW, 1986). O limiar entre as duas fases é chamada de FATS crítica, sendo parâmetro utilizado para a seleção de genótipos mais tolerantes à deficiência hídrica e em modelos de produtividade e simulação de culturas (JYOSTNA DEVI et al., 2009; LAGO et al., 2011).

Diversos autores já utilizaram o conceito da FATS em estudos com culturas anuais e perenes, porém ainda incipientes, principalmente, quando se analisa a influência de fatores meteorológicos na FATS crítica das espécies. Assim, a demanda evaporativa do ar, representada pelo déficit de pressão de vapor (DPV), pode afetar a FATS crítica, uma vez que a taxa de transpiração depende da condutância estomática que, por sua vez, também depende do DPV (SCHOPPACH; SADOK, 2012; YANG et al., 2012). Portanto, as estratégias de conservação de água através de diferentes sensibilidades da transpiração e, conseqüentemente, na FATS crítica em relação ao DPV devem ser consideradas.

Devido à importância comercial de *C. Citriodora* (Hook.) K.D. Hill & L.A.S. (Myrtaceae) e aos escassos estudos relacionando transpiração, crescimento e desenvolvimento de espécies florestais submetidas à deficiência hídrica, o objetivo deste trabalho foi quantificar a transpiração e os parâmetros de crescimento e desenvolvimento em mudas de *C. citriodora* submetidas à deficiência hídrica no solo em duas épocas, visando distintas condições de demanda evaporativa do ar.

2. MATERIALE MÉTODOS

Foi instalado um experimento em casa de vegetação da Universidade Federal de Itajubá, em Itajubá, MG (22°30' de latitude Sul, 45°27' de longitude Oeste e 850 m de altitude) no delineamento inteiramente casualizado organizado em esquema fatorial 2x2, constituído por dois níveis de suplementação hídrica (T1 – plantas sem deficiência hídrica no solo e T2 – plantas com deficiência hídrica no solo), duas épocas de aplicação da deficiência hídrica (E1 – primavera/verão e E2 – outono/inverno) e nove repetições. Na E1, a semeadura foi realizada no dia 19/10/2012 e, na E2, no dia 29/04/2013, sendo utilizadas sementes certificadas, limpas e com percentual mínimo de germinação de 85%. A utilização de duas épocas objetivou abranger diferentes condições meteorológicas e verificar possíveis diferenças na resposta da transpiração e de parâmetros de crescimento e desenvolvimento da deficiência hídrica. Cada repetição foi constituída por duas plântulas em um vaso de 8 L, preenchido com solo da classe textural argiloso do horizonte A moderado de um Latossolo Vermelho distrófico típico (EMBRAPA, 2013). Foram feitas as análises química e física do solo utilizado, em que se constatou pH igual a 5,0, sendo a quantidade

de macro e micronutrientes considerada baixa ou muito baixa, de acordo com a 5ª Aproximação (CFSEMG, 1999). O solo contém 24,5 g kg⁻¹ de matéria orgânica (Walkley-Black), 0,5 mg dm⁻³ de P e 4,0 mg dm⁻³ de K, os quais foram obtidos com os extratores de Mehlich 1. A correção da acidez e da fertilidade foi feita de acordo com a 5ª Aproximação (*Op. cit.*) para *C. citriodora*, a partir dos resultados analíticos da análise de solo, em que foram aplicados em cada vaso 10,18 g de fosfato super simples (18%), 0,31 g de cloreto de potássio (60%), 0,20 g de sulfato de amônio (20%) e calagem com 12,32 g de carbonato de cálcio.

Os vasos foram dispostos aleatoriamente em uma bancada metálica com 70 cm de altura do chão, distantes, aproximadamente, 20 cm. Também, foram envoltos com papel de jornal para evitar o aquecimento excessivo do substrato, o que poderia constituir fonte de erro experimental (MARTINS et al., 2008).

Não houve restrição quanto à suplementação hídrica durante o crescimento e desenvolvimento inicial das plantas até a aplicação da deficiência hídrica no solo, que ocorreu quando as plantas atingiram a fase de muda, apresentando, em média, 20 a 25 folhas acumuladas na haste principal (MARTINS et al., 2008). Para a aplicação do conceito da FATS, foi seguido o protocolo proposto por Sinclair e Ludlow (1986) e amplamente utilizado em culturas anuais e perenes (MARTINS et al., 2008; GHOLIPOOR et al., 2012; LAGO et al., 2012; SOUZA et al., 2014). Inicialmente, todos os vasos foram saturados com água e deixados para drenar por, no mínimo, 24 h até atingirem a capacidade de campo (cc), posteriormente, cobertos com filme plástico de coloração branca e pesados, para determinar o peso inicial. A cobertura com plástico branco objetivou minimizar a perda de água pela evaporação do solo e quantificar somente a água utilizada para a transpiração das plantas. A partir de então, os vasos do T2 foram submetidos à deficiência hídrica, não sendo mais irrigados até o final do experimento.

Todos os vasos foram pesados diariamente ao final do período vespertino, em balança digital com capacidade para 30 kg ($\pm 0,0005$ kg), a fim de determinar a perda de água. Os vasos do T1 foram irrigados com a quantidade de água perdida diariamente, determinada pela diferença de peso de cada vaso no dia em questão (dia da medição) e o peso inicial. Para o cálculo da perda de água dos vasos do T2 foi considerada a diferença

de peso de cada vaso no dia em questão e o peso do dia anterior (MARTINS et al., 2008; LAGO et al., 2011).

