

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM  
MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS**

**TRANSPIRAÇÃO E PARÂMETROS DE CRESCIMENTO E  
DESENVOLVIMENTO EM MUDAS DE ESPÉCIES FLORESTAIS  
SUBMETIDAS A DEFICIÊNCIA HÍDRICA.**

**MARCEL CARVALHO ABREU**

**ITAJUBÁ, MARÇO DE 2014**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM  
MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS**

**MARCEL CARVALHO ABREU**

**TRANSPIRAÇÃO E PARÂMETROS DE CRESCIMENTO E DESENVOLVIMENTO  
EM MUDAS DE ESPÉCIES FLORESTAIS SUBMETIDAS A DEFICIÊNCIA  
HÍDRICA.**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Meio Ambiente e Recursos Hídricos, como parte dos requisitos para obtenção do Título de Mestre em Ciências em Meio Ambiente e Recursos Hídricos.

Área de Concentração: Meio Ambiente e Recursos Hídricos

Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dra. Fabrina Bolzan Martins

**Março de 2013  
Itajubá - MG**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM  
MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS**

**MARCEL CARVALHO ABREU**

**TRANSPIRAÇÃO E PARÂMETROS DE CRESCIMENTO E DESENVOLVIMENTO  
EM MUDAS DE ESPÉCIES FLORESTAIS SUBMETIDAS A DEFICIÊNCIA  
HÍDRICA.**

Dissertação aprovada por banca examinadora em 10 de março de 2014, conferindo ao autor o título de *Mestre em Ciências em Meio Ambiente e Recursos Hídricos*.

**BANCA EXAMINADORA**

  
Dr<sup>a</sup>. Ângela Simone Freitag Lima  
1º Examinador – USP/ESALQ

  
Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Sâmia Regina Garcia Calheiros  
2º Examinador - UNIFEI

  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup>. Eliane Guimarães Pereira Melloni  
3º Examinador - (Co-Orientadora) - UNIFEI

  
Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Fabrina Bolzan Martins  
4º Examinador - (Orientadora) - UNIFEI

A Deus, por ter me dado força e coragem para chegar até aqui,

## **OFEREÇO**

À meus pais, pelo exemplo de amor e sacrifícios feitos em prol de meus estudos,  
Aos meus irmãos, pelo companheirismo durante toda a vida,

**DEDICO**

## AGRADECIMENTOS

A realização desse trabalho não seria possível sem a ajuda e apoio de diversas pessoas que fazem parte da minha existência. Por esse motivo, sou grato a todos!

Sou especialmente grato a professora Fabrina Bolzan Martins pelos ensinamentos valiosos, o incentivo e a confiança no trabalho e pela amizade demonstrada durante o período do mestrado. Também sou grato aos amigos Cleverson, Rodolfo e Jonas pela incansável ajuda e dedicação nos experimentos e por tornarem as cansativas medições em momentos de companheirismo e descontração. Formamos uma grande equipe que vai deixar muita saudade.

Agradeço a todos os professores com quem tive a oportunidade de aprender através das disciplinas e com a convivência, especialmente a professora Eliane Guimarães Pereira Melloni pelos ensinamentos e sugestões durante as diversas etapas desse trabalho, a professora Maria Inês Nogueira Alvarenga e a professora Sâmia Regina Garcia Calheiros pelos ensinamentos, sugestões e disposição em ajudar, principalmente no processo de qualificação.

Agradeço a Universidade Federal de Itajubá e ao programa de Mestrado em Meio Ambiente e Recursos Hídricos pela oportunidade de realização desse trabalho, e a todos os colegas e amigos, que ao longo do tempo acompanharam e incentivaram esse trabalho.

Aos meus pais Eugênio e Marília pela minha formação moral, pelo apoio incondicional, por todo o amor e carinho que me concederam durante toda a vida e por terem se privado de seus sonhos para que eu pudesse realizar os meus.

Aos meus irmãos Raul e Letícia pela parceria, pela intensa amizade, pelo auxílio nas horas de necessidade, pelos momentos mais que especiais que passamos juntos e por todo o amor durante toda minha vida.

Aos meus avôs Toninho e Raul (longe, mas perto) e avós Marilda e Zuza por cada palavra, oração, carinho e incentivo que sempre me fizeram tão bem.

Aos tios e tias, padrinhos e madrinhas, primos e primas por todo apoio, participação e companheirismo durante toda a vida.

Agradeço a minha namorada Lara pela paciência (que muitas vezes me faltou) e pela cumplicidade de sempre!

Aos amigos de infância, da Monkey Coffee, da Gato Vacilão, da República Copo Sujo (Lavras), da UFLA, da UNIFEI, do Pineapple F. C., do Bar dos 2, do bar do Matéia, do bar do Sinésio... Muito obrigado por fazerem parte do que eu sou!

Agradeço a Deus por ter me concedido a força que eu, até então, pensava que não tinha.

## RESUMO

ABREU, Marcel Carvalho. **Transpiração e parâmetros de crescimento e desenvolvimento em mudas de espécies florestais submetidas a deficiência hídrica no solo**. 2014. 80 f. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Instituto de Recursos Naturais, Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2014.

Quando a disponibilidade de água no solo é reduzida as plantas respondem diminuindo a taxa de transpiração, o crescimento e o desenvolvimento para racionalizar o consumo de água do solo. O objetivo desta dissertação foi quantificar a resposta da transpiração e sobre alguns parâmetros de crescimento (área foliar, altura e diâmetro) e desenvolvimento (número de folhas), em mudas de três espécies florestais submetidas a deficiência hídrica do solo, representada pela fração de água transpirável no solo (FATS). Para atingir esse objetivo, foram instalados dois experimentos em casa de vegetação, sendo um instalado na primavera/verão e outro no outono/inverno. Os experimentos foram conduzidos sob o delineamento inteiramente casualizado, organizado em esquema fatorial 3x2, sendo três espécies florestais (*Corymbia citriodora*, *Eucalyptus urophylla* e *Eucalyptus cloeziana*) dois regimes hídricos (com e sem deficiência hídrica) e nove repetições por tratamento. A FATS é a metodologia que mais se aproxima da real quantidade de água que a planta utiliza para a transpiração. Para o *Corymbia citriodora* o início da redução da transpiração, indicativo do fechamento estomático, ocorreu para a FATS crítica de 0,32 e 0,85, respectivamente para os dois experimentos. Para o *Eucalyptus urophylla* o início da redução da transpiração ocorreu para a FATS crítica de 0,40 e 0,88, respectivamente para os dois experimentos. Para o *Eucalyptus cloeziana* a FATS crítica onde ocorre a redução da transpiração foi de 0,84 e 0,99, respectivamente para os dois experimentos. Esses valores indicam que o *Corymbia citriodora* e *Eucalyptus urophylla* são mais tolerantes a deficiência hídrica no solo, enquanto o *Eucalyptus cloeziana* reduz a FATS a um conteúdo de água maior no solo, sendo mais sensível em detectar a deficiência hídrica. Quando os dados foram separados em dias com alta e baixa demanda evaporativa do ar, representada pelo déficit de pressão de vapor, houve diferença na FATS crítica que começa a afetar a transpiração para as três espécies florestais, para os dois experimentos. Os parâmetros de crescimento e desenvolvimento decresceram substancialmente após o início da deficiência hídrica no solo, antes ou muito próximo do momento em que houve redução da transpiração em ambos experimentos.

## ABSTRACT

ABREU, Marcel Carvalho. **Transpiration, growth and development parameters in seedlings of forest species under soil water deficit**. 2014. 80 f. Master of Science Dissertation (Master in Environment and Water Resources) – Natural Resources Institute, Federal University of Itajubá, 2014.

When soil water availability is reduced, plants respond to decreasing transpiration rate, growth and development to conserve soil water. The aim of this work was to quantify the response of transpiration, growth (leaf area, height and diameter) and development (number of leaves) parameters, in seedlings of tree forest species, subjected to soil water deficit, represented by the fraction of transpirable soil water (FTSW). To achieve this objective, two greenhouse experiments were conducted, one in the spring/summer and one in autumn/winter. The two experiments were carried out in a completely randomized design, arranged in a 3x2 factorial design, with three forest species (*Corymbia citriodora*, *Eucalyptus urophylla* and *Eucalyptus cloeziana*) and two water treatments (with and without water stress) and nine replicates for each treatment. The FTSW is the methodology that most closely approximates the real amount of water that the plant uses to transpiration. The threshold FTSW that starts to affect transpiration, which is an indicator of stomata closure for *Corymbia citriodora*, was for 0.32 and 0.85, respectively for the two experiments. The threshold FTSW for *Eucalyptus urophylla*, was 0.40 and 0.88, respectively for the two experiments. And the threshold FTSW for *Eucalyptus cloeziana*, was 0.84 and 0.99, respectively for the two experiments. These values indicate that the *Corymbia citriodora* and *Eucalyptus urophylla* are more tolerant to soil water deficit, while the *Eucalyptus cloeziana* reduces FTSW to a higher soil water content, being most sensitive to water deficiency. When the analysis were separated in days with high and low vapor pressure deficit, there was a difference in the threshold FTSW to affect transpiration for the forest species, in two of the experiments. The parameters of growth and development decreased substantially after beginning of soil water deficit, before transpiration was affected by reduction of soil water in both experiments.

## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 - Representação esquemática dos dois estágios considerados na metodologia da FATS em função da redução do conteúdo de água do solo. Adaptado de Sinclair e Ludlow (1986). ..... 15
- Figura 2 - Aspecto geral do experimento em casa de vegetação, durante o crescimento e desenvolvimento de três espécies florestais, antes da aplicação da deficiência hídrica no solo. Itajubá, MG, 2012/2013. .... 18
- Figura 3 - A) Aspecto geral do experimento durante a aplicação da deficiência hídrica nas espécies *Corymbia citriodora* e *Eucalyptus urophylla* (janeiro/fevereiro 2013) B) Aspecto geral do experimento durante a aplicação da deficiência hídrica na espécie *Eucalyptus cloeziana* (março 2013). Itajubá, MG, 2013. .... 19
- Figura 4 - Termômetro de mínima de álcool (a frente) e termômetro de máxima de mercúrio (ao fundo) no E1 (painel A) e termômetro de mínima de álcool (a frente) e termômetro de máxima de mercúrio (ao fundo), juntamente com o termohigrógrafo utilizados no E2 (painel B), em casa de vegetação. Itajubá, MG, 2013. .... 24
- Figura 5 - Temperaturas máximas (▲), médias (■) e mínimas (▼) diárias do ar, em °C, (A e B), umidade relativa do ar (C e D) e déficit de pressão de vapor do ar (DPV) diário (E, F) para o *Eucalyptus urophylla*. Os painéis A, C e E referem-se ao E1 e os painéis B, D e F referem-se ao E2. A linha pontilhada nos painéis E e F representa a divisão dos dias de baixa e alta DPV. Itajubá, MG, 2013. .... 27
- Figura 6 - Temperaturas máximas (▲), médias (■) e mínimas (▼) diárias do ar em °C (A e B), umidade relativa do ar (C e D) e déficit de pressão de vapor do ar (DPV) diário às 15 horas (E, F) para o *Eucalyptus cloeziana*. Os painéis A, C e E referem-se ao E1 e os painéis B, D e F referem-se ao E2. A linha pontilhada nos painéis E e F representa a divisão dos dias de baixa e alta DPV. Itajubá, MG, 2013. .... 28
- Figura 7 - Transpiração relativa normalizada (TR), em função da fração de água transpirável no solo (FATS), para as espécies *Eucalyptus urophylla* (A e C) e *Eucalyptus cloeziana* (B e D), nos dois experimentos. Itajubá, MG, 2013. Os painéis A e B refere-se ao E1 e os painéis C e D referem-se ao E2. .... 31
- Figura 8 - Transpiração relativa normalizada (TR) em função da fração de água transpirável no solo (FATS) em dias de baixa e alta demanda evaporativa do ar para o *Eucalyptus urophylla* em dois experimentos (E1 e E2) em casa de vegetação. Itajubá, MG, 2013. Os painéis A e C referem-se aos dias de baixa demanda evaporativa do ar no E1 e no E2, respectivamente e os painéis B e D referem-se aos dias de alta demanda evaporativa do ar no E1 e no E2, respectivamente. .... 34

- Figura 9 - Transpiração relativa normalizada (TR) em função da fração de água transpirável no solo (FATS) em dias de baixa e alta demanda evaporativa do ar para o *Eucalyptus cloeziana* em dois experimentos (E1 e E2) em casa de vegetação. Itajubá, MG. 2013. Os painéis A e C referem-se aos dias de baixa demanda evaporativa do ar no E1 e no E2, respectivamente e os painéis B e D referem-se aos dias de alta demanda evaporativa do ar no E1 e no E2, respectivamente. .... 35
- Figura 10 - Número de folhas (NF), área foliar (AF), altura (h) e diâmetro (d) normalizados em função da fração de água transpirável no solo (FATS), para as espécies *Eucalyptus urophylla* (A, C, E e G) e *Eucalyptus cloeziana* (B, D, F e H), no primeiro experimento de deficiência hídrica Itajubá, MG, 2013. .... 40
- Figura 11 - Número de folhas (NF), área foliar (AF), altura (h) e diâmetro (d) normalizados em função da fração de água transpirável no solo (FATS), para as espécies *Eucalyptus urophylla* (A, C, E e G) e *Eucalyptus cloeziana* (B, D, F e H), no segundo experimento de deficiência hídrica Itajubá, MG, 2013. .... 42
- Figura 12 - Temperaturas máximas (▲), médias (■) e mínimas (▼) diárias do ar, em °C, (A e B), umidade relativa do ar (C e D) e déficit de pressão de vapor do ar (DPV) diário (E, F) para o *Corymbia citriodora*. Os painéis A, C e E referem-se ao E1 e os painéis B, D e F referem-se ao E2. As linhas pontilhadas nos painéis E e F representam a divisão dos dias de baixa e alta DPV. Itajubá, MG, 2013..... 46
- Figura 13 – Transpiração relativa (TR), número de folhas (NF), área foliar (AF), altura (h) e diâmetro (d) normalizados em função da fração de água transpirável no solo (FATS), para o *Corymbia citriodora*, nos dois experimentos. Itajubá, MG, 2013. Os painéis A, C, E, G e I referem-se a E1 e os painéis B, D, F, H e J referem-se a E2. .... 51
- Figura 14 - Transpiração relativa normalizada (TR) em função da fração de água transpirável no solo (FATS) em dias de baixa e alta demanda evaporativa do ar para o *Corymbia citriodora* em dois experimentos (E1 e E2) em casa de vegetação. Itajubá, MG. 2013. Os painéis A e C referem-se aos dias de baixa demanda evaporativa do ar no E1 e no E2, respectivamente e os painéis B e D referem-se aos dias de alta demanda evaporativa do ar no E1 e no E2, respectivamente. .... 54
- Figura 15 - Aspecto das plantas do T1, sem deficiência hídrica e plantas do T2, com deficiência hídrica, no ultimo dia de experimento, para as espécies *Corymbia citriodora* (painel A), *Eucalyptus urophylla* (Painel B) e *Eucalyptus cloeziana* (Painel C). Itajubá, MG, 2013..... 58