O fim do experimento foi considerado quando a transpiração relativa (TR) do T2 foi igual ou inferior a 10% do T1 ($TR \leq 0,1$). Assume-se que, quando a TR está abaixo de 10%, os estômatos estão fechados e a perda de água ocorre pela condutância epidérmica e não mais pela condutância estomática. O valor de TR foi obtido pela expressão (SOUZA et al., 2014):

$$TR = \frac{P2_i - P2_{i-1}}{\sum (P1_i - P1_{i-1})/n} \quad (1)$$

em que P2 é o peso de cada vaso do T2 no *i-ésimo* dia de medição, g vaso⁻¹; P1 é o peso de cada vaso do T1 no *i-ésimo* dia de medição, g vaso⁻¹; e n é o número total de repetições do T1.

No final do experimento foi calculada a FATS de cada dia e de cada vaso do T2, durante a duração da deficiência hídrica, através da expressão (SOUZA et al., 2014):

$$FATS = \frac{P2_i - P2_{final}}{P2_{inicial} - P2_{final}} \quad (2)$$

em que P2_{inicial} é o peso de cada vaso do T2 no primeiro dia do experimento, g vaso⁻¹; e P2_{final} é o peso de cada vaso do T2 no último dia do experimento ($TR \leq 0,1$), g vaso⁻¹.

Foram mensuradas, diariamente, as variáveis referentes aos parâmetros de crescimento: área foliar (AF), altura da planta (h) e diâmetro do caule ao nível do solo (d) e o parâmetro de desenvolvimento: número de folhas na haste principal (NF). Foram consideradas na contagem as folhas com comprimento do limbo de no mínimo 1 cm (MARTINS et al., 2008). As medições do NF, h e d foram feitas nas duas plantas de cada vaso e o valor final desses parâmetros, considerado como a média das duas plantas. A AF foi calculada em apenas uma planta de cada vaso, através do produto do comprimento, da largura e do fator de forma (0,72) de cada folha (ABREU, 2014).

Foram coletadas as temperaturas máximas (Tmax) e mínimas (Tmin) diárias pelos termômetros de mercúrio e álcool, respectivamente, e a umidade relativa do ar (UR) pelo termohigrógrafo de cabelo, alocados no interior

de um miniabrigo meteorológico instalado ao lado do experimento. O DPV foi obtido por (VIANELLO; ALVES, 2012):

$$e_s = 0,6108 \cdot 10^{\left[\frac{7,5 \cdot t_{med}}{237,3 + t_{med}} \right]} \quad (4)$$

$$e_a = \frac{(UR \cdot e_s)}{100} \quad (5)$$

$$DPV = (e_s - e_a) \cdot 10 \quad (6)$$

em que e_s é a pressão de saturação de vapor (KPa), e_a é a pressão parcial de vapor de água (KPa), DPV (hPa), UR é a umidade relativa (%) e t_{med} é a temperatura média do ar, em (°C), obtida pela média aritmética da T_{max} e T_{min} .

As variáveis TR, NF, AF, h e d foram submetidas a duas normalizações, em que a primeira teve como objetivo manter os valores das variáveis entre 0 e 1 (equação 6) e a segunda, reduzir as variações causadas pelas diferenças no crescimento entre as duas plantas de cada repetição (equação 7):

$$Vn_1 = \frac{VTR10\% - V_{dia}}{VTR10\% - V_{inicial}} \quad (6)$$

em que Vn_1 é a variável normalizada baseada na primeira normalização, VTR10% é o valor da variável quando TR é 10%, V_{dia} é o valor da variável no dia da medição e $V_{inicial}$ é o valor da variável no primeiro dia do experimento.

$$Vn_2 = \frac{Vn_1}{Vn_1 \text{ com FATS} \geq 0,55} \quad (7)$$

em que Vn_2 é a variável referente à segunda normalização e Vn_1 é a média dos valores da variável referente à primeira normalização em dias com FATS $\geq 0,55$, quando as plantas estavam sob ótima suplementação hídrica (LAGO et al., 2011, 2012).

Para obter o valor da FATS crítica, em que a TR, NF, AF, h e d são reduzidos, os dados de Vn_2 foram ajustados a uma equação logística em função da FATS. O patamar adotado para determinar a FATS crítica foi o de TR = 0,95 (LAGO et al., 2011; LAGO et al., 2012):

$$Vn_2 = \frac{a}{1 + \exp(-((FATS - b)/c))} \quad (8)$$

em que a, b e c são coeficientes da equação logística estimados pela variante dos mínimos quadrados do software Sigmaplot versão 11.0 (SYSTAT SOFTWARE, 2008).

Para averiguar possíveis variações na FATS crítica, os ajustes foram realizados separadamente nos dias considerados com alta demanda evaporativa do ar (DPV ≥ 15 h Pa) e baixa demanda evaporativa do ar (DPV < 15 h Pa) (LAGO et al., 2011).

As estatísticas utilizadas para avaliar o desempenho dos ajustes foram: eficiência do modelo (Em) e erro-padrão da estimativa (Sy.x).

$$Em = 1 - \left[\frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2}{\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y}_i)^2} \right] \quad (9)$$

$$S_{y,x} = \pm \frac{\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2}{n - p - 1}}}{\bar{Y}_i} \quad (10)$$

em que Y_i é o valor observado, \hat{Y}_i é o valor estimado pela equação e \bar{Y}_i é a média dos valores verificados de cada variável mensurada (TR, NF, AF, h e d).

Foi determinada a biomassa seca inicial e final de cada vaso, sendo possível calcular a eficiência no uso da água (EUA), que representa a quantidade, em litros, necessária para a produção de 1 kg de biomassa ($L H_2O \text{ kg de massa seca}^{-1}$). A EUA foi calculada para T1 e T2, através da equação 11 (MARTINS et al., 2008).

$$EUA = \left[\frac{\text{Total de água transpirada em T1 e T2}}{(\text{Biomassa final de cada vaso} - \text{Biomassa inicial})} \right] \quad (11)$$

3. RESULTADOS

As condições meteorológicas durante a aplicação da deficiência hídrica variaram entre E1 e E2 (Figura 1), embora essa variação tenha sido menor em termos de valores médios de T_{max} (43,2 °C para E1 e 43,3 para E2), UR (72% para E1 e 65% para E2) e DPV (14,3 h Pa para E1 e 13,7 h Pa para E2). As T_{max} absolutas foram 51,2 °C e 51,8 °C e as T_{min} absolutas, 19,2 °C e 9,9 °C, ambas em E1 e E2, respectivamente. Na E1, oito dias foram considerados de baixo DPV (53,3%) e sete, de alto DPV (46,6%), enquanto na E2 nove dias foram concebidos como de baixo DPV (60%) e seis,

de alto DPV (40%) (Figura 1), ou seja, na E1 as mudas de *C. citriodora* ficaram maior número de dias expostas a condições de maior DPV. No entanto, essas diferenças nas condições meteorológicas não afetaram a duração do experimento, que foi de 15 dias para E1 e E2.

As plantas selecionadas aleatoriamente para compor cada tratamento relacionado à suplementação hídrica (T1 e T2) apresentaram o mesmo patamar de transpiração, crescimento e desenvolvimento no primeiro dia de aplicação da deficiência hídrica, exceto a altura e o diâmetro na E1 (Tabela 1), o que é requisito para esse tipo de experimento, pois reduz o erro que poderia ser atribuído à desigualdade desses parâmetros. Com exceção do número de folhas (na E2) e da altura, todas as plantas submetidas à deficiência hídrica reduziram o crescimento e desenvolvimento no último dia do experimento ($TR \leq 0,1$). Em relação à altura, a média das repetições do

T2 foi maior que a média do T1 no início do experimento. Mesmo não significativa, houve redução na altura do T2 (de 30,12 cm para 27,92 cm) entre o primeiro e o último dia do experimento, bem como aumento da altura do T1 (de 26,92 cm para 29,55 cm).

Houve diferença na transpiração total e no consumo de água entre T1 e T2 (Tabela 2), o que não ocorreu entre E1 e E2, embora as condições meteorológicas tenham determinado maior número de dias com alto DPV na E1. A EUA não diferiu estatisticamente entre T1 e T2, demonstrando que a *C. citriodora* apresenta mecanismos de economia de água em condições de pouca disponibilidade hídrica no solo. Porém, houve diferença entre E1 e E2, e a espécie utilizou água mais eficientemente na E1, que apresentou maior valor médio de UR e, conseqüentemente, a transpiração total e o consumo foram ligeiramente menores.

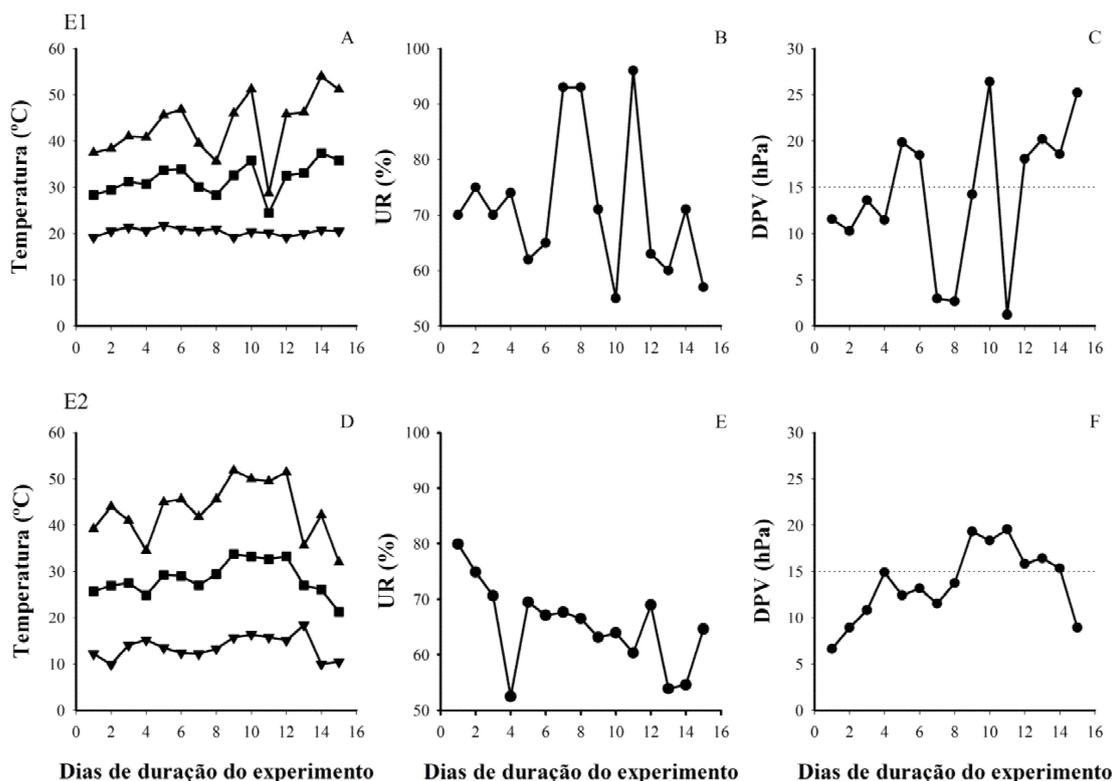


Figura 1 – Temperaturas máximas (▲), médias (■) e mínimas (▼) diárias do ar (A e D), umidade relativa do ar (B e E) e déficit de pressão de vapor do ar (DPV) diário (C e F) para *C. citriodora*, na E1 (A, B e C) e na E2 (D, E e F). As linhas pontilhadas nos painéis C e F representam a divisão dos dias de baixo e alto DPV.