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Datas de ocorrência dos eventos relacionados aos dois experimentos (E1 e E2) para as espécies florestais <i>E. urophylla</i> e o <i>E. cloeziana</i> , em casa de vegetação. Itajubá, MG, 2012/2013.....	25
Tabela 2 - Temperatura máxima média do ar (Tmax), temperatura mínima média do ar (Tmin), temperatura média do ar (Tmed), umidade relativa média do ar (UR) e déficit de pressão de vapor médio (DPV), dos dois experimentos (E1 e E2). Itajubá, MG, 2012/2013.....	26
Tabela 3 - Transpiração inicial (TRi), final (TRf) e total (TRt) e consumo médio diário de água para as espécies <i>Eucalyptus urophylla</i> e <i>Eucalyptus cloeziana</i> e para os dois regimes hídricos (sem deficiência hídrica -T1 e com deficiência hídrica -T2), nos dois experimento (E1 e E2). Itajubá, MG, 2013. ....	29
Tabela 4 - Biomassa seca inicial e final (radicular, aérea e total) para as espécies <i>Eucalyptus urophylla</i> e <i>Eucalyptus cloeziana</i> nos dois experimentos (E1 e E2). Itajubá, MG, 2013.....	37
Tabela 5 - Parâmetros de desenvolvimento (NF) e de crescimento (AF, h e d) médios mensurados no início e no final do período de imposição da deficiência hídrica, para as espécies <i>Eucalyptus urophylla</i> e <i>Eucalyptus cloeziana</i> nos dois experimentos (E1 e E2). Itajubá, MG, 2013.....	39
Tabela 6 - Eficiência no uso da água para duas espécies de eucalipto submetidas a deficiência hídrica no solo nos dois experimentos de deficiência hídrica. Itajubá, MG, 2013.....	44
Tabela 7 - Temperatura máxima média do ar (Tmax), temperatura mínima média do ar (Tmin), temperatura média do ar (Tmed), umidade relativa média do ar (UR) e déficit de pressão de vapor médio (DPV), dos dois experimentos (E1 e E2). Itajubá, MG, 2013.....	45
Tabela 8 - Biomassa seca radicular, aérea e total inicial e final para o <i>Corymbia citriodora</i> nos dois experimentos referentes a aplicação da deficiência hídrica, Itajubá, MG, 2013. ....	47
Tabela 9 - Parâmetros de desenvolvimento (NF) e de crescimento (AF, h e d) médios mensurados no início e no final do período de imposição da deficiência hídrica, para o <i>Corymbia citriodora</i> nos dois experimentos (E1 e E2). Itajubá, MG, 2013. ....	48
Tabela 10 - Transpiração inicial (TRi), final (TRf) e total (TRt) e consumo médio diário de água do <i>Corymbia citriodora</i> , submetidos aos tratamentos sem deficiência hídrica (T1) e com deficiência hídrica (T2), nos dois experimentos (E1 e E2). Itajubá, MG, 2013.....	49
Tabela 11 - Biomassa seca inicial e final (radicular, aérea e total) para as espécies <i>Corymbia citriodora</i> , <i>Eucalyptus urophylla</i> e <i>Eucalyptus cloeziana</i> nos dois experimentos (E1 e E2). Itajubá, MG, 2013.....	55
Tabela 12 - Transpiração inicial (TRi), final (TRf) e total (TRt), consumo médio diário de água e eficiência do uso de água (EUA) das espécies <i>Corymbia citriodora</i> , <i>Eucalyptus urophylla</i> e <i>Eucalyptus cloeziana</i> , submetidos aos tratamentos sem deficiência hídrica (T1) e com deficiência hídrica (T2), nos dois experimentos (E1 e E2). Itajubá, MG, 2013.....	56

Tabela 13 - Valores de FATS crítica para a transpiração relativa (TR), número de folhas (NF), área foliar (AF), altura (h) e diâmetro (d), para três espécies florestais submetidas a deficiência hídrica no solo, em dois experimentos. Itajubá, MG, 2013. ....	58
------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----

**LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

- ABA – Ácido abscísico  
ABRAF – Associação Brasileira de Florestas Plantadas  
AF – Área foliar  
AMS – Associação Mineira de Silvicultura  
CAD – Capacidade de armazenamento de água disponível  
CC – Capacidade de campo  
Cmax – Maior comprimento da folha  
DPV – Déficit de pressão de vapor  
d – Diâmetro do caule ao nível do solo  
E1 – Experimento 1  
E2 – Experimento 2  
EM – Eficiência do modelo  
EUA – Eficiência no uso da água  
f – fator de forma da folha  
FAD – Fração de água disponível  
FATS – Fração de água transpirável no solo  
h – Altura da haste principal  
INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais  
Lmax – Maior largura da folha  
NF – número de folhas na haste principal  
PMP – Ponto de murcha permanente  
QTA – Quantidade total de água armazenada no solo  
SBS – Sociedade Brasileira de Silvicultura  
T1 – Tratamento sem deficiência hídrica  
T2 – Tratamento com deficiência hídrica  
Tmax – Temperatura máxima média do ar  
Tmed – Temperatura média média do ar  
Tmin – Temperatura mínima média do ar  
TR – Transpiração relativa  
TRi - Transpiração inicial (no primeiro dia de experimento)  
TRf – Transpiração final (no último dia de experimento)  
TRt – Transpiração total (total de água transpirada durante o experimento)  
UNIFEI – Universidade Federal de Itajubá  
UR – Umidade relativa do ar  
 $\Psi$  – Potencial hídrico

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	1
2. OBJETIVOS.....	3
2.1. Objetivo geral.....	3
2.2. Objetivos específicos.....	3
3. REVISÃO DE LITERATURA.....	3
3.1 Características do setor florestal brasileiro.....	3
3.2. A água e as respostas do déficit hídrico em plantas.....	6
3.2.1. Redução da área foliar.....	8
3.2.2. Modificações no sistema radicular.....	9
3.2.3 Fechamento estomático.....	10
3.2.4. Senescência e abscisão foliar precoce.....	11
3.2.5 Redução da altura e diâmetro.....	11
3.2.6. Alteração na eficiência do uso da água.....	12
3.3. Quantificação do conteúdo de água no solo.....	12
3.3.1. Quantidade total de água armazenada (QTA).....	13
3.3.2. Capacidade de armazenamento de água disponível (CAD).....	13
3.3.3. Fração de água disponível no solo (FAD).....	14
3.3.4. Fração de água transpirável no solo (FATS).....	14
3.3.5. Possível influência da demanda evaporativa do ar sobre a FATS.....	15
4. MATERIAL E MÉTODOS.....	17
4.1. Localização e descrição do protocolo experimental.....	17
4.2. Aplicação e quantificação da deficiência hídrica.....	19
4.3. Parâmetros de crescimento e desenvolvimento mensurados e eficiência do uso da água.....	20
4.4. Normalização dos parâmetros de crescimento e desenvolvimento e ajuste da equação logística.....	22
4.5. Variáveis meteorológicas.....	23
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	25
5.1. Espécies do gênero <i>Eucalyptus</i> sp.....	25
5.1.1. Análises referentes a transpiração.....	28
5.1.2. Análises referentes a biomassa e parâmetros de crescimento e desenvolvimento.....	36
5.1.3. Eficiência no uso da água para duas espécies de <i>Eucalyptus</i> .....	43
5.2. <i>Corymbia citriodora</i> .....	45
5.3 Análise comparativa entre as três espécies florestais.....	54
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	59
7 CONCLUSÕES.....	60
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	61

## 1. INTRODUÇÃO

O aumento da área ocupada por plantios florestais no Brasil, em especial por espécies do gênero *Eucalyptus* sp., tem sido resultado da demanda por produtos como papel e celulose, madeira industrializada, madeira processada mecanicamente, siderurgia, carvão vegetal, biomassa entre outros (ABRAF, 2013; REZENDE et al., 2013). Esse aumento coloca o Brasil em posição de destaque mundial como um dos principais países produtores florestais (CASTRO et al., 2011; CASTRO et al., 2012), totalizando 6.664.812 ha ocupados por plantios florestais, onde 76,6% dessa área corresponde, somente, a plantios de diferentes espécies de eucalipto (ABRAF, 2013).

Minas Gerais é o maior produtor florestal do Brasil, principalmente de eucalipto, com área plantada de 1.438.971 ha, que equivale aproximadamente 22,3% da área nacional. Dentre as características que contribuem para que o eucalipto se destaque entre os gêneros florestais no Brasil estão: o rápido crescimento, a alta produtividade, sua razoável adaptação a diferentes condições climáticas, além de possuir características silviculturais desejáveis como tronco retilíneo, bom rendimento, facilidade para trabalho em programas de melhoramento genético, entre outras (MORA; GARCIA, 2000; SILVA; 2011; REZENDE et al., 2013).

Nesse cenário de crescimento do setor florestal e de aumento da demanda por produtos de origem florestal, é fundamental o desenvolvimento de pesquisas que relacionem o crescimento e desenvolvimento da planta com as variáveis meteorológicas, a fim de garantir o sucesso na implantação da floresta.

A água no estado líquido é um dos principais fatores ambientais que afetam o crescimento e desenvolvimento da maioria das espécies vegetais, incluindo espécies florestais como o eucalipto (SILVA et al., 2004; MARTINS et al., 2008). Uma pequena redução no conteúdo de água disponível pode afetar negativamente o crescimento e desenvolvimento de plantas (MARENCO; LOPES, 2009; SHAO et al., 2009 LAGO et al., 2012), e conseqüentemente a produtividade das culturas em qualquer fase do ciclo. Outro fator de grande importância a se considerar, é a demanda evaporativa do ar que está diretamente relacionada as trocas gasosas da planta, as quais referem-se, principalmente, a fotossíntese e a transpiração e tem influência direta no crescimento e desenvolvimento das plantas. No entanto, a demanda evaporativa do ar é pouco considerada em estudos que relacionam os genótipos e deficiência hídrica no solo (WELCKER et al., 2011).

Existem diversas metodologias que quantificam o conteúdo de água no solo e consequentemente a deficiência hídrica no solo, sendo as principais a quantidade total de água armazenada (QTA), a capacidade de armazenamento de água disponível (CAD), a fração de água disponível (FAD) e a fração de água transpirável no solo (FATS) (CARLESSO, 1995; LAGO et al., 2012). Atualmente, a FATS tem sido bastante utilizada, pois parece ser a metodologia mais precisa como indicador da quantidade real de água que a planta utiliza para o processo da transpiração (MARTINS et al., 2008; BIMPONG et al., 2011; LAGO et al., 2012). No conceito da FATS, assume-se que o conteúdo de água no solo utilizado pela planta para a transpiração varia entre o conteúdo de água no solo na capacidade de campo e o conteúdo de água no solo quando a transpiração relativa é igual a 10% da máxima (SINCLAIR; LUDLOW, 1986; MARTINS et al., 2008; CELETTE et al., 2013).

Para a determinação da FATS são considerados três estágios distintos em relação ao conteúdo de água no solo e o grau de hidratação das plantas (SINCLAIR; LUDLOW, 1986), sendo relevante os dois estágios iniciais (MARTINS et al., 2008). O primeiro estágio ocorre quando a água está totalmente disponível no solo e a condutância estomática e a transpiração são máximas. O segundo estágio ocorre quando o conteúdo de água no solo é reduzido e a transpiração e condutância estomática diminuem em consequência da deficiência hídrica (SINCLAIR; LUDLOW, 1986; MARTINS et al., 2008; LAGO et al., 2012). O terceiro estágio ocorre quando as plantas já estão senescidas e, mesmo com a adição de água no solo, não conseguem recuperar a pressão de turgor nos tecidos, não havendo mais transpiração, nem condutância estomática, sendo a água perdida somente pela condutância epidérmica, fato este que reduz a relevância do terceiro estágio (SINCLAIR; LUDLOW, 1986).

O limiar entre o primeiro e o segundo estágio é chamado de FATS crítica, onde as plantas iniciam o fechamento estomático para racionar o consumo da água, mantendo um conteúdo de água disponível no solo por mais tempo (SINCLAIR; LUDLOW, 1986). A FATS crítica não é influenciada pelo tipo de solo (SINCLAIR et al., 2005), exceto em solos extremamente arenosos ou artificiais. Porém, a demanda evaporativa do ar pode afetar os valores de FATS crítica, uma vez que em condições de alto déficit de pressão de vapor (DPV), o fluxo de água do solo para a planta aumenta para suprir a perda de água para a atmosfera devido a transpiração. Esse fato poderia resultar em maior valor para a FATS crítica, mesmo com considerável conteúdo de água no solo, uma vez que o limiar volumétrico de água no qual a transpiração começa a reduzir é resultado do equilíbrio do teor de água no sistema solo-planta-atmosfera (RAY et al., 2002).

Existem poucos estudos que quantificam as respostas das plantas quando submetidas a deficiência hídrica no solo através da FATS, principalmente em mudas de espécies florestais, o que constituiu o incentivo para a realização desta dissertação. A escolha em trabalhar com mudas se deve ao fato de ser a fase em que as plantas estão mais susceptíveis a deficiência hídrica no solo (SILVA et al., 2004). Além disso, a FATS pode ser utilizada como parâmetro para a seleção de genótipos mais tolerantes a seca, fato importante em tempos em que muito se discute sobre a escassez de água em diversas regiões do planeta e também é utilizada em modelos de simulação de culturas (ALBERTO et al., 2006).

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. Objetivo geral**

Quantificar a resposta da transpiração e parâmetros de crescimento e desenvolvimento em três espécies florestais submetidas a deficiência hídrica no solo.

### **2.2. Objetivos específicos**

Determinar a FATS em que as espécies florestais começam a ter a transpiração e os parâmetros de crescimento e desenvolvimento reduzidos;

Avaliar a influência da demanda evaporativa do ar sobre a FATS crítica nas espécies florestais;

Avaliar a eficiência no uso da água nas três espécies florestais;

Comparar as respostas das três espécies florestais quanto a tolerância ao estresse hídrico no solo.

## **3. REVISÃO DE LITERATURA**

### **3.1 Características do setor florestal brasileiro**

O setor florestal brasileiro caracteriza-se pela diversidade de produtos, englobando diversas atividades relacionadas desde a produção até a transformação no produto final. Esses produtos são destinados aos segmentos industriais de papel e celulose, painéis de madeira

industrializada, madeira processada mecanicamente, siderurgia, carvão vegetal e biomassa, entre outros (ABRAF, 2013). Esses produtos contribuem para o superávit da balança comercial (0,5% da arrecadação nacional em 2013), geração de empregos, além de investimentos em programas de inclusão social, educação e meio ambiente, consolidando o setor florestal brasileiro como indutor de desenvolvimento econômico e social do país (SBS, 2008; ABRAF, 2013). Existem três grandes grupos de produtores florestais: os produtores independentes, que visam a comercialização do produto florestal em tora como fonte de renda; as empresas Timber Investment Management Organizations (TIMOs), que atuam como reflorestadoras independentemente do mercado; e as empresas verticalizadas, que são as principais produtoras e consumidoras da matéria prima florestal (CARVALHO et al., 2000; ABRAF, 2013).

O gênero *Eucalyptus* sp. L' Hér é um dos gêneros florestais que possuem maior importância econômica e por essa razão é amplamente introduzido em praticamente todos os continentes (STAPE et al., 2004). É cultivado em grande escala pelas suas características favoráveis como: rápido crescimento, grande incremento, facilidade de manejo, diversidade de espécies e atendimento a uma ampla gama de propósitos industriais (BERNARDI et al., 2012). É originário do continente australiano e região indo-malaia e distribuídas entre as altitudes de 30 m a 2.000 m e latitudes de 13° à 44°Sul (MARCHIORI; SOBRAL, 1997).

No Brasil, a área plantada com eucalipto é bastante expressiva, totalizando 6.664.812 ha (ABRAF, 2013), que faz o país ocupar o 3° lugar no ranking mundial no mercado de madeira para serraria (CASTRO et al., 2012), e o 4° lugar no mercado de celulose (CASTRO, 2011). Minas Gerais é o maior produtor de eucalipto do Brasil com uma área plantada de, aproximadamente, 1.438.971 ha espalhadas em todas as regiões do estado, destacando-se como um dos principais estados produtores de lenha, moveis, óleo essencial, resina, além de ser o maior produtor e consumidor de carvão vegetal do país e ter uma das maiores áreas plantadas via fomento florestal (SBS, 2008). Esses números contribuem para a geração de cerca de 507.128 empregos, sendo 126.782 empregos diretos (AMS, 2013).