Figure 1 – Daily maximum (▲), average (■) and minimum (▼) air temperatures (A and D), air relative humidity (B and E) and daily vapour pressure deficit (VPD) (C and F) of *C. citriodora*, in E1 (A, B, C) and E2 (D, E and F). The dotted lines in the panels C and F represent the division of days of low and high VPD.

Tabela 1 – Transpiração média e parâmetros de crescimento e desenvolvimento obtidos no primeiro e no último dia dos experimentos (E1 e E2) em mudas de *C. citriodora* irrigadas (T1) e submetidas à deficiência hídrica no solo (T2).

Table 1 – Mean transpiration and growth and development parameters obtained in the first and the last day of the experiments (E1 and E2), from saplings of *C. citriodora* irrigated (T1) and induced to soil water deficit (T2).

Época	Dia 1			Dia n		
	T1	T2	Média	T1	T2	Média
Transpiração (g planta⁻¹)						
E1			43,50b			69,17a
E2			53,07a			58,90a
Média	45,92A	49,86A		142,17A	11,94B	
Número de folhas						
E1			16,73a	19,42Aa	14,22Ba	
E2			13,23b	13,00Aa	11,94Ba	
Média	15,04A	14,94A				
Área foliar (cm²)						
E1			481,30a			402,01a
E2			193,42b			112,93b
Média	330,52A	347,62A		373,49A	180,13B	
Altura (cm)						
E1			35,14a			34,26a
E2			22,53b			22,88b
Média	26,92B	30,12A		29,55A	27,92A	
Diâmetro do caule ao nível do solo (mm)						
E1	3,61Ba	4,52Aa				3,64a
E2	2,44Ab	2,54Ab				2,50b
Média				3,33A	2,89B	

* Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha, para cada variável, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Colunas sem valores significam que a interação entre as fontes de variação, para cada variável, não foi significativa na mesma probabilidade. Dia 1 refere-se ao primeiro dia de aplicação da deficiência hídrica (E1: 27/01/2013; E2: 14/08/2013); e dia n refere-se ao último dia de aplicação da deficiência hídrica (TR ≤ 0,1) (E1: 11/02/2013; E2: 29/08/2013).

Comparando os resultados de EUA com os de outras espécies, a *C. citriodora* mostrou-se mais eficiente em relação à utilização da água para produzir biomassa que culturas anuais como a soja (700 L de H₂O kg⁻¹ de massa seca) (BALBINO et al., 2003), clones de mandioca (252 a 458 L de H₂O kg⁻¹ de massa seca) (LAGO et al., 2011) e batata (575 L de H₂O kg⁻¹ de massa seca) (LAGO et al., 2012). Já em estudo com *E. grandis* e *E. saligna* a EUA foi entre 275 e 282 L de H₂O kg⁻¹ de massa seca em T2 e entre 228 e 241 L de H₂O kg⁻¹ de massa seca em T1, resultados semelhantes aos encontrados neste estudo, que confirmam que espécies de eucalipto utilizam a água eficientemente (MARTINS et al., 2008).

Houve considerável variabilidade nos dados observados e nos valores de FATS crítica entre E1 e E2, especialmente nas variáveis transpiração, número de folhas e altura (Figuras 2 e 3). Essa variabilidade também foi verificada em outros estudos em razão, principalmente, da variação da Tmed e da UR. Menores valores de UR associados a grandes oscilações diárias

de temperatura do ar promovem maior consumo de água e, conseqüentemente, maior transpiração (SINCLAIR; LUDLOW, 1986; MARTINS et al., 2008).

A FATS em que se inicia a redução de TR foi de 0,32 na E1 (Figura 2A) e 0,85 na E2 (Figura 3A). Na E1, as plantas começaram a reduzir a transpiração a partir do 6º dia da aplicação da deficiência hídrica, enquanto na E2 as plantas iniciaram essa redução no 2º dia, provavelmente devido ao aumento nos valores de DPV do 1º ao 4º dia do experimento. Esse fato pode ter contribuído para o fechamento estomático mais rápido na E2 devido à rápida redução no conteúdo de água no solo.

O ajuste da transpiração relativa em dias de baixo e alto DPV apresentou comportamento diferente entre E1 e E2. Na E1, a FATS crítica em dias de baixo DPV foi igual a 0,45 e a FATS crítica em dias de alto DPV, 0,26. Já na E2 a FATS crítica foi superior em condições de alto DPV (0,90) em relação a baixo DPV (0,79).

Tabela 2 – Transpiração total, consumo e eficiência no uso da água em mudas de *C. Citriodora* irrigadas (T1) e submetidas à deficiência hídrica no solo (T2).

Table 2 – Total transpiration, consumption and water use efficiency in *C. citriodora* seedlings irrigated (T1) and induced to soil water deficit (T2).

Época	Parâmetros		Média
	T1	T2	
Transpiração total (g planta⁻¹)			
E1			798,50a
E2			868,27a
Média	1237,83A	563,75B	
Consumo (g H₂O planta⁻¹ dia⁻¹)			
E1			52,08a
E2			57,88a
Média	81,08A	37,58B	
Eficiência no uso da água (L H₂O kg⁻¹ massa seca)			
E1			105,37b
E2			418,15a
Média	248,86A	270,36A	

* Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha, para cada variável, não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Colunas sem valores significam que a interação entre as fontes de variação, para cada variável, não foi significativa na mesma probabilidade.

Os valores de FATS crítica que reduziram as variáveis de desenvolvimento e crescimento tiveram pequena variação entre E1 e E2. Para o número de folhas, a FATS crítica foi 0,52 e 0,85; para área foliar, 0,52 e 0,53; e para a altura, 0,57 e 0,30, sendo todos esses valores referentes a E1 e E2, respectivamente (Figuras 1EHK e 2EHK). Para o diâmetro, o valor de FATS foi de 0,84 para E1 e E2 (Figuras 1N e 2N). Na E1, o crescimento e desenvolvimento responderam à deficiência hídrica antes mesmo que ocorresse redução na transpiração (FATS = 0,32), o que indica que houve perda da turgescência celular, afetando o metabolismo das plantas, o que comprometeu significativamente o desenvolvimento e crescimento da espécie. Na E2, observou-se maior valor de FATS crítica para a transpiração e número de folhas, demonstrando que em condições de menor UR, principalmente no início do experimento, as plantas de *C. citriodora* respondem eficientemente à deficiência hídrica no solo, reduzindo sua transpiração.

Os valores de FATS crítica para os parâmetros de crescimento, exceto o diâmetro, e desenvolvimento analisados separadamente em dias de baixo e alto DPV foram semelhantes ao padrão verificado para TR na

E1 e contrário ao comportamento esperado, com valores de FATS superiores em condição de baixo DPV (número de folhas = 0,72; área foliar = 0,10; e altura = 0,65), em comparação com o alto DPV (número de folhas = 0,54; área foliar = 0,55; e altura = 0,53). Na E2, os valores de FATS crítica foram superiores em condições de alto DPV (0,99; 0,64; 0,42; e 0,99 para número de folhas, área foliar, altura e diâmetro, respectivamente) em relação a baixo DPV (0,76; 0,48; 0,10; e 0,88 para número de folhas, área foliar, altura e diâmetro, respectivamente). O diâmetro mostrou-se pouco sensível ao efeito do DPV.

4. DISCUSSÃO

As variáveis de transpiração, crescimento e desenvolvimento foram afetadas pela deficiência hídrica no solo, provavelmente pela perda de turgescência celular, acarretando na redução da AF, h e d (Figuras 2 e 3), ou pela ação de hormônios como o etileno, acelerando a senescência e abscisão foliar. Salienta-se que a resposta da FATS depende das características do genótipo, assim como das condições meteorológicas durante a imposição da deficiência, a qual é avaliada através do DPV (RAY et al., 2002; GHOLIPOOR et al., 2012). Elevados valores de FATS crítica indicam que os sinais hidráulicos emitidos pelas folhas causam o fechamento estomático precoce, a fim de minimizar as perdas de água para a atmosfera e conservar o conteúdo de água no solo (STRECK, 2004; SOUZA et al., 2014). De maneira geral, considerando os dados totais, os valores de FATS foram menores para TR, NF e AF em condição de alto DPV e elevados em condições de baixo DPV, contrário ao esperado, que são valores de FATS maiores em condições de alta demanda evaporativa, já que se acredita que ocorra maior fluxo de água do solo para a planta e, conseqüentemente, maior transpiração em dias de alto DPV (RAY et al., 2002; YANG et al., 2012; SCHOPPACH; SADOK, 2012). Esse fato demonstra que a *C. citriodora* é tolerante à deficiência hídrica no solo, principalmente em condições de alto DPV, e que a demanda evaporativa da atmosfera é o principal fator que governa o consumo de água em *C. citriodora*. Além do controle estomático, a espécie possui outras estratégias para economizar água do solo em condições hídricas adversas, uma vez que apresentou tendência a reduzir a transpiração e o crescimento mais cedo, mesmo em condições de baixo DPV.