Embora existam mais de 720 espécies catalogadas (PARRA-O et al., 2006), o plantio comercial de eucalipto é restrito a poucas espécies, sendo principalmente cultivados o *Corymbia citriodora*, *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus saligna*, *Eucalyptus urophylla*, *Eucalyptus camaldulensis*, além do uso de clones e híbridos (MORA; GARCIA, 2000; SILVA, 2011). Outras espécies são consideradas potenciais e a introdução das mesmas no Brasil ainda é recente. O *Eucalyptus cloeziana* é uma dessas espécies consideradas potenciais e foi recentemente introduzida no Brasil, há cerca de 30 anos (NAVROSKI et al., 2010).

A espécie *Corymbia citriodora* (Hook.) Hill & Johnson, popularmente conhecida como cheiroso, citriodora, ou mesmo eucalipto citriodora, era descrita como uma espécie pertencente ao gênero *Eucalyptus* sp. Porém, devido a sua filogenia e a todas as análises (morfológica, DNA nuclear e DNA plasmidial), recentemente está sendo considerada como uma das 113 espécies do gênero *Corymbia* K.D. Hill & L.A.S. Johnson (PARRA-O et al., 2006). Além das excelentes características da madeira para serraria (BERNARDI et al., 2012), o *Corymbia citriodora* é a principal produtora do óleo essencial para fins industriais, muito explorado no Brasil. O óleo essencial é extraído das folhas e utilizado por diversas indústrias para a produção de perfumes, produtos de limpeza, entre outros, devido a sua composição a base de citronela (MORA; GARCIA, 2000; VITTI; BRITO, 2003).

Já a espécie *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake, possui madeira de boa qualidade, crescimento rápido e considerável (MORA; GARCIA, 2000) sendo bastante utilizada no melhoramento genético, principalmente para a formação de híbridos devido a sua plasticidade genética (MORA; GARCIA, 2000). Sua principal característica é a resistência ao cancro, doença que ocorre em todas as regiões tropicais e subtropicais, o que é desejável na formação de híbridos resistentes a essa doença (ALFENAS et al., 2009). A sua hibridização com a espécie *Eucalyptus grandis* tem ganhado bastante atenção e os plantios desse híbrido são cada vez mais comuns.

O *Eucalyptus cloeziana* F. Muell tem ganhado destaque nos últimos anos por apresentar determinadas características interessantes para alguns setores florestais. A espécie possui madeira com boa durabilidade natural, densidade relativamente alta e alto teor de carbono fixo (SANTOS et al., 2002). Essas características tornam a espécie apta para usos como serraria e carvão (ALMEIDA, 2007). Embora a implantação da espécie no Brasil seja recente, a sua produtividade tem sido satisfatória e diversos estudos e pesquisas com a espécie tem sido realizados.

Apesar da produção relativamente alta do mercado brasileiro, a demanda por produtos florestais é crescente (BAESSO et al., 2010; PEREIRA, et al., 2012) e para suprir a necessidade do mercado, é necessário o plantio de mudas de boa qualidade (DIAS et al., 2011; SILVA et al., 2012). A produção de mudas de espécies florestais sempre despertou interesse de instituições de ensino e pesquisa, empresas e produtores florestais, principalmente quando o objetivo é a identificação do melhor método para a produção de mudas (SILVA et al., 2012), além do eficiente estabelecimento das mudas no campo. No entanto, poucos estudos têm relacionado parâmetros de crescimento e desenvolvimento com variáveis

meteorológicas, as quais influenciam diretamente no sucesso da implantação e no estabelecimento de plantios florestais.

### **3.2. A água e as respostas do déficit hídrico em plantas**

Todos os processos fisiológicos da célula são direta ou indiretamente afetados pelo fornecimento de água às plantas. As atividades metabólicas e o crescimento celular estão associados ao teor de água no protoplasma (MARENCO; LOPES, 2011). Como constituinte, a água compreende a maior parte da massa das células vegetais, representando 50% da massa fresca nas plantas lenhosas e cerca de 80 a 95% nas plantas herbáceas, sendo necessária como reagente no metabolismo vegetal, no transporte e translocação de solutos, na turgescência celular, na abertura e fechamento dos estômatos e na penetração do sistema radicular (TAIZ; ZIEGER, 2009). Além disso, é responsável pela forma e estrutura dos órgãos e essencial para o crescimento e desenvolvimento das culturas (LARCHER, 2000), sejam elas anuais ou perenes (CARLESSO; SANTOS, 1999; MARTINS et al., 2008). É o melhor e o mais abundante solvente que se conhece, pois permite o transporte de moléculas e sais minerais na célula e entre as células (PIMENTEL, 2004; MORENO-FONSECA, 2009).

Através do processo de transpiração, as plantas dissipam o calor proveniente da radiação solar para a atmosfera, mantendo a temperatura dos tecidos em padrões apropriados ao metabolismo das plantas (MORENO-FONSECA, 2009; TAIZ; ZEIGER, 2009). A transpiração é a perda de água a partir da superfície da planta e ocorre em qualquer órgão ou parte da planta, embora o principal órgão envolvido seja a folha. Os estômatos das folhas são células epidérmicas modificadas que estão em contato direto com a atmosfera, estando relacionadas a saída de água (transpiração) e trocas gasosas (APPEZZATO-DA-GLÓRIA; CARMELLO-GUERREIRO, 2006). Por meio dos estômatos 90% da água é perdida pela transpiração e os 10% restantes são atribuídos a transpiração cuticular e epidérmica (MARENCO; LOPES, 2009).

A quantidade de água transpirada por uma planta depende da disponibilidade de água no solo e na atmosfera, além das características morfológicas da planta (CARLESSO ZIMMERMANN, 2000; TAIZ; ZEIGER, 2009). Como a transpiração é um processo de difusão e sua intensidade depende do potencial hídrico da superfície transpirante e da atmosfera (MARENCO; LOPES, 2009), é comum considerar a demanda evaporativa do ar através do déficit de pressão de vapor (DPV), que é uma variável que expressa o conteúdo de vapor de água presente na atmosfera, dada em unidade de pressão, em um determinado

instante. Por esse motivo, a taxa de transpiração oscila durante o dia e entre os dias, de acordo com as variáveis meteorológicas que compõe a atmosfera local. Nesse caso, a transpiração tende a aumentar, conforme aumenta a diferença entre o DPV da folha e da atmosfera, e diminuir, conforme diminui a diferença de DPV entre a folha e a atmosfera (RAY et al., 2002), considerando-se ainda que existem diferenças significativas entre as espécies no comportamento da transpiração (GILBERT et al., 2011; YANG et al., 2012).

Portanto, uma oferta de água para as plantas inferior à demanda evaporativa do ar, pode resultar em uma situação de déficit hídrico (WELCKER et al., 2011), onde as plantas podem responder negativamente em pequenos ou maiores intervalos de tempo, como segundos, minutos ou horas (BRAY, 1997), na tentativa de resistir ao déficit hídrico (CARLESSO, 1995; SHAO et al., 2009).

Quando a disponibilidade de água no solo é reduzida, as plantas respondem em diferentes níveis como, morfológico, fisiológico, metabólico e celular, e a resposta das plantas depende de cada genótipo (espécie, cultivar e variedade), da duração e da severidade do déficit hídrico (DEVI et al., 2009; WELCKER et al., 2011). Alguns processos morfofisiológicos são acentuadamente afetados, enquanto outros são menos perceptíveis (SANTOS; CARLESSO, 1998; MARENCO; LOPES, 2009).

Os principais efeitos negativos da deficiência hídrica no solo são a paralização e até mesmo redução do crescimento e desenvolvimento (SANTOS; CARLESSO, 1998; MARENCO; LOPES, 2009). O crescimento é, talvez, o mais afetado pela deficiência hídrica, pois é um processo que depende diretamente do aumento do volume celular o qual é gerado pelo aumento da pressão de turgescência celular (TAIZ; ZEIGER, 2009). Em outras palavras, o crescimento das células só ocorre quando a pressão de turgescência celular é maior do que a pressão limite de resistência da parede celular (SHAO et al., 2008). Além disso, em situação de déficit hídrico no solo as plantas fecham seus estômatos, na tentativa de conservar a água, realoca-la para as funções básicas, visando garantir sua sobrevivência e para uso em períodos posteriores (SANTOS; CARLESSO, 1998). Como consequência, as plantas reduzem suas trocas gasosas (transpiração e assimilação de CO<sub>2</sub> para a realização da fotossíntese). Esses fatores aliados são os responsáveis pela redução da produtividade e da qualidade da produção (MARENCO; LOPES 2009; SHAO et al., 2009; WELCKER et al., 2011).

Existem numerosas citações que indicam que as principais estratégias de aclimação das plantas a uma situação hídrica adversa são a inibição do crescimento da área foliar, expansão do sistema radicular, o fechamento estomático e a aceleração da senescência e abscisão foliar (MORENO-FONSECA, 2009; TAIZ; ZEIGER, 2009; MARENCO; LOPES,

2009). Outras consequências a nível morfológico são a redução da altura e do diâmetro, variáveis biofísicas importantes (SHAO et al., 2008; SHAO et al., 2009; PEREIRA et al., 2010).

Outra consequência que a deficiência hídrica no solo pode causar é a alteração na assimilação de carbono (biomassa seca), devido à utilização da água apenas para funções básicas dos vegetais como a transpiração, o que pode alterar a eficiência no uso da água da planta.

### *3.2.1. Redução da área foliar*

A folha é o órgão da planta responsável pelo balanço entre a saída de água pela transpiração e as trocas gasosas. Devido ao alto calor latente da água, as plantas são capazes de manter a temperatura dos seus tecidos em padrões apropriados ao metabolismo, mesmo quando há absorção de grande quantidade de radiação solar (MARENCO; LOPES, 2009; MORENO-FONSECA, 2009). É, portanto, através do processo da transpiração, no qual cerca de 97% de toda a água absorvida pela planta é transpirada através das folhas, restando 3% para suprir o crescimento, desenvolvimento, a fotossíntese e outros processos, que as plantas mantem um equilíbrio térmico de seus tecidos (TAIZ; ZEIGER, 2009).

Em situações de déficit hídrico há redução do conteúdo de água na planta e, como resposta, as células contraem-se e as paredes celulares afrouxam (TAIZ; ZEIGER, 2009). Esse decréscimo de volume celular resulta em menor pressão de turgor e a perda de solutos pelas células, o que afeta a expansão celular, o qual é um processo extremamente sensível ao déficit hídrico, assim como todas as atividades dependentes do conteúdo de água nas células (LARCHER, 2000; SHAO et al., 2008).

A redução da expansão celular provoca a redução do crescimento foliar e, conseqüentemente, a diminuição da área foliar (AF) em resposta precoce adaptativa ao déficit hídrico (TAIZ; ZEIGER, 2009). Uma AF menor transpira menos devido ao menor contato da folha com o ambiente, conservando efetivamente um suprimento de água limitado no solo por um maior período de tempo. Dessa forma, a redução da área foliar pode ser considerada a primeira linha de defesa da planta contra o déficit hídrico no solo (LARCHER, 2000; MARENCO; LOPES, 2009; TAIZ; ZEIGER, 2009).

A AF também está relacionada com o desenvolvimento de folhas (NF), portanto, a taxa de aparecimento de novas folhas também é afetada negativamente pela deficiência hídrica do solo (LECOEUR; GUILIONI, 1998). A redução da AF também traz conseqüências negativas para o vegetal, uma vez que, as trocas gasosas e a produção de fotoassimilados

estão relacionadas com a superfície foliar que intercepta a radiação solar. Uma menor superfície foliar é indicativo de menor difusão de CO<sub>2</sub> e, uma conseqüente redução na taxa de fotossíntese. Sendo assim, a produção da cultura pode ser afetada de maneira significativa, embora a redução da AF seja uma importante linha de defesa contra a deficiência hídrica (TAIZ; ZEIGER, 2009; LAGO et al., 2011).

### *3.2.2. Modificações no sistema radicular*

A distribuição e tamanho das raízes são importantes para a eficiente absorção de água no solo e para o estabelecimento das plantas em condições de deficiência hídrica. De acordo com Taiz e Zeiger (2009), as raízes tem seu crescimento garantido à medida que a demanda por fotoassimilados for suprida pela parte aérea, assim como a parte aérea crescerá desde que não exista restrição quanto à absorção de água pelas raízes.

Em situação de déficit hídrico no solo há um desbalanceamento nesse equilíbrio devido à menor absorção de água pelas raízes. Nesse caso, a planta passa a priorizar o aprofundamento do sistema radicular visando explorar um maior volume de solo em busca de água (SHAO et al., 2008; MARENCO; LOPES, 2009), através do controle do ácido abscísico (ABA) que, em condições hídricas desfavoráveis, promove o crescimento das raízes e inibe o crescimento da parte aérea (TAIZ; ZEIGER, 2009). No entanto, o crescimento radicular depende dos açúcares produzidos através fotossíntese e da demanda desses fotoassimilados pela planta, o que gera uma competição no qual a planta passa a priorizar uma ou outra atividade metabólica, de acordo com a sua fase de desenvolvimento. Por exemplo, na fase de frutificação em condições hídricas ideais, os fotoassimilados são destinados prioritariamente para a formação dos frutos e não para promover o crescimento radicular (TAIZ; ZEIGER, 2009). Essa competição por fotoassimilados explica o motivo da diferença entre a sensibilidade das plantas ao déficit hídrico em diferentes estágios de desenvolvimento, sendo o estágio de frutificação o mais sensível a deficiência hídrica (LAGO, 2011).

As modificações no sistema radicular tendem à procura de regiões úmidas do solo. Como as camadas superficiais do solo secam de maneira mais rápida, há redução do sistema radicular superficial, devido a perda da turgescência celular e há um aumento das raízes apicais em direção as camadas de solo mais profundas e úmidas (TAIZ; ZEIGER, 2009). Assim, o aumento das raízes apicais pode ser considerado a segunda linha de defesa das plantas contra a seca (TAIZ, ZEIGER, 2009; LAGO, 2011).

As raízes também são consideradas por muitos pesquisadores o principal órgão pelo qual as plantas detectam a deficiência hídrica no solo, principalmente devido aos sinais

químicos provocados pelo ácido abscísico (STRECK, 2004). O ABA pode aumentar a sua concentração em até 50 vezes quando o vegetal está em condições de deficiência hídrica e provocar o fechamento estomático, além de promover o aumento do sistema radicular e a redução do crescimento da parte aérea (efeitos dependentes das condições hídricas da planta) (TAIZ; ZEIGER, 2009). O ABA está envolvido no processo de aclimação das plantas a diferentes tipos de estresse, seja o estresse hídrico, salino, térmico, mineral, entre outros, sendo livremente transportado das raízes até as folhas, quando há deficiência hídrica no solo (MORENO-FONSECA, 2009; TAIZ; ZEIGER, 2009).

### 3.2.3 *Fechamento estomático*

A abertura e o fechamento dos estômatos são controlados pela luminosidade (MARENCO; LOPES, 2009) e pela quantidade de água presente nas células-guarda (TAIZ; ZEIGER, 2009), que são células localizadas na epiderme foliar. Em caso de deficiência hídrica no solo, mesmo apresentando condições de luminosidade ideal, as células-guarda perdem turgor como resultado de uma perda direta de água para a atmosfera (LARCHER, 2000) e modulam a abertura e o fechamento estomático (TAIZ; ZEIGER, 2009). De forma simplificada, o controle da perda de água através da transpiração é realizado através dos estômatos que se fecham para conservar a água da planta, o que constitui um importante mecanismo de aclimação, principalmente quando a deficiência hídrica ocorre de maneira rápida (YANG et al., 2012). Assim, o fechamento estomático é considerado uma terceira linha de defesa da planta em situação de déficit hídrico no solo (TAIZ; ZEIGER, 2009).