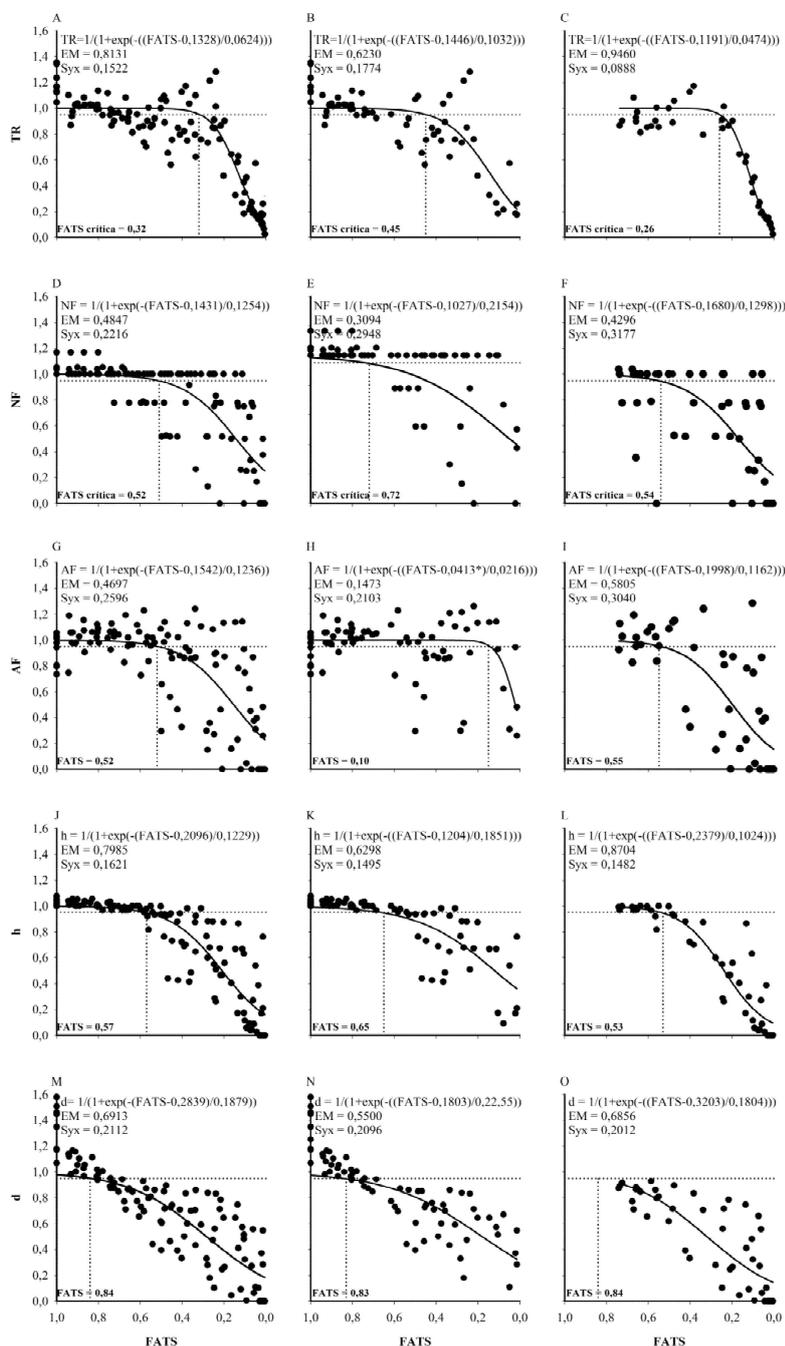


Figura 2 – Transpiração e parâmetros de crescimento e desenvolvimento normalizados em função da FATS para *C. citriodora* na E1. Os painéis A, D, G, J e M são relativos à análise dos dados totalizados; B, E, H, K e N referem-se à análise dos dias de baixo DPV; os painéis C, F, I, L e O referem-se à análise dos dias de alto DPV. A linha pontilhada indica a FATS crítica.

Figure 2 – Transpiration and normalized growth and development parameters as a function of FTSW for *C. Citriodora* in E1. Panels A, D, G, J and M are overall data; B, E, H, K and N are low VPD data; C, F, I, L and O are high VPD data. Dotted line shows FTSW threshold.

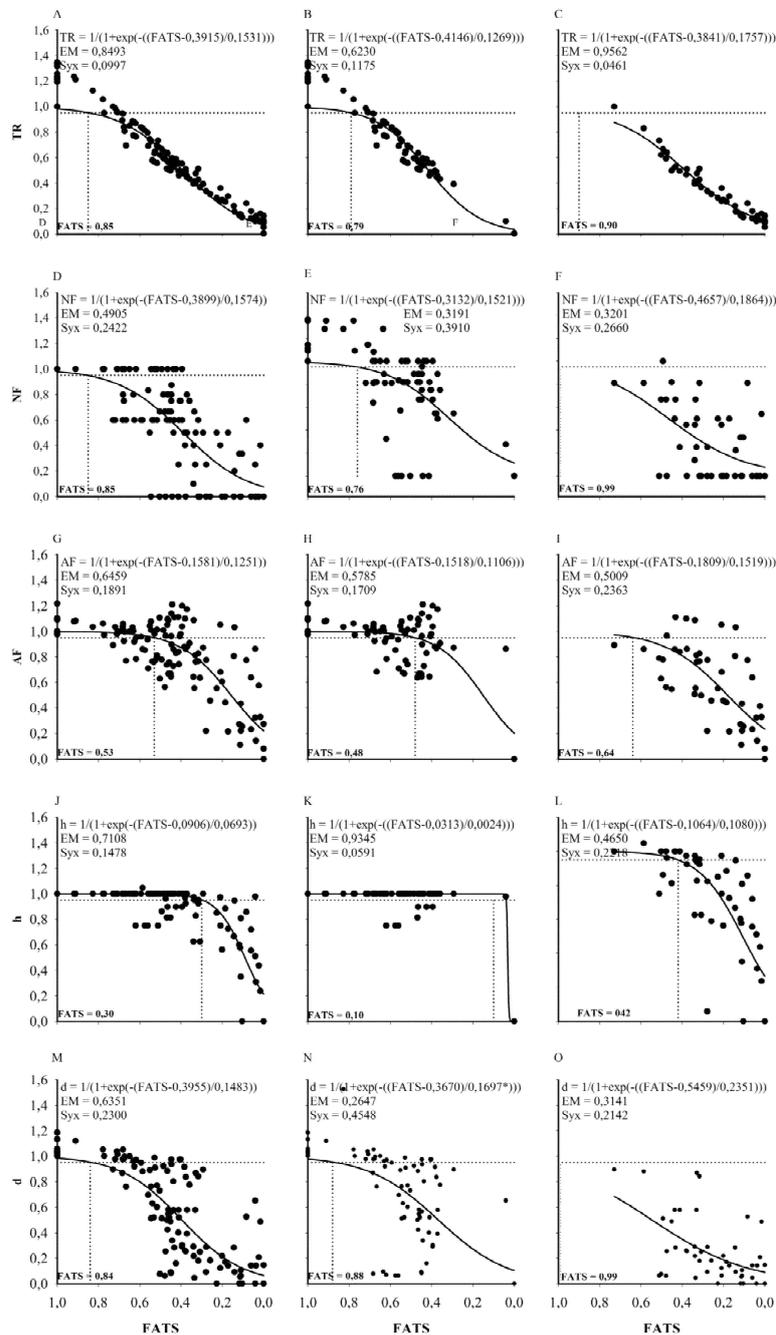


Figura 3 – Transpiração e parâmetros de crescimento e desenvolvimento normalizados em função da FATS para *C. citriodora* na E2. Os painéis A, D, G, J e M são relativos à análise dos dados totalizados; B, E, H, K e N referem-se à análise dos dias de baixo DPV; os painéis C, F, I, L e O referem-se à análise dos dias de alto DPV. A linha pontilhada indica a FATS crítica.

Figure 3 – Transpiration and normalized growth and development parameters as a function of FTSW for *C. citriodora* in E2. Panels A, D, G, J and M are overall data; B, E, H, K and N are low VPD data; C, F, I, L and O are high VPD data. Dotted line shows FTSW threshold.

Foram observadas diferenças nos valores da FATS crítica entre TR, NF, AF e h para os dados totais e separados em dias de alto e de baixo DPV. Exceto para a AF, na E1 o valor da FATS crítica foi maior em condições de baixo DPV, o que é contrário ao esperado. Porém, os resultados da E1 concordam com os obtidos por Lago et al. (2011) para a fécula branca (mandioca), por Fletcher et al. (2007) para a soja e por Gholipoor et al. (2012) para o sorgo, sendo justificada em função da variabilidade genética em resposta à deficiência hídrica em diferentes condições de DPV. Já para a E2 a tendência de maior valor de FATS crítica em condições de alto DPV foi confirmada para todas as variáveis.

Os valores de FATS obtidos neste estudo para redução da transpiração no E1 são menores do que os observados para *Eucalyptus grandis* (W. Hill ex. Maiden) (FATS = 0,90) e *Eucalyptus saligna* (Smith) (FATS = 0,70) (exceto no E2) (MARTINS et al., 2008). Comparando com os valores encontrados para outras culturas perenes, anuais e ornamentais, observam-se diferenças no padrão da resposta da FATS. Como exemplo, tem-se o feijão-mungo (*Vigna mungo* L. Hepper), guandu (*Cajanus cajan* L.) e soja (*Glycine max* L. Merrill) com FATS = 0,40; feijão-caupi (*Vigna unguiculata* L.) com FATS = 0,30 (SINCLAIR; LUDLOW, 1986); girassol (*Helianthus annuus* L.) com FATS = 0,40 (CASADEBAIG et al., 2008); amendoim (*Arachis hypogaea* L.) com FATS = 0,55 (JYOSTNA DEVI et al., 2009); cultivares de mandioca com FATS entre 0,51 a 0,45 (LAGO et al., 2011) e clones de batata, com FATS entre 0,24 a 0,49 (LAGO et al., 2012; SOUZA et al., 2014). Em culturas perenes, foram observados valores de FATS de 0,35 para tuia (*Thuja plicata* Donnex D. Don), 0,32 para falsa-acácia (*Robinia pseudoacacia* L.) e 0,30 para azevinho-europeu (*Ilex aquifolium* L.) (SINCLAIR et al., 2005). Valores elevados de FATS indicam que há fechamento estomático em condição de maior conteúdo de água no solo, o que pode ser indicativo da sensibilidade da espécie à deficiência hídrica no solo, constituindo resposta precoce adaptativa para suportar a deficiência hídrica prolongada (SINCLAIR et al., 2005; MARTINS et al., 2008).

Diversos estudos que relacionaram a AF em função da FATS obtiveram valores bem próximos aos da TR. No caso da ervilha (*Pisum sativum* L.), a FATS crítica para o crescimento foliar relativo (CFR) foi idêntica ao da TR (0,55) (LECOEUR; SINCLAIR, 1996); e da mandioca e batata, a FATS para o CFR foi entre 0,49

e 0,51 (LAGO et al., 2011) e entre 0,29 e 0,49 (LAGO et al., 2012), respectivamente, valores esses próximos aos da FATS crítica da TR. Essa proximidade entre a FATS da TR e da AF não foi confirmada nesse estudo. Já a FATS crítica dos parâmetros de crescimento (h e d) e desenvolvimento (NF) na E1 foi similar aos encontrados em *E. grandis* (W. Hill ex. Maiden) e *E. saligna* (Smith) (MARTINS et al., 2008), quando esses parâmetros foram reduzidos antes mesmo da TR. Já na E2 o crescimento e o desenvolvimento foram menos sensíveis, provavelmente por causa do rápido fechamento estomático, o que manteve a turgescência celular por mais tempo.

A espécie *C. citriodora* tem mecanismos de controle estomático para promover a redução da transpiração e do crescimento e desenvolvimento durante a deficiência hídrica, a exemplo de uma aclimatação a condições de déficit hídrico. A similaridade nos padrões de resposta à FATS das variáveis NF, AF, h e d entre E1 e E2, em que as plantas desidrataram em condições de temperatura, UR e DPV distintas, reforça a teoria de que o consumo hídrico é dado pela relação entre o conteúdo de água no solo e na atmosfera, em que pequeno desequilíbrio nessa relação faz que as plantas emitam sinais hidráulicos nas folhas e químicos nas raízes, a fim de diminuir a transpiração, o crescimento e o desenvolvimento (STRECK, 2004).

5. CONCLUSÕES

1. O valor de FATS crítica para a transpiração, crescimento e desenvolvimento difere em condições de alta e baixa demanda evaporativa do ar.
2. O crescimento e desenvolvimento de mudas de *C. citriodora* foram afetados pela deficiência hídrica antes mesmo da TR ser afetada pela redução da água no solo em E1, ou próximo a TR ser afetada em E2.
3. Os valores elevados de FATS de *C. citriodora* indicam boa adaptação à deficiência hídrica no solo.
4. A espécie *C. citriodora* mostrou-se mais eficiente em relação ao uso da água do que a maioria das culturas anuais, independentemente da suplementação hídrica ou época de aplicação da deficiência hídrica.