O controle do fechamento estomático é feito a partir do estado hídrico das células do mesófilo que, quando se desidratam, provocam duas reações: primeiramente libera todo o ABA armazenado no cloroplasto para o apoplasto, chegando até as células-guarda através do fluxo de transpiração; e no segundo, o ABA, que pode circular livremente via xilema, é estimulado e transportado das raízes até as folhas, desencadeando o fechamento estomático (SHAO et al., 2008). O aumento linear na concentração de ABA nas extremidades das raízes em função da seca no solo já foi comprovado em diversas culturas, embora outros mecanismos possam estar envolvidos no fechamento dos estômatos (JACOBSEN et al., 2008).

O fluxo de vapor de água da folha para a atmosfera é diretamente influenciado pelo DPV (GILBERT et al., 2011; WELCKER et al., 2011). Portanto, o fechamento estomático ocorre mais eficientemente em situação de alta demanda evaporativa do ar (alto DPV), na tentativa de equilibrar a perda de água por transpiração e o fluxo de água para as células-

guarda dos estômatos (YANG et al., 2012). Esses fatos sustentam a ideia de muitos pesquisadores que sinais hidráulicos na folha são os responsáveis pelo mecanismo no qual as plantas detectam a deficiência hídrica no solo. Streck (2004) cita alguns estudos no qual o fechamento estomático de plantas com deficiência hídrica pode ser revertida através da aplicação de pressão nas raízes, manipulando-se apenas o potencial hídrico das folhas. Os autores desses estudos argumentam que existe uma falha no transporte de ABA quando as plantas estão em situação de estresse hídrico devido a cavitação, o que não seria suficiente para provocar o fechamento dos estômatos somente pelo ABA.

#### *3.2.4. Senescência e abscisão foliar precoce*

A senescência pode ser antecipada em decorrência de uma deficiência hídrica severa. Normalmente, ela só ocorreria próxima a fase de maturação no desenvolvimento da cultura (SANTOS; CARLESSO, 1998; SHAO et al., 2008). A produção do hormônio etileno é consideravelmente maior em situação de estresse hídrico, o que promove a abscisão das folhas (TAIZ; ZEIGER, 2009).

Com o desenvolvimento vegetal paralisado devido à deficiência hídrica no solo, a abscisão foliar acaba ocasionando um número menor de folhas quando consideramos um desenvolvimento normal, ajustando a área foliar às condições de deficiência hídrica no solo (a área foliar de uma planta é o produto do número de folhas e da área de superfície de cada folha). Sendo assim, há uma redução na área foliar total da planta e na transpiração foliar, uma vez que as plantas economizam água para períodos posteriores (SANTOS; CARLESSO, 1998; SHAO et al., 2008).

#### *3.2.5 Redução da altura e diâmetro*

A altura e o diâmetro são variáveis de crescimento muito utilizadas em plantios florestais para determinação do volume de madeira estocado na área de plantio, determinação do índice de sítio, crescimento da planta, entre outros fins. No caso de mudas, essas duas variáveis de crescimento são constantemente avaliadas em estudos que visam a produção de mudas de qualidade e como indicador de sobrevivência e estabelecimento da muda no campo (CALDEIRA et al., 2000).

A altura e o diâmetro, assim como a área foliar, também são dependentes do turgor celular (TAIZ; ZEIGER, 2009). Dessa maneira, uma pequena diminuição do conteúdo de água na planta, afeta o potencial do turgor da célula reduzindo o volume e a expansão celular, a formação da parede celular e ainda reduzindo a disponibilidade de carboidratos ou

influenciando a produção de hormônios reguladores do crescimento (GONÇALVES; PASSOS, 2000). Verifica-se em sistemas bem irrigados, que ocorre aumento do crescimento em decorrer do tempo, ao contrário do que ocorre em sistemas onde há deficiência hídrica no solo, onde o crescimento pode apresentar taxas negativas (PEREIRA et al., 2010).

A redução do crescimento em altura e diâmetro em decorrência da deficiência hídrica do solo pode caracterizar a perda da qualidade da muda e prejudicar o pleno estabelecimento da muda no campo. Esses fatores afetam negativamente o sucesso da implantação da floresta.

### *3.2.6. Alteração na eficiência do uso da água*

A eficiência no uso da água (EUA) ou coeficiente de transpiração (CT) é um indicador que fornece a relação entre carbono assimilado e o volume de água transpirado, ou seja, fornece o desempenho na produção de biomassa. De forma simplificada, a EUA é a quantidade de água necessária para a produção de 1Kg de massa seca e depende indiretamente de fatores fisiológicos da espécie, das condições edafoclimáticas e diretamente das condições hídricas (SILVA et al., 2004; SHAO et al., 2008; 2009; MARENCO; LOPES, 2009).

Em situação de deficiência hídrica no solo, a redução no crescimento pode ocasionar menor assimilação de carbono (SHAO et al., 2008; 2009), devido ao fechamento estomático e a redução das trocas gasosas da planta. Nesse caso, plantas em situação de deficiência hídrica no solo tendem a economizar água através das linhas de defesa citadas anteriormente, produzindo menor quantidade de biomassa seca, porém obtendo uma maior eficiência no uso da água, ou seja, produzindo mais biomassa seca, consumindo menor quantidade de água (LI et al., 2000). O conhecimento acerca da EUA para as espécies de interesse pode auxiliar na seleção de genótipos mais eficientes a determinadas condições hídricas, a fim de adquirir uma produtividade desejada (SILVA et al., 2004).

### **3.3. Quantificação do conteúdo de água no solo**

O conteúdo de água no solo pode ser mensurado por várias metodologias, sendo que cada uma apresenta vantagens e desvantagens. As principais metodologias para quantificar a água no solo são (CARLESSO, 1995; CARLESSO; ZIMMERMANN, 2000): quantidade total de água armazenada (QTA), capacidade de armazenamento de água disponível (CAD), fração de água disponível (FAD). Além dessas, existe a metodologia dada fração de água transpirável no solo (FATS), a qual está sendo bastante utilizada para tal finalidade (LAGO et

al., 2012). Por meio dessas metodologias pode-se determinar a ocorrência de déficit hídrico no solo (MARTINS et al., 2008).

### 3.3.1. *Quantidade total de água armazenada (QTA)*

A QTA é a maneira tradicional de quantificar o conteúdo de água no solo. Refere-se ao conteúdo de água no solo compreendido entre a capacidade de campo (CC) e o ponto de murcha permanente (PMP) (CARLESSO, 1995). A CC é definida como a quantidade de água retida por um determinado tipo de solo após a drenagem do excesso de água advindo de chuva ou irrigação (REICHARDT; TIMM, 2004). O PMP é o conteúdo de água no solo retido a um componente matricial do potencial de água tão elevado, tal que, a maioria das plantas não consegue extrair água do solo e, em decorrência desse fato, as plantas murcham de maneira permanente e não recuperam o turgor das células, mesmo quando colocadas em ambientes saturados (SANTOS; CARLESSO, 1998; REICHARDT; TIMM, 2004).

Essa metodologia de quantificação da água no solo está sujeita a críticas devido, principalmente, ao valor teórico do PMP definido como -1,5 MPa. Este valor teórico subestima o PMP em solos arenosos e siltosos e superestima em solos francos e argilosos (CARLESSO, 1995). Além disso, o crescimento e o desenvolvimento das plantas são afetados antes mesmo que seja atingido o PMP, assim como algumas culturas podem apresentar capacidades distintas em tolerar o déficit hídrico e retirar água no solo a potenciais mais negativos que -1,5 MPa (CARLESSO; ZIMMERMANN, 2000). Outro fato importante é que a metodologia da QTA leva em consideração apenas a profundidade do sistema radicular, desconsiderando a densidade radicular (MANSON et al., 1983 apud CARLESSO, 1995).

### 3.3.2. *Capacidade de armazenamento de água disponível (CAD)*

A CAD consiste na diferença de conteúdo de água entre os limites superior e inferior, levando-se em consideração cada camada do perfil do solo explorado pelo sistema radicular das plantas (REICHARDT; TIMM, 2004). Supera o conceito da QTA porque leva em consideração a combinação solo-cultura. O limite superior é definido como a CC de acordo com o tipo de solo, enquanto o limite inferior é considerado quando as plantas estão completamente senescidas (CARLESSO, 1995).

O uso desta metodologia é inviável em estudos com espécies florestais, uma vez que os limites devem ser determinados a campo, em condições ótimas de crescimento da cultura, além de considerar a profundidade efetiva do sistema radicular, sendo que torna-se difícil devido ao tamanho das raízes (MARTINS, 2007).

### 3.3.3. Fração de água disponível no solo (FAD)

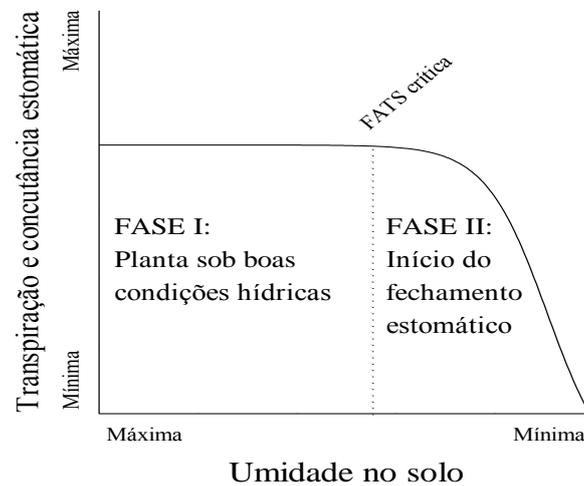
Esta metodologia consiste na razão entre a quantidade atual de água, ou seja, o conteúdo de água volumétrico das camadas do solo explorado pelo sistema radicular em um dia específico, e a quantidade potencial de água no solo (SANTOS; CARLESSO, 1998; MARTINS, 2007). É bastante utilizada, pois depende somente da taxa de uso da água da cultura e das propriedades do solo, além de ser determinada facilmente nas culturas no campo (RITCHIE et al., 1972 apud CARLESSO, 1995). No entanto, apresenta como desvantagem o fato de nem toda a água disponível no solo ser extraída pela planta (CARLESSO, 1995).

### 3.3.4. Fração de água transpirável no solo (FATS)

A FATS é uma metodologia proposta por Sinclair e Ludlow (1986), sendo a que mais se aproxima da real quantidade de água presente no solo que é extraível pelas plantas (MARTINS et al., 2008; LAGO et al., 2012) e, por este motivo, vem sendo utilizada tanto em trabalhos com espécies agrícolas e ornamentais, quanto em espécies perenes (LECOEUR; GUILIONI, 1998; BINDI et al., 2005; CASADEBAIG et al., 2008; MARTINS et al., 2008; BIMPONG et al., 2011; LAGO et al., 2012). Na FATS, assume-se que o conteúdo de água utilizado pela planta para a transpiração varia entre o conteúdo de água no solo na capacidade de campo, quando a transpiração é máxima, e o conteúdo de água no solo quando a transpiração relativa (TR) é 10% da transpiração máxima (SINCLAIR; LUDLOW, 1986; MUCHOW; SINCLAIR, 1991; BINDI et al., 2005; MARTINS et al., 2008; LAGO et al., 2011).

Na metodologia da FATS são consideradas três estágios distintos de hidratação das plantas em relação à redução do conteúdo de água no solo, porém os dois primeiros são os mais importantes (SINCLAIR; LUDLOW, 1986; MUCHOW; SINCLAIR, 1991; BINDI et al., 2005) (Figura 1). O estágio I ocorre quando a água está disponível livremente no solo, a planta não tem deficiência hídrica e sua condutância estomática e transpiração são máximas, ou seja, o conteúdo de água transpirável no solo não limita a condutância estomática e a transpiração. Nesse estágio os valores de FATS são máximos. No estágio II a água disponível no solo começa a decrescer, a planta reduz sua condutância estomática e a taxa de transpiração proporcionalmente a redução da FATS, a fim de manter o balanço hídrico e a turgescência celular (SINCLAIR; LUDLOW, 1986; BINDI et al., 2005). Portanto, o limiar do estágio I e II é considerado a FATS crítica, onde ocorre o início do fechamento estomático e redução da transpiração. No estágio III os estômatos estão completamente fechados e a perda

de água para a atmosfera se dá apenas por condutância epidérmica, e não mais pela condutância estomática (SINCLAIR; LUDLOW, 1986).



**Figura 1** - Representação esquemática dos dois estágios considerados na metodologia da FATS em função da redução do conteúdo de água do solo. Adaptado de Sinclair e Ludlow (1986).

Deve-se ressaltar que o valor da FATS crítica não é influenciado pelo tipo de solo, com exceção de solos muito arenosos ou artificiais, onde a perda de água por percolação no perfil pode ser fator preponderante para que ocorra uma variação no valor onde a transpiração começa a decrescer (SINCLAIR et al., 2005). Além disso, é interessante avaliar as condições da demanda evaporativa do ar na quantificação da FATS crítica. Estudos apontaram diferentes respostas em plantas submetidas a diferentes condições de demanda evaporativa do ar. Portanto, a hipótese de que a demanda evaporativa influencia na FATS crítica deve ser considerada e testada (LAGO et al., 2011; YANG et al., 2012).

### 3.3.5. Possível influência da demanda evaporativa do ar sobre a FATS

O fluxo de água no sistema solo-planta-atmosfera (SSPA) ocorre de acordo com a diminuição do potencial hídrico ( $\psi$ ), ou seja, a água move-se espontaneamente do maior potencial em direção ao menor potencial (TAIZ; ZEIGER, 2009). Entretanto, o movimento da água através do SSPA é comandado pelas características do solo e da atmosfera. Com relação as características da atmosfera, altas temperaturas e baixo teor de umidade no ar aumentam o DPV, tornando o potencial hídrico da folha mais negativo que o da raiz, o que tende a intensificar a transpiração e aumentar o fluxo de água do solo para a atmosfera (LARCHER, 2000; MARENCO; LOPES, 2009; GILBERT et al., 2011; YANG et al., 2012). Portanto, o

teor de umidade no ar também pode influenciar na taxa de transpiração, embora o verdadeiro efeito dessa variável ainda não esteja completamente esclarecido. Acredita-se que a baixa umidade do ar provoca o fechamento estomático a fim de evitar perdas significativas de água para a atmosfera (MARENCO; LOPES, 2009).

Ray et al. (2002) testaram a hipótese de que a transpiração e, conseqüentemente a FATS crítica, são diferentes em condições de demanda evaporativa do ar distintas (alto e baixo DPV), ou seja, se em condições de alta demanda evaporativa do ar (alto DPV) há um aumento na taxa de transpiração das plantas, conseqüentemente, o valor da FATS crítica seria maior. No entanto, em híbridos de milho submetidos a quatro níveis de DPV (11, 20, 29 e 36 hPa), Ray et al. (2002), não encontraram diferenças significativas na FATS crítica entre os diferentes tratamentos de DPV, não confirmando sua hipótese inicial. Pellegrino et al. (2006) em estudo com uva, também não encontraram mudanças na FATS crítica com o aumento do DPV. Já Yang et al. (2012), trabalhando com quatro híbridos de milho, confirmou que o milho limita a transpiração em função do aumento da temperatura em condições de alta demanda evaporativa. Trabalhos com outras espécies comprovaram o aumento da transpiração com o aumento da demanda evaporativa do ar. Fletcher et al. (2007), Gholipoor et al. (2010), Gilbert et al. (2011), Lago et al. (2011) e Lago et al. (2012), detectaram diferenças na FATS crítica para soja, sorgo, mandioca e batata, respectivamente, em função da alta ou baixa demanda evaporativa do ar. Esses estudos corroboram que a demanda evaporativa do ar pode influenciar na transpiração de espécies vegetais e, conseqüentemente, na FATS crítica, muito embora essa hipótese tenha sido raramente considerada em análises sobre deficiência hídrica no solo (WELCKER et al., 2011).