6. AGRADECIMENTOS

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela bolsa cedida ao primeiro

autor; e à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG), pela bolsa cedida ao terceiro autor.

7. REFERÊNCIAS

- ABREU, M.C. **Transpiração e parâmetros de crescimento e desenvolvimento em mudas de espécies florestais submetidas a deficiência hídrica no solo**. 2014. 66 f. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente e Recursos Hídricos) - Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2014.
- BALBINO, L.C.; BROSSARD, M.; STONE, L.F.; LEPRUM, J.C. **Estruturas e propriedades hidráulicas em latossolos sob cultivo na região do cerrado**. Rio de Janeiro: EMBRAPA, 2003. 44 p. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 8).
- BIMPONG, I.K.; SERRAJ, R.; CHIN, J.H.; MENDOZA, E.M.E.; HERNANDEZ, J.; MENDIORO, M. S. Determination of genetic variability for physiological traits related to drought tolerance in African rice (*Oryza glaberrima*). **Journal of Plant Breeding and Crop Science**, v.3, n.4, p.60-67, 2011.
- CASADEBAIG, P.; DEBAEKE, P.; LECOEUR, L. Thresholds for leaf expansion and transpiration response to soil water deficit in a range of sunflower genotypes. **Europe Journal Agronomy**, v.28, n.4, p.646-654, 2008.
- COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO DO ESTADO DE MINAS GERAIS – CFSEMG. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5º Aproximação**. Viçosa, MG: 1999. p.289-302.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMPRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília: Embrapa Solos, 2013.
- FLETCHER, A.L.; SINCLAIR, T.R.; ALLEN JR, L.H. Transpiration responses to vapor pressure deficit in well watered 'slow-wilting' and commercial soybean. **Environmental and Experimental Botany**, v.2, n. 61, p.145-151, 2007.
- GHOLIPOOR, M.; SINCLAIR, T.R.; PRASSAD, P.V.V. Genotypic variation within sorghum for transpiration response to drying soil. **Plant and Soil**, v.357, p.35-40, 2012.
- JYOSTNA DEVI, M.; SINCLAIR, T.R.; VALDEZ, V.; KRISHNAMURTHY, L. Peanut Genotypic variation in transpiration efficiency and decreased transpiration during progressive soil drying. **Field Crops Research**, v.114, p.280-285, 2009.
- LAGO, I.; STRECK, N.A.; ZANON, A.J.; BISOGNIN D.A.; SOUZA, A.T.; SILVA, M.R. Transpiração e crescimento foliar de plantas de mandioca em resposta ao déficit hídrico no solo. **Revista Brasileira de Pesquisa Agropecuária**, v.43, n.11, p.1415-1423, 2011.
- LAGO, I.; STRECK, N.A.; ZANON, A.J.; HANAUER, J.G.; BISOGNIN, D.A.; SILVA, M.R. Transpiração e crescimento foliar de clones de batata em resposta a fração de água transpirável no solo. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, v.36, n.3, p.746-754, 2012.
- LECOEUR, J.; SINCLAIR, R.T. Field pea transpiration and leaf growth in response to soil water deficits. **Crop Science**, v.36, n.2, p.331-335, 1996.
- MARTINS, F.B.; STRECK, N.A.; SILVA, J.C.; MORAIS, W.W.; SUSIN, F.; NAVROSKI, M.C.; VIVIAN, M.A. Deficiência hídrica no solo e seu efeito sobre transpiração, crescimento e desenvolvimento de mudas de duas espécies de eucalipto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, n.3, p.1297-1306, 2008.
- RAY, J.D.; GESCH, R.W.; SINCLAIR, T.R.; ALLEN, L.H. The effect of vapor pressure deficit on maize transpiration response to a drying soil. **Plant and Soil**, v.239, n.1, p.113-121, 2002.
- SCHOPPACH, R.; SADOK, W. Differential sensitivities of transpiration to evaporative demand and soil water deficit among wheat elite cultivars indicate different strategies for drought tolerance. **Environmental and Experimental Botany**, v.84, p.1-10, 2012.
- SIGMAPLOT, **Scientific Data Analysis and Graphing Software**. For windows, version 11.0. Systat Software. 2008.

SINCLAIR, T.R.; LUDLOW, M.M. Influence of soil water supply on the plant water balance of four tropical grain legumes. **Australian Journal Plant Physiology**, v.13, n.3, p.329-341, 1986.

SINCLAIR, T.R.; HOLBROOK, N.M.; ZWIENIECKI, M.A. Daily transpiration rates of woody species on drying soil. **Tree physiology**, v.25, n.11, p.1469-1472, 2005.

SOUZA, A.T.; STRECK, N.A.; HELDWEIN, A.B.; BISOGNIN, D.A.; WINCK, J.E.M.; ROCHA, T.S.M.; ZANON, A.J. Transpiration and leaf growth of potato clones in response to soil water deficit. **Scientia Agrícola**, v.71, n.2, p.96-104, 2014.

STRECK, N.A. Do we know how plants sense a drying soil? **Ciência Rural**, v.34, n.2, p.581-584, 2004.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 4.ed. Porto Alegre: Artmed, 2009. 848p.

VIANELLO, R.L.; ALVES, A.R. **Meteorologia básica e aplicações**. 2.ed. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 2012. 460p.

YANG, Z.; SINCLAIR, T.R.; ZHU, M.; MESSINA, C.D.M.; COOPER, M. Temperature effect on transpiration response of maize plants to vapour pressure deficit. **Environmental and Experimental Botany**, v.78, p.157-162, 2012.