Esses estudos ressaltam a diversidade de respostas da transpiração nas espécies, uma vez que, em alguns genótipos há o aumento linear e proporcional da transpiração com o aumento do DPV, e em outros existe um ponto de quebra no aumento da transpiração, de maneira que a transpiração não mais aumenta proporcionalmente ao DPV. Outro fato a se ressaltar é que as condições de temperatura e/ou umidade no qual esses estudos foram realizados foram controladas. Nesse estudo, a diferença no DPV foi considerada devido as diferenças nos padrões de temperatura e umidade relativa do ar, nas diferentes épocas de realização dos experimentos (primavera/verão e outono/inverso).

## 4. MATERIAL E MÉTODOS

### 4.1. Localização e descrição do protocolo experimental

Foram instalados dois experimentos na casa de vegetação da Universidade Federal de Itajubá, Minas Gerais (UNIFEI) (22°30' latitude sul, 45°27' longitude oeste e 850 metros de altitude). O primeiro experimento (E1) foi conduzido entre a primavera e o verão de 2012/2013, enquanto o segundo experimento (E2) foi conduzido entre o outono e o inverno de 2013. As diferentes épocas no qual os experimentos foram conduzidos tiveram como objetivo abranger diferentes condições meteorológicas a fim de verificar possíveis diferenças na resposta da transpiração e de parâmetros de crescimento e desenvolvimento a deficiência hídrica. Ambos os experimentos foram instalados sob o delineamento inteiramente casualizado, organizado em esquema fatorial 3x2, sendo constituído por três espécies florestais (*Corymbia citriodora* Hill & Johnson (antigamente denominado *Eucalyptus citriodora* Hook), *Eucalyptus urophylla* S.T. Blake e *Eucalyptus cloeziana* F. Muell), dois tratamentos relacionados ao regime hídrico (T1 = sem deficiência hídrica, com irrigação e T2 = com deficiência hídrica, sem irrigação), e nove repetições para cada tratamento, totalizando 54 unidades experimentais.

No E1 a semeadura foi realizada no dia 05/10/2012, com ressemeadura no dia 19/10/2012. A ressemeadura foi realizada devido a emergência desuniforme nas três espécies. A semeadura do E2 foi realizada no dia 29/04/2013. Para a semeadura foram utilizadas sementes certificadas, limpas e com percentual mínimo de germinação de 85%.

Cada unidade experimental foi composta por um vaso plástico com capacidade de 8 litros, preenchidos com horizonte A moderado de um Latossolo Vermelho distrófico típico, coletado em Itajubá, MG. O solo coletado pertence a classe textural argiloso, com acidez elevada onde o pH em água foi de 5,0 e a quantidade de cálcio e magnésio trocável foi considerada muito baixa, segundo a Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais (CFSEMG, 1999). O teor de fósforo, potássio, cálcio, magnésio e de micronutrientes foram considerados baixos ou muito baixos e o solo foi corrigido de acordo com a 5ª Aproximação (CFSEMG, 1999), a partir de análises laboratoriais do solo. Para corrigir a acidez foi feito o cálculo de calagem e foram adicionados 8,213g de carbonato de cálcio e 4,106g de carbonato de magnésio em cada unidade experimental. Também foram adicionados 10,18g de fosfato super simples (18%), 0,3083g de cloreto de potássio (60%) e 0,205g de

sulfato de amônia (60%) para corrigir as deficiências nutricionais do solo. A aplicação dos insumos foi feita com antecedência mínima de 15 dias da data de semeadura.

A partir da emergência das plântulas, foram feitos raleios periódicos de aproximadamente 50%, em todas as unidades experimentais, até restarem duas plantas por vaso, as quais foram identificadas por fio metálico colorido. Portanto, cada unidade experimental foi constituída de um vaso de 8 litros preenchido com solo corrigido, com duas mudas das espécies florestais.

Os vasos foram dispostos aleatoriamente em uma bancada metálica com 70 cm de altura do chão, distantes, aproximadamente, 20 cm entre eles e próximos ao mini abrigo meteorológico. Os vasos foram envoltos com papel jornal para evitar maior incidência de radiação solar e o consequente aumento da temperatura do solo, o que poderia constituir uma fonte de erro experimental (MARTINS et al., 2008) (Figura 2). A cada 15 dias foram realizadas novas aleatorizações na posição dos vasos a fim de diminuir as possíveis interferências externas no crescimento e desenvolvimento.

Não houve restrição quanto à suplementação hídrica durante o crescimento e desenvolvimento inicial das plantas e a deficiência hídrica só foi aplicada quando as plantas atingiram a fase de muda, ou seja, quando acumularam, em média, 20 e 25 folhas na haste principal (MARTINS et al., 2008; MARTINS et al., 2012).

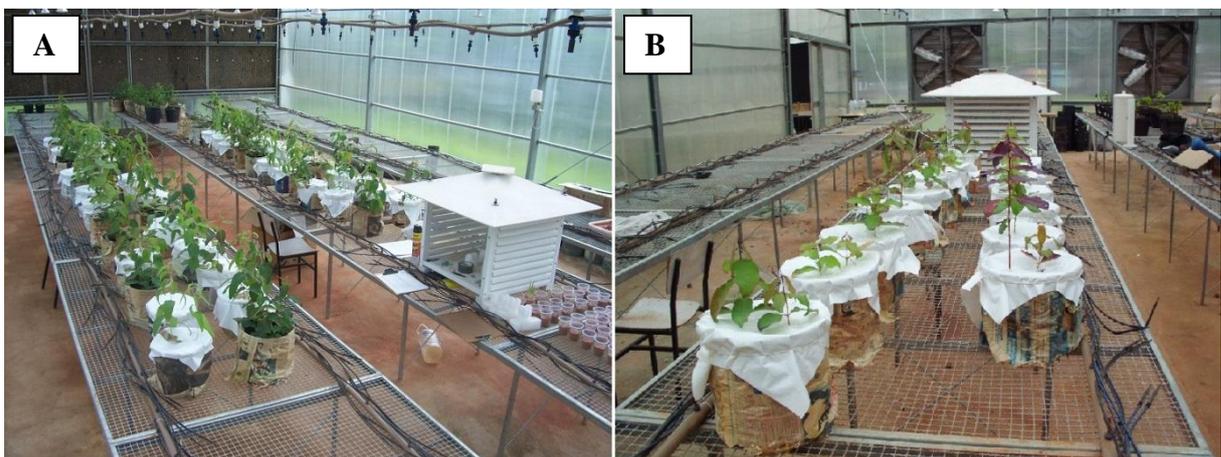


**Figura 2** - Aspecto geral do experimento em casa de vegetação, durante o crescimento e desenvolvimento de três espécies florestais, antes da aplicação da deficiência hídrica no solo. Itajubá, MG, 2012/2013.

## 4.2. Aplicação e quantificação da deficiência hídrica

Para quantificar a transpiração e os parâmetros de crescimento e desenvolvimento das mudas das três espécies florestais submetidas à deficiência hídrica, foi utilizada a metodologia da fração de água transpirável no solo (FATS), proposta por Sinclair e Ludlow (1986) e utilizada em diversos estudos em culturas anuais e perenes (RAY et al., 2002; BINDI et al., 2005; CASADEBAIG et al., 2008; MARTINS et al., 2008; GHOLIPOOR et al., 2012; LAGO et al., 2012).

A deficiência hídrica foi imposta durante a fase de muda, quando as espécies florestais apresentaram, em média, 20 a 25 folhas acumuladas na haste principal (MARTINS et al., 2008). Para isso, todos os vasos foram saturados com água e deixados drenar por no mínimo 24 horas, até atingirem a capacidade de campo (condição na qual ocorre a máxima transpiração) e pesados para determinar o peso inicial (CATHEY et al., 2013). Logo após a saturação, todos os vasos foram cobertos com filme plástico de coloração branca, com o objetivo de minimizar a perda de água pela evaporação do solo (SINCLAIR; LUDLOW, 1986) e quantificar somente a água utilizada para a transpiração das plantas (Figura 3). A partir de então foi aplicada a deficiência hídrica nos vasos do T2, os quais não foram mais irrigados até o final do experimento.



**Figura 3** - A) Aspecto geral do experimento durante a aplicação da deficiência hídrica nas espécies *Corymbia citriodora* e *Eucalyptus urophylla* (janeiro/fevereiro 2013) B) Aspecto geral do experimento durante a aplicação da deficiência hídrica na espécie *Eucalyptus cloeziana* (março 2013). Itajubá, MG, 2013.

Para determinar a perda diária de água todos os vasos foram pesados diariamente ao final do período vespertino. Logo após a pesagem, 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 do mesmo vaso (peso referente ao primeiro dia da imposição da deficiência hídrica no solo). 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 mesmo vaso no dia anterior, sem adição de qualquer conteúdo de água até o fim do experimento (MARTINS et al., 2008 LAGO et al., 2011).

O término do experimento foi considerado quando a transpiração relativa (TR) de todos os vasos do T2 foi igual ou inferior a 10% da TR dos vasos do T1. Assume-se que quando a TR está abaixo de 10% da máxima, os estômatos estão totalmente fechados e a perda de água pela planta se dá apenas pela condutância epidérmica e não mais pela condutância estomática (SINCLAIR; LUDLOW, 1986; LECOEUR; SINCLAIR, 1996). O valor de TR foi obtido pela expressão (SINCLAIR; LUDLOW, 1986; PELLEGRINO et al., 2006; GHOLIPOOR et al., 2012):

$$TR = \frac{\text{perda diária de água das plantas do T2 (cada vaso)}}{\text{perda média diária de água pelas plantas do T1}} \quad (1)$$

A FATS foi calculada para cada vaso do T2, durante o período de duração da deficiência hídrica, através da expressão (SINCLAIR; LUDLOW, 1986; DEVI et al., 2009; SCHOPPACH; SADOK, 2012):

$$FATS = \frac{\text{peso de cada vaso em cada dia} - \text{peso final}}{\text{peso inicial de cada vaso} - \text{peso final}} \quad (2)$$

O peso final é o peso do vaso quando a transpiração relativa (TR) atingiu 10%, ou seja, no último dia do experimento.

Durante a condução do experimento na E2 uma das unidades experimentais do T1 referente ao *Eucalyptus cloeziana*, foi perdida e não fez parte das análises estatísticas.

### **4.3. Parâmetros de crescimento e desenvolvimento mensurados e eficiência do uso da água**

Foram mensuradas as variáveis referentes aos parâmetros de crescimento: altura da planta (h), diâmetro do caule ao nível do solo (d) e a área foliar (AF) e o parâmetro de desenvolvimento: número de folhas na haste principal (NF). Essas variáveis foram medidas semanalmente, a partir do surgimento de 2 folhas visíveis na haste principal, e diariamente, a

partir do primeiro dia de imposição da deficiência hídrica. Foram consideradas folhas visíveis as que possuíam comprimento do limbo de no mínimo 1 cm (MARTINS et al., 2012). As medições do NF, h e d foram feitas nas duas plantas de cada vaso, e o valor final desses parâmetros foi considerado como a média dos valores das duas plantas. A AF foi mensurada em apenas uma planta de cada vaso, pelo fato de não haver instrumento específico para medição, além de se tratar de uma medição exaustiva.

Para a obtenção da área foliar foram mensurados o comprimento máximo (Cmax) e a largura máxima (Lmax) de todas as folhas da planta de cada vaso. Os produtos obtidos pela multiplicação de Cmax e Lmax foram corrigidos por um fator de forma (f) específico de cada espécie. A área foliar total de cada vaso foi obtida pelo somatório da área foliar de todas as folhas mensuradas.

O f foi obtido pelo método da “pesagem de impressões” proposto por Barros et al. (1973). O método consiste em recortar impressões em papel e comparar o seu peso com o de figura de áreas conhecidas, utilizando o mesmo material (REIS et al., 1980). Foram amostradas 150 folhas de tamanhos e formas variadas de plantas cultivadas externamente ao experimento, para as três espécies florestais. Utilizou-se papel A4, cuja as medidas são conhecidas (dimensões de 210 mm x 29,7mm) para a pesagem de impressões. Portanto, a AF foi calculada pela expressão:

$$AF = C_{max} \cdot L_{max} \cdot f \quad (3)$$

em que Cmax = comprimento máximo da folha (cm); Lmax = a largura máxima da folha (cm) e f = fator de forma da folha (adimensional, sendo o valor de f para o *Corymbia citriodora* de 0,72, para *Eucalyptus urophylla* de 0,68 e para o *Eucalyptus cloeziana* de 0,67).

Foram determinadas a biomassa seca inicial e final do sistema radicular, da parte aérea e total (soma da biomassa radicular e aérea) de todas as plantas em estufa de circulação forçada de ar a 65°C. Para a obtenção da biomassa inicial, foram sorteados três vasos do T1 antes da imposição da deficiência hídrica e seu valor foi considerado como a média aritmética dos três vasos. Após o término de cada experimento, foi determinada a biomassa final do sistema radicular, da parte aérea e total em todos os vasos de cada tratamento.

A partir dos dados de biomassa seca inicial e final foi possível calcular a eficiência no uso da água (EUA) para as três espécies, nos dois experimentos, através da equação (SILVA et al., 2004):

$$EUA = \frac{\text{total de água transpirada em cada tratamento}}{\text{biomassa final de cada vaso} - \text{biomassa inicial}} \quad (4)$$

A EUA representa a quantidade de água, em litros, necessária para a produção de 1 Kg de biomassa ( $L H_2O Kg$  de massa seca<sup>-1</sup>) (SILVA et al., 2004). É um indicador utilizado para a comparação do uso de água entre plantas.

#### 4.4. Normalização dos parâmetros de crescimento e desenvolvimento e ajuste da equação logística

As variáveis TR, NF, AF, h e d foram submetidas a duas normalizações, sendo a primeira para que seus valores permanecessem entre o intervalo de 0 e 1 e a segunda normalização para reduzir as variações causadas pelas diferenças no crescimento das duas plantas de cada vaso (SINCLAIR; LUDLOW, 1986; RAY; SINCLAIR, 1997; SCHOPPACH; SADOK, 2012).

A primeira normalização foi obtida pela expressão (MARTINS et al., 2008):

$$Vn_1 = \frac{VTR10\% - Vdia}{VTR10\% - Vinicial} \quad (5)$$

em que  $Vn_1$  = variável normalizada (TR, NF, AF, h, d) referente a primeira normalização,  $VTR10\%$  = valor da variável quando TR é 10%,  $Vdia$  = valor da variável no dia da medição e  $Vinicial$  = valor da variável no primeiro dia da imposição da deficiência hídrica.

Para a segunda normalização encontrou-se um valor de FATS acima do qual a TR e as variáveis de crescimento e desenvolvimento foram constantes e próximas a 1, assumindo que as plantas estavam sob ótima suplementação hídrica. Neste estudo foi considerada uma FATS de valor de 0,55. A segunda normalização foi obtida pela expressão (LAGO et al., 2011; LAGO et al., 2012):

$$Vn_2 = \frac{Vn_1}{\overline{Vn_1 \text{ com FATS} \geq 0,55}} \quad (6)$$

em que  $Vn_2$  = variável referente a segunda normalização (TR, NF, AF, h, d),  $Vn_1$  = variável referente a primeira normalização,  $\overline{Vn_1}$  = média dos valores da variável referente a primeira normalização em dias com  $FATS \geq 0,55$ .

Para obter o valor exato da FATS crítica, onde a TR, NF, AF, h e d são reduzidos, foi necessário ajustar uma equação logística das variáveis obtidas pela segunda normalização em função da FATS.

$$Y = \frac{a}{1 + \exp(-(X - b)/c))} \quad (7)$$

em que  $Y$  é a variável dependente referente a segunda normalização ( $Vn_2$ ),  $X$  é a variável independente (FATS) e  $a$ ,  $b$  e  $c$  são coeficientes da equação logística.

O ajuste da equação logística foi realizado no software Sigmaplot, versão 11.0 (SYSTAT SOFTWARE, 2008) e as estatísticas utilizadas para avaliar o desempenho das equações foram: eficiência do modelo ( $Em$ ) e erro padrão da estimativa ( $Syx$ ). A  $Em$  foi utilizada por ser mais adequada na avaliação de equações não lineares, dado por (SOUZA et al., 1998):

$$Em = 1 - \left[ \frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2}{\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y}_i)^2} \right] \quad (8)$$

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 observados.

O  $Syx$  é dado por (SCHNEIDER, 1998):

$$S_{yx} = \sqrt{QM_{res}} \quad (9)$$

em que o  $QM_{res}$  é o quadrado médio do resíduo.

#### 4.5. Variáveis meteorológicas

Durante todo o período de duração dos experimentos foram obtidos diariamente os dados de temperatura mínima e temperatura máxima do ar com o auxílio de um termômetro de álcool e de mercúrio, respectivamente (Figura 4A). Os termômetros foram instalados no interior de um mini abrigo meteorológico de madeira, pintado de branco, localizado no interior da casa de vegetação, ao lado do experimento.

Além da temperatura do ar foram obtidos dados da demanda evaporativa do ar através do déficit de pressão de vapor (DPV), para caracterizar melhor as condições meteorológicas do experimento. O DPV foi obtido indiretamente pela diferença entre a quantidade de vapor presente na atmosfera totalmente saturada de vapor de água ( $e_s$ ) e a quantidade de vapor de água presente na atmosfera no momento considerado ( $e_a$ ). O DPV foi obtido através das expressões (VIANELLO; ALVES, 2012):

$$e_s = 4,5810 \cdot 10^{\left[ \frac{7,5t_{med}}{237,5+t_{med}} \right]} \quad (11)$$

$$e_a = \frac{(UR \cdot e_s)}{100} \quad (12)$$

$$DPV = e_s - e_a \quad (13)$$

em que:  $e_s$  = pressão de saturação de vapor (mmHg),  $e_a$  = pressão parcial de vapor de água (mmHg), DPV = déficit de pressão de vapor, UR = umidade relativa (%),  $t_{med}$  é a temperatura média do ar, em (°C), obtida pela média aritmética das temperaturas mínima e máxima do ar obtidas pelos termômetros instalados no interior do mini abrigo meteorológico.

Como no E1 não havia um instrumento próprio para a obtenção da UR, os dados de UR foram obtidos a partir da estação meteorológica automática (EMA), pertencente ao Instituto de Pesquisas Espaciais (INPE), localizada a aproximadamente 300 metros da casa de vegetação. Como a E1 ocorreu no período chuvoso do sul de MG, admitiu-se diferença mínima na UR entre o interior e o exterior da casa de vegetação (M.P. CORRÊA, comunicação pessoal). Já no E2 fez-se uso do termohigrógrafo para obtenção dos dados de UR (Figura 4B).

Para reforçar o uso da UR a partir da EMA foi realizada uma mini validação entre os dados de UR média obtidos através da EMA e os dados do termohigrógrafo no período do E2, além de dados coletados em dias entre a semeadura e a aplicação da deficiência hídrica também no solo do E2. Foram analisados 32 dias ( $n > 30$ ) e a validação dos dados foi feita através da comparação de médias pelo teste 't' ( $\alpha=0,05$ ) onde a hipótese nula ( $H_0$ ) testada foi a de similaridade entre as médias de UR da EMA e do termohigrógrafo. A hipótese nula foi rejeitada reforçando as condições de UR dentro e fora da casa de vegetação foram diferentes no E2.



**Figura 4** - Termômetro de mínima de álcool (a frente) e termômetro de máxima de mercúrio (ao fundo) no E1 (painel A) e termômetro de mínima de álcool (a frente) e termômetro de máxima de mercúrio (ao fundo), juntamente com o termohigrógrafo utilizados no E2 (painel B), em casa de vegetação. Itajubá, MG, 2013.

Para detectar possíveis mudanças no valor da FATS crítica em função das diferentes condições meteorológicas, os dados de TR foram analisados separadamente em dias de baixa

e alta demanda evaporativa do ar, onde dias com  $DPV \leq 15$  hPa foram classificados como dias de baixa demanda evaporativa do ar e dias com  $DPV > 15$  hPa foram classificados em dias de alta demanda evaporativa do ar (KINIRY et al., 1998; LAGO et al., 2011). dias de alta

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1. Espécies do gênero *Eucalyptus* sp.

A semeadura das duas espécies de eucalipto, nas duas épocas de instalação dos experimentos (E1 e E2), foram realizadas no mesmo dia e a emergência das plântulas ocorreram em dias próximos. Apesar disso, o patamar em que as espécies atingiram a fase de muda (em torno de 20 folhas) ocorreu em dias diferentes (Tabela 1). Por essa razão, o início da imposição da deficiência hídrica foi diferente para as duas espécies no E1 e E2.

**Tabela 1** - Datas de ocorrência dos eventos relacionados aos dois experimentos (E1 e E2) para as espécies florestais *E. urophylla* e o *E. cloeziana*, em casa de vegetação. Itajubá, MG, 2012/2013.

Eventos	<i>E. urophylla</i>		<i>E. cloeziana</i>	
	E1	E2	E1	E2
Semeadura	19/10/2012	29/04/2013	19/10/2012	29/04/2013
Imposição da deficiência hídrica	27/01/2013	14/08/2013	05/03/2013	28/10/2013
Fim do experimento	11/02/2013	04/09/2013	16/03/2013	13/11/2003
Duração da deficiência hídrica (dias)	15	21	12	17

As diferentes datas de início da imposição da deficiência hídrica contribuíram para a ocorrência de condições meteorológicas distintas durante os experimentos (Tabela 2), o que pode ter contribuído para os diferentes períodos de duração da aplicação da deficiência hídrica no E1 e E2 para as duas espécies de eucalipto. Para o *E. urophylla* a imposição da deficiência hídrica no solo foi realizada durante o verão (E1) e inverno (E2), enquanto que para o *E. cloeziana* a deficiência hídrica no solo foi imposta durante o outono (E1) e primavera (E2). Para o *E. urophylla*, as temperaturas mínimas absolutas do ar foram 19,2°C e 9,9°C e as temperaturas máximas absolutas do ar foram 51,2°C e 51,8°C para o E1 e E2, respectivamente. Já para *E. cloeziana* as temperaturas mínimas absolutas do ar foram 19,8°C e

10,4°C e as temperaturas máximas absolutas do ar foram 53,4°C e 59,0°C para o E1 e E2, respectivamente. As diferentes estações e condições meteorológicas podem ter contribuído para os diferentes períodos de duração da aplicação da deficiência hídrica no E1 e E2 para as duas espécies de eucalipto. As variações das condições meteorológicas (temperatura do ar, UR e DPV) durante os dias da imposição da deficiência hídrica no E1 e E2 para o *E. urophylla* e o *E. cloeziana* podem ser observadas nas figuras 5 e 6.

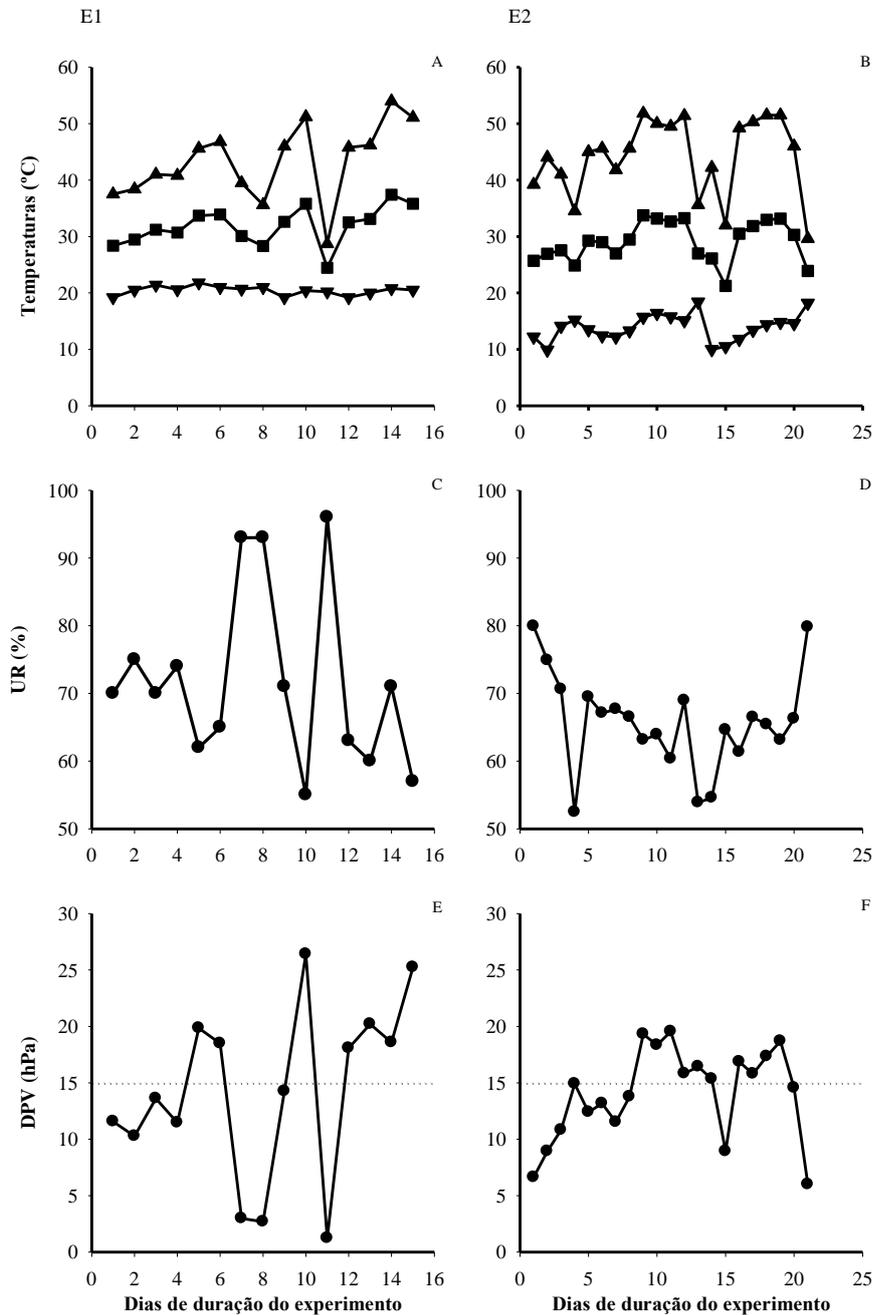
**Tabela 2** - Temperatura máxima média do ar (Tmax), temperatura mínima média do ar (Tmin), temperatura média do ar (Tmed), umidade relativa média do ar (UR) e déficit de pressão de vapor médio (DPV), dos dois experimentos (E1 e E2). Itajubá, MG, 2012/2013.

Época	Espécie	Tmax (°C)	Tmin (°C)	Tmed (°C)	UR (%)	DPV (hPa)
E1	<i>E. urophylla</i>	43,2	20,4	31,8	71,7	14,3
	<i>E. cloeziana</i>	46,4	22,4	34,4	82,4	13,7
E2	<i>E. urophylla</i>	44,2	13,9	29,0	64,1	14,6
	<i>E. cloeziana</i>	47,5	18,6	33,1	67,8	17,4

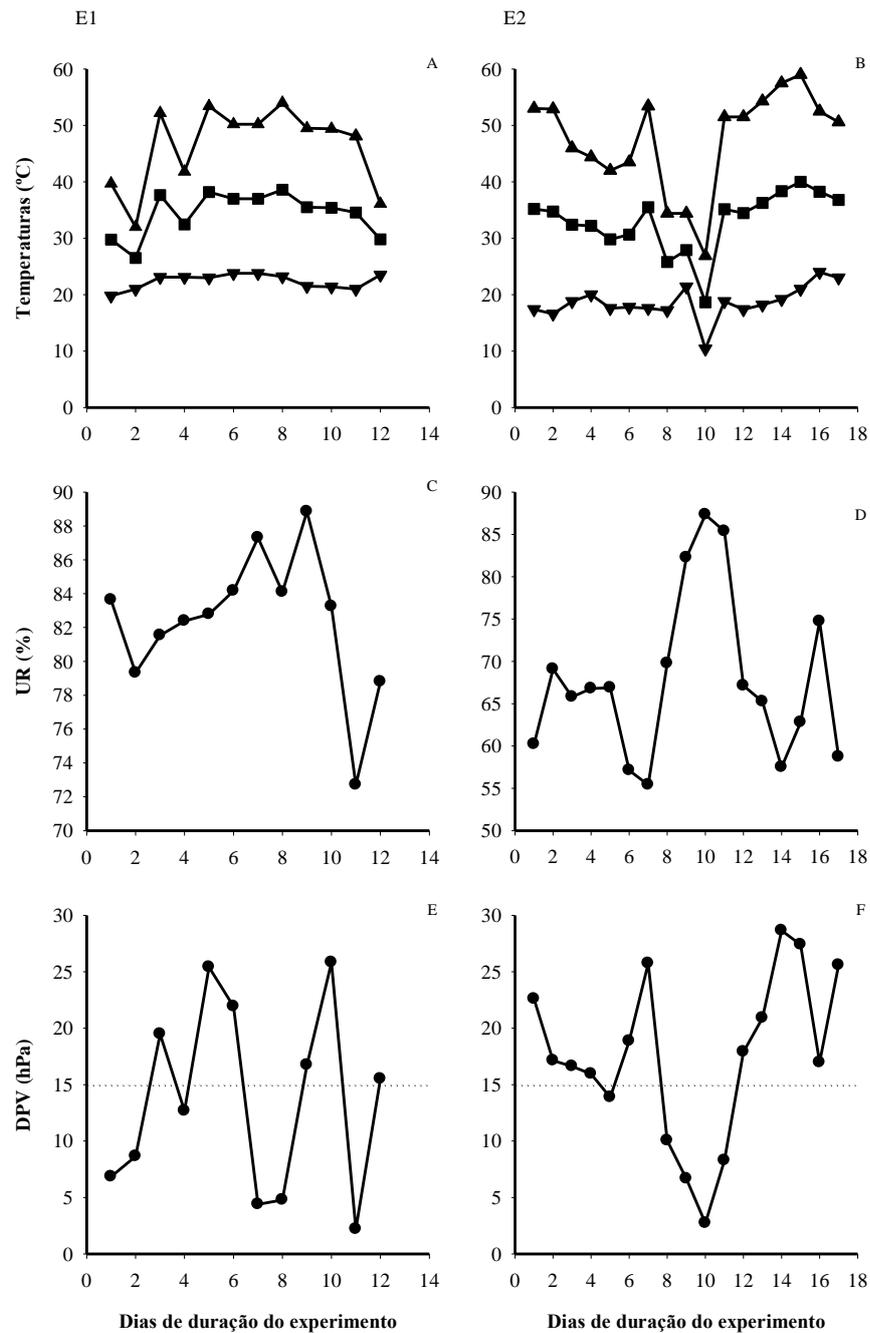
De maneira geral, o E1 apresentou maiores valores de temperatura mínima do ar e de UR, o que já era esperado por ser a época correspondente ao período chuvoso na região sul de Minas Gerais, enquanto no E2, correspondente ao período seco, além das menores temperaturas mínimas do ar, a UR não ultrapassou 70% na maioria dos dias (Figura 5 e 6). Esse fato contribuiu para a diferença de demanda evaporativa do ar nos diferentes dias nos dois experimentos. Houve pequena variação na temperatura máxima média dos experimentos (aproximadamente 1°C), embora as temperaturas máximas registradas diariamente no experimento tenham variado entre os dias.

No E1 para o *Eucalyptus urophylla*, dos quinze dias de duração da aplicação da deficiência hídrica, oito apresentaram baixo DPV (53,3% de DPV  $\leq$  15 hPa) e sete apresentaram alto DPV (46,7% de DPV  $>$  15 hPa) (Figura 5E). Para o *Eucalyptus cloeziana*, dos doze dias de aplicação da deficiência hídrica, seis foram classificados como dias de baixa DPV e seis dias foram classificados como de alto DPV (Figura 6E). Já para o E2, o *Eucalyptus urophylla* apresentou onze dias de baixa demanda evaporativa (52,4%) e dez dias de alto DPV (47,6%) enquanto o *Eucalyptus cloeziana* apresentou apenas cinco dias de baixo DPV (29,4%) e doze dias de alta DPV (70,6%). Esse fato demonstrou que as plantas de *E. cloeziana* ficaram expostas a condições de maior transpiração, tanto na E1 quanto na E2, devido ao maior número de dias considerados de alta demanda evaporativa.

Conseqüentemente, o fluxo de água do solo para a planta foi mais intenso no *E. cloeziana*, quando comparado ao *E. urophylla*, visando suprir a perda de água da planta para a atmosfera (RAY et al., 2002).



**Figura 5** - Temperaturas máximas (▲), médias (■) e mínimas (▼) diárias do ar, em °C, (A e B), umidade relativa do ar (C e D) e déficit de pressão de vapor do ar (DPV) diário (E, F) para o *Eucalyptus urophylla*. Os painéis A, C e E referem-se ao E1 e os painéis B, D e F referem-se ao E2. A linha pontilhada nos painéis E e F representa a divisão dos dias de baixa e alta DPV. Itajubá, MG, 2013.



**Figura 6** - Temperaturas máximas (▲), médias (■) e mínimas (▼) diárias do ar em °C (A e B), umidade relativa do ar (C e D) e déficit de pressão de vapor do ar (DPV) diário às 15 horas (E, F) para o *Eucalyptus cloeziana*. Os painéis A, C e E referem-se ao E1 e os painéis B, D e F referem-se ao E2. A linha pontilhada nos painéis E e F representa a divisão dos dias de baixa e alta DPV. Itajubá, MG, 2013.

### 5.1.1. Análises referentes a transpiração

A transpiração e o consumo de água nas plantas são comandados pela demanda evaporativa do ar e pelo controle estomático (CARLESSO, 1995). Os valores de transpiração e consumo de água na planta podem ser observados na tabela 3.

**Tabela 3** - Transpiração inicial (TRi), final (TRf) e total (TRt) e consumo médio diário de água para as espécies *Eucalyptus urophylla* e *Eucalyptus cloeziana* e para os dois regimes hídricos (sem deficiência hídrica -T1 e com deficiência hídrica -T2), nos dois experimento (E1 e E2). Itajubá, MG, 2013.

Espécie	E1		E2		Média
	Regime hídrico		Regime hídrico		
	T1	T2	T1	T2	
<b>Transpiração inicial (g planta<sup>-1</sup>)</b>					
<i>E. urophylla</i>					51,33a
<i>E. cloeziana</i>					46,33a
Média	49,17A	48,61A	56,14A	54,17A	45,17b
<b>Transpiração final (g planta<sup>-1</sup>)</b>					
<i>E. urophylla</i>					65,17a
<i>E. cloeziana</i>					67,33a
Média	151,04A	9,72B	128,41A	11,39B	65,83a
<b>Transpiração total (g planta<sup>-1</sup>)</b>					
<i>E. urophylla</i>					764,78a
<i>E. cloeziana</i>					847,17a
Média	1222,23A	528,47B	907,00bA	519,72aA	631,94aB
<b>Consumo médio diário de água (g planta<sup>-1</sup> dia<sup>-1</sup>)</b>					
<i>E. urophylla</i>					50,96b
<i>E. cloeziana</i>					73,00a
Média	92,51A	41,65B	105,48aA	30,09aB	30,57aB

\* Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha, para cada variável e experimento (E1 e E2) não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. Colunas sem valores significam que a interação entre as fontes de variação, para cada variável, foram não significativas a mesma probabilidade.

Para a variável transpiração inicial (TRi), a qual refere-se à transpiração do primeiro dia de imposição da deficiência hídrica, não houve diferença significativa entre T1 e T2 no E1 e no E2, demonstrando uniformidade entre as plantas dos dois tratamentos referentes à suplementação hídrica. Esse fato é desejável uma vez que minimiza o erro que se poderia atribuir a diferentes padrões de transpiração inicial entre as plantas destinadas ao T1 e T2. Porém, houve diferença significativa da TRi entre as duas espécies no E2, sendo que a TRi do *E. cloeziana* foi maior que a do *E. urophylla*, fato este que pode ser justificado em função das diferentes épocas de aplicação da deficiência hídrica, e do maior DPV ocorrido no E2 para tal espécie no primeiro dia, onde a temperatura máxima e média do ar foram elevadas e a UR foi baixa contribuindo para uma maior transpiração (Figura 6). Com relação a TRf, que corresponde a transpiração ocorrida no último dia do experimento, não houve diferença significativa entre as espécies e somente houve diferença significativa entre T1 e T2, em ambos experimentos. Este fato já era esperado, uma vez que as plantas submetidas ao T1

apresentam maior transpiração, devido ao fato de haver mais água disponível no solo, enquanto as plantas submetidas ao T2 tendem a reduzir a sua transpiração, como forma de manter o conteúdo disponível de água no solo.

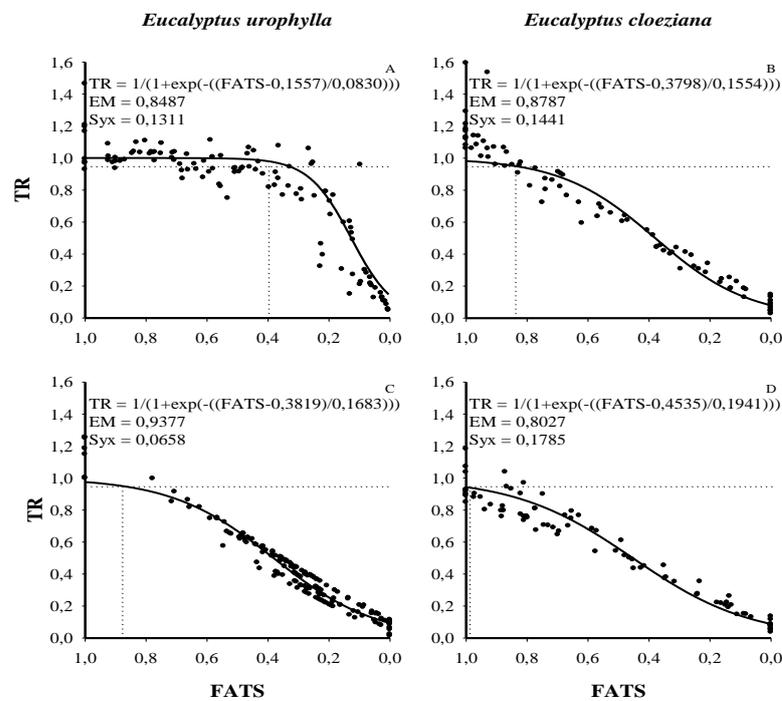
Com relação a variável TRt observou-se diferença entre os resultados para o E1 e E2, mesmo assim, pode-se verificar que a TRt foi maior no T1 em ambos os experimentos, uma vez que havia maior disponibilidade de água no solo. No E1 não houve diferença entre as espécies, enquanto que no E2 houve interação entre os tratamentos e as espécies, no qual apenas no T1 constatou-se diferença significativa entre as duas espécies com maior TRt do *E. urophylla*. Nesse caso, a maior TRt pode ser atribuída a maior duração do experimento com a espécie no E2, onde 10 dias foram considerados de alto DPV, o que propicia uma maior transpiração. Já o *E. cloeziana* manteve o mesmo padrão de TRt entre os dois experimentos, apesar de no E2 cerca de 70% dos dias terem sido classificados como dias de alta DPV. A partir disso, podemos inferir que o *E. cloeziana* mantém padrões semelhantes de transpiração em diferentes condições de DPV.

O consumo médio de água referente aos dois experimentos foi maior no T1 quando comparado ao T2 para as duas espécies, já que houve maior transpiração do T1, devido a maior disponibilidade de água no solo. Ao analisar os dados das duas espécies separadamente, observa-se maior consumo de água pelo *E. cloeziana* na época de menor demanda atmosférica (E1) e pelo *E. urophylla* na época de maior demanda atmosférica (E2). Em outras palavras, o *E. urophylla* apresentou maior consumo de água em condições em condições onde se esperava o maior fluxo de água no sistema solo-planta-atmosfera (alto DPV), mesmo comportamento observado por Ray et al. (2002) para a cultura do milho, tanto nas plantas bem hidratadas quanto nas plantas submetidas ao déficit hídrico, Lago et al. (2012) para a cultura da batata, Schoppach e Sadok (2012) para 8 linhagens de trigo e Yang et al. (2012) para cultivares de milho. Apesar disso, o *E. urophylla* suportou a deficiência hídrica por mais tempo na E2, onde as condições meteorológicas foram mais favoráveis à transpiração. Este fato pode indicar que a espécie não apresenta bom controle estomático, porém é tolerante a deficiência hídrica, e pode fazer o uso de outros mecanismos para economizar água, como a redução da área foliar ou o movimento angular das folhas, como ocorre em gramíneas (BIMPONG et al., 2011).

O *E. cloeziana* manteve um padrão similar de consumo de água no E1 e no E2, com tendência a ter maior consumo em condições de baixa demanda evaporativa, o que pode ser um indicativo de que a espécie apresenta bom controle estomático, reduzindo as perdas de água pela transpiração em condições de alta demanda evaporativa. Outra questão que pode ser

considerada foi a observação visual do crescimento e desenvolvimento mais lento em relação ao *E. urophylla*, o que pode condicionar menor crescimento de parte aérea e área foliar e, conseqüentemente, maior sensibilidade a seca, o que torna a espécie menos tolerante a deficiência hídrica no solo do que o *E. urophylla* (BIMPONG et al., 2011).

Os valores normalizados de TR foram plotados em função da FATS, sendo possível determinar a FATS crítica em que a transpiração é reduzida para as duas espécies de eucalipto (Figura 7). A FATS crítica foi determinada quando a TR das espécies inicia um decréscimo e se distancia da TR máxima (1,0). O patamar adotado para determinar a FATS crítica neste estudo foi o de TR = 0,95 (HEINEMANN et al., 2011; LAGO et al., 2011; LAGO et al., 2012).



**Figura 7** - Transpiração relativa normalizada (TR), em função da fração de água transpirável no solo (FATS), para as espécies *Eucalyptus urophylla* (A e C) e *Eucalyptus cloeziana* (B e D), nos dois experimentos. Itajubá, MG, 2013. Os painéis A e B referem-se ao E1 e os painéis C e D referem-se ao E2.

A FATS crítica para o *E. urophylla* foi de 0,40 no E1 (Figura 7A) e de 0,88 no E2 (Figura 7C), enquanto para *E. cloeziana* a FATS crítica foi de 0,84 no E1 (Figura 7B) e de 0,99 no E2 (Figura 7D). Esses valores obtidos nos dois experimentos corroboram com o indicativo de que *E. urophylla* é mais tolerante à deficiência hídrica do que o *E. cloeziana* devido ao menor valor de FATS crítica para a TR, enquanto que o *E. cloeziana* é mais sensível a deficiência hídrica devido ao maior valor de FATS crítica.

Valores elevados de FATS crítica indicam fechamento estomático mais cedo em solos com baixo conteúdo de água e constitui um critério de aclimatação da espécie para melhor suportar a deficiência hídrica prolongada. Nesse sentido, o *E. cloeziana* reduziu a sua taxa de transpiração mais cedo que o *E. urophylla*, o que pode ser considerado uma aclimatação da espécie em situações hídricas desfavoráveis, uma vez que reduzindo a transpiração de maneira mais rápida, a planta economiza água no solo para períodos posteriores (SANTOS; CARLESSO, 1998; MARTINS et al., 2008).

Padrões semelhantes de FATS crítica, exceto para E1 do *E. urophylla*, foram encontradas para as espécies *Eucalyptus grandis* (0,90) e *Eucalyptus saligna* (0,70) (MARTINS et al., 2008). Esse fato indica que existe diferença entre as espécies do gênero *Eucalyptus* quanto ao comportamento da transpiração em situação de deficiência hídrica. Bindi et al. (2005) e Sinclair et al. (2005), encontraram valores de FATS crítica diferentes aos deste estudo para as espécies perenes de videira (*Vitis vinifera* L. FATS=0,35), tuia (*Thuja plicata* Donn ex D. Don FATS=0,35), bordo vermelho (*Acer rubrum* L. FATS=0,26), falsa acácia (*Robinia pseudoacacia* L. FATS=0,37), hibisco (*Hibiscus* sp. FATS=0,30) e azevinho europeu (*Ilex aquifolium* L. FATS = 0,33). Os valores de FATS para as espécies perenes citadas anteriormente foram semelhantes aos valores de FATS de algumas culturas anuais, como os encontrados por Sinclair e Ludlow (1986), com FATS crítica de 0,40 para o feijão mungo (*Vigna mungo* L. Hepper), guandu (*Cajanus cajan* L.) e soja (*Glycine max* L. Merrill) e 0,30 para o feijão caupi (*Vigna unguiculata* L.). Outras espécies anuais apresentaram valores de FATS crítica entre 0,20 e 0,60, tais como Bimpong et al. (2011) com híbridos de arroz (*Oryza glaberrima* e *Oryza sativa*) onde encontraram valores de FATS crítica entre 0,32 e 0,55 para *O. glaberrima*, mais sensível a deficiência hídrica no solo e entre 0,32 a 0,48 para *O. sativa*. Schoppach e Sadok (2012) encontraram valores de FATS crítica para diferentes linhagens de trigo entre 0,43 e 0,52; Lago et al. (2011) e Lago et al. (2012) também encontraram variações na FATS crítica de plantas com raízes tuberosas como a mandioca e a batata. Para mandioca a FATS crítica foi entre 0,45 e 0,50 para as diferentes cultivares (LAGO et al., 2011) e para batata a FATS crítica foi entre 0,38 a 0,51 para diferentes clones (LAGO et al., 2012).

Nota-se que existe uma diferença entre os valores de FATS em culturas perenes e anuais, o que indica uma diferença no comportamento da transpiração, inclusive em espécies do mesmo gênero. Esse tipo de estudo é importante uma vez que o valor FATS pode ser utilizado como um parâmetro para a identificação de genótipos mais tolerantes a seca (LACAPE et al., 1998; DEVI et al, 2009; LAGO et al., 2011; SCHOPPACH; SADOK, 2012).

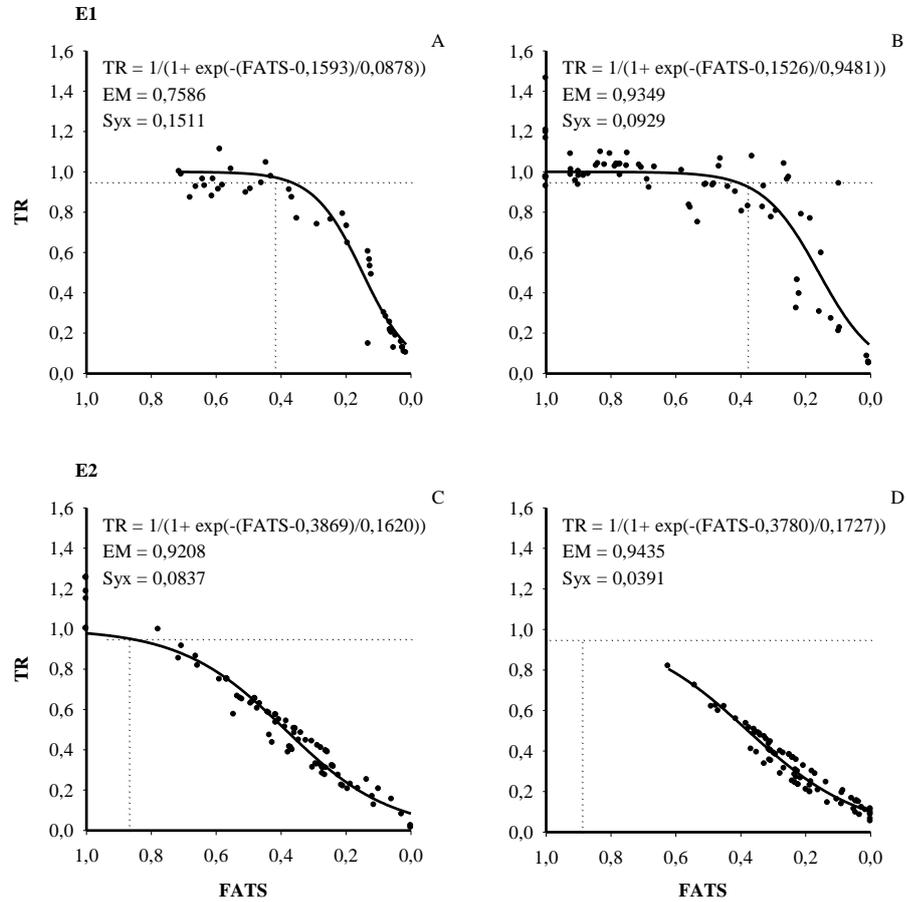
Nota-se também, diferenças entre os valores de FATS entre os dois experimentos, sendo que no E2 o valor da FATS crítica aumentou para as duas espécies de eucalipto em relação ao E1, demonstrando que ambas as espécies tem a sua transpiração, e conseqüentemente a FATS, influenciadas pela demanda evaporativa do ar, uma vez que houve diferenças nas condições meteorológicas entre E1 e E2. Por essa razão, os dados de TR foram analisados separadamente para condições de baixa e alta demanda evaporativa do ar (Figura 8 e 9). Além disso, como a FATS crítica para o E2 foi superior ao E1, tanto para o *E. urophylla* quanto para o *E. cloeziana*, às plantas resistiram por mais tempo a deficiência hídrica quando comparadas as plantas no E1. No E1 pode ter havido um fechamento estomático tardio, provocando a senescência das plantas de maneira mais rápida, resultando na menor duração do experimento (Tabela 1).

De maneira geral, as espécies de *Eucalyptus* mostram-se mais sensíveis a deficiência hídrica no solo em relação a maioria das espécies estudadas, devido ao rápido fechamento estomático. O fechamento estomático é considerado a terceira linha de adaptação a deficiência hídrica no solo e a mais importante quando a deficiência hídrica no solo ocorre de maneira rápida (TAIZ; ZEIGER, 2009).

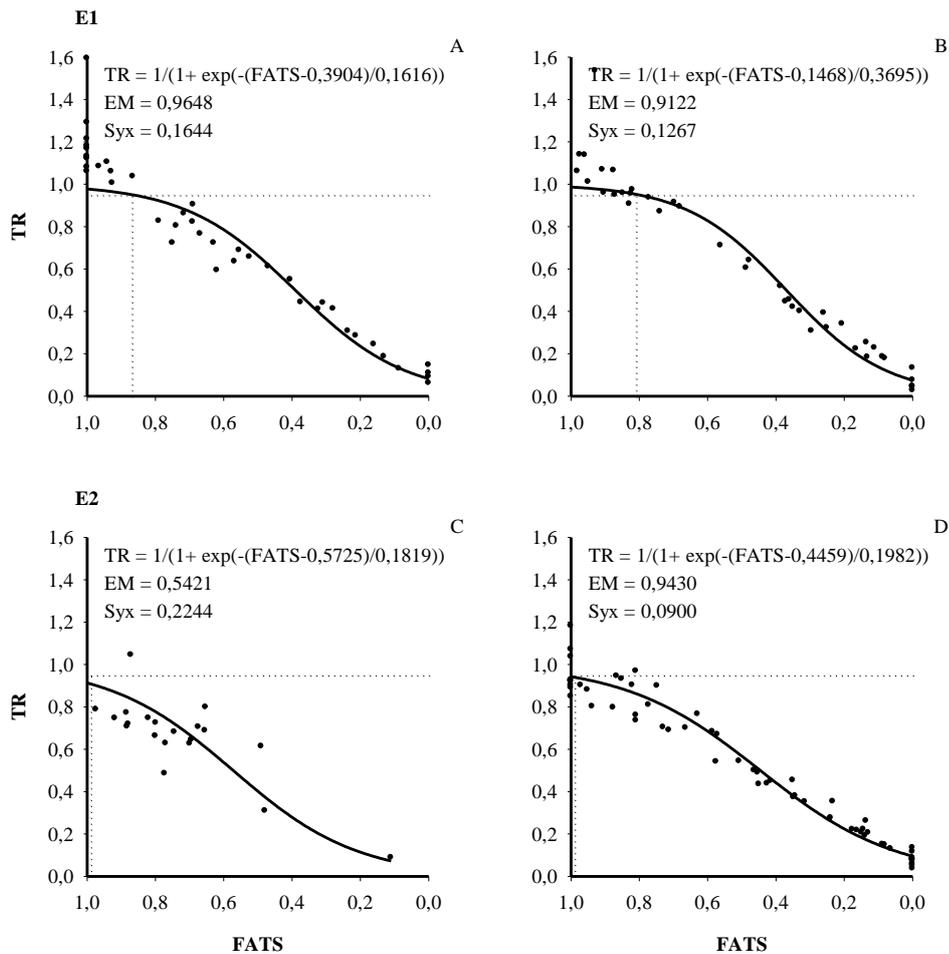
Ao se analisar os dados de TR dos dois experimento em dias de baixa e alta demanda evaporativa do ar observa-se pouca diferença na FATS crítica das duas espécies, o que indica um comportamento similar de transpiração, independente das condições de demanda da atmosférica.

O *E. urophylla* apresentou o mesmo padrão de FATS para os dados de TR normalizados (Figura 7) e para os dados separados em dias com diferentes demandas evaporativas (Figura 8). A espécie não apresentou grande variação entre os valores de FATS crítica em dias de baixa (FATS=0,42 / DPV  $\leq$  15 hPa) e alta demanda evaporativa (FATS=0,38 / DPV  $>$  15 hPa) para o E1, assim como para o E2, em que os valores de FATS crítica foram 0,87 (DPV  $\leq$  15hPa) e 0,89 (DPV  $>$  15 hPa), respectivamente. O padrão observado em E1, contraria a hipótese teórica de que em uma condição de alta demanda evaporativa do ar os valores de FATS crítica para a transpiração podem ser mais elevados. O *E. cloeziana* também apresentou pequena variação entre os valores de FATS para os dados totalizados e separados (Figuras 7 e 9, respectivamente). No E1, a FATS crítica foi de 0,87 (DPV  $\leq$  15 hPa) e 0,81 (DPV  $>$  15 hPa), enquanto no E2 a FATS foi de 0,99 nas duas condições de demanda evaporativa. Valores de FATS próximos em condições de demandas evaporativas diferentes concordam com o observado por Ray et al., (2002) para milho, embora não possamos descartar a hipótese de maior transpiração em dias de maior demanda

evaporativa do ar, uma vez que, os valores de FATS crítica para a TR foram superiores no E2, onde as condições de UR foram menores.



**Figura 8** - Transpiração relativa normalizada (TR) em função da fração de água transpirável no solo (FATS) em dias de baixa e alta demanda evaporativa do ar para o *Eucalyptus urophylla* em dois experimentos (E1 e E2) em casa de vegetação. Itajubá, MG. 2013. Os painéis A e C referem-se aos dias de baixa demanda evaporativa do ar no E1 e no E2, respectivamente e os painéis B e D referem-se aos dias de alta demanda evaporativa do ar no E1 e no E2, respectivamente.



**Figura 9** - Transpiração relativa normalizada (TR) em função da fração de água transpirável no solo (FATS) em dias de baixa e alta demanda evaporativa do ar para o *Eucalyptus cloeziana* em dois experimentos (E1 e E2) em casa de vegetação. Itajubá, MG. 2013. Os painéis A e C referem-se aos dias de baixa demanda evaporativa do ar no E1 e no E2, respectivamente e os painéis B e D referem-se aos dias de alta demanda evaporativa do ar no E1 e no E2, respectivamente.

De maneira geral, não houve grande melhora no ajuste das equações utilizando os dados separados em dias de baixo e alto DPV, quando comparado ao ajuste com os dados totalizados para o *E. urophylla* e *E. cloeziana*, neste estudo. Houve pequena melhora do ajuste, com aumento da EM e redução do Syx, em condição de alta DPV para o *E. urophylla* no E1 e no E2, melhora que não ocorreu no ajuste em dias de baixa DPV. O mesmo foi observado para o *E. cloeziana* no E2, enquanto que, no E1, houve melhora no ajuste em condições de baixa e alta DPV. Esses fatos, não comprovaram a influência da separação em dias com diferentes condições de DPV sobre os valores de FATS crítica.

No presente estudo notou-se grande variabilidade dos dados meteorológicos, principalmente da UR e da temperatura mínima do ar entre os dois experimentos, justamente onde se encontrou diferença nos valores da FATS crítica para a transpiração. O que abre

precedentes para novas pesquisas abrangendo o efeito da UR em diferentes espécies de eucalipto submetidos a deficiência hídrica no solo.

Outro importante fato a ser destacado é a variabilidade genética para a tolerância a deficiência hídrica no solo entre as espécies do gênero *Eucalyptus*. Uma vez que o Brasil possui uma grande extensão territorial que abrange diferentes condições climáticas, a identificação de espécies mais tolerantes a deficiência hídrica no solo é extremamente importante para garantir o sucesso da implantação florestal. O próprio estado de Minas Gerais, principal produtor florestal, abrange diferentes regimes pluviométricos e de temperaturas do ar, o que reforça a necessidade de estudos com outras espécies de eucalipto de interesse comercial, uma vez que esses fatores meteorológicos são determinantes, tanto em relação a taxa de transpiração da planta, quanto na disponibilidade de água no solo.

#### *5.1.2. Análises referentes a biomassa e parâmetros de crescimento e desenvolvimento*

A biomassa seca inicial (radicular, aérea e total) não diferiram estatisticamente entre as espécies nos dois experimentos, indicando a eficiência da seleção de plantas de tamanhos uniformes e mesmo patamar de desenvolvimento para iniciar a imposição da deficiência hídrica. Esse fato é desejável para minimizar o erro experimental que poderia ser inferido pela disparidade no tamanho das plantas (Tabela 4).

Não houve interação significativa entre as espécies e os tratamentos quando se trata da biomassa final (radicular, aérea e total) e a mesma diferiu estatisticamente para todos os tratamentos relacionados à suplementação hídrica (T1 e T2), onde o T1 apresentou maiores médias de biomassa final nos dois experimentos, fato esperado devido a maior disponibilidade hídrica no solo. A deficiência hídrica no T2 limitou o crescimento e desenvolvimento das plantas, o que afeta a estrutura das folhas e a fotossíntese e, como consequência, afeta o acúmulo de carboidratos nas plantas (SHAO et al., 2008). A redução da biomassa devido à deficiência hídrica no solo afeta a produção das culturas, embora existam genótipos mais tolerantes a seca. Em estudo com 25 linhagens de girassol, Tahir et al. (2003) observaram decréscimo na biomassa e na produção dessas linhagens. Porém, a obtenção de diferentes resultados entre as linhagens sugeriram que essas características podem ser utilizadas como critério de seleção de genótipos mais tolerantes a seca.

**Tabela 4** - Biomassa seca inicial e final (radicular, aérea e total) para as espécies *Eucalyptus urophylla* e *Eucalyptus cloeziana* nos dois experimentos (E1 e E2). Itajubá, MG, 2013.

Espécie	E1		Média	E2		Média
	Regime hídrico T1	Regime hídrico T2		regime hídrico T1	regime hídrico T2	
<b>Biomassa seca radicular inicial (g)</b>						
<i>E. urophylla</i>			2,23a			0,89a
<i>E. cloeziana</i>			1,95a			1,53a
Média						
<b>Biomassa seca radicular final (g)</b>						
<i>E. urophylla</i>			1,95a			0,75a
<i>E. cloeziana</i>			0,85b			1,09a
Média	2,36A	0,76B		1,79A	0,39B	
<b>Biomassa seca aérea inicial (g)</b>						
<i>E. urophylla</i>			4,93a			3,51a
<i>E. cloeziana</i>			7,93a			3,84a
Média						
<b>Biomassa seca aérea final (g)</b>						
<i>E. urophylla</i>			4,05a			2,17b
<i>E. cloeziana</i>			3,50a			3,70a
Média	6,63A	1,87B		4,62A	1,86B	
<b>Biomassa seca total inicial (g)</b>						
<i>E. urophylla</i>			7,17a			4,40a
<i>E. cloeziana</i>			9,87a			5,37a
Média						
<b>Biomassa seca total final (g)</b>						
<i>E. urophylla</i>			6,00a			2,92b
<i>E. cloeziana</i>			4,35a			4,79a
Média	8,99A	2,6294B		6,41A	2,25B	

\* Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha, para cada variável e experimento (E1 e E2) não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. Colunas sem valores significam que a interação entre as fontes de variação, para cada variável, foram não significativas a mesma probabilidade.

Entre as espécies houve diferença na biomassa seca final radicular no E1 e na biomassa seca aérea e total no E2. Essa diferença pode ser atribuída a diferença do crescimento e desenvolvimento inicial entre as espécies, já que o patamar de aplicação da metodologia da deficiência hídrica (20-25 folhas na haste principal) ocorreu tardiamente para o *E. cloeziana*, além das diferentes condições meteorológicas na qual foram submetidas durante o crescimento e desenvolvimento. A maior biomassa radicular final no E1 para o *E. urophylla* pode ser um indicativo de que a espécie prioriza o aumento radicular para explorar um maior volume de solo, sem no entanto reduzir a transpiração, uma vez que a FATS crítica foi de 0,40 para a espécie no E1. Já o *E. cloeziana* obteve maior biomassa seca aérea final no

E2, provavelmente devido ao rápido fechamento estomático, mantendo o metabolismo, o crescimento e o desenvolvimento em condições adequadas por um período maior, o que determinou um maior acúmulo de biomassa (STRECK, 2004; SHAO et al., 2009; LAGO et al., 2012).

O número de folhas, área foliar, altura (exceto para E1) e o diâmetro médio inicial não diferiram estatisticamente entre T1 e T2 (Tabela 5) ratificando a seleção eficiente com relação a uniformidade de tamanho das plantas para o início de cada experimento.

Com relação a diferença entre as espécies, o número médio de folhas inicial, assim como o diâmetro, e a área foliar, exceto para E1, apresentaram diferenças significativas para o E1 e o E2. As diferenças nos parâmetros de crescimento e desenvolvimento iniciais, podem ser atribuídas a diferentes padrões de crescimento das espécies. Em relação ao número médio de folhas na haste principal inicial ser inferior a 20, estabelecido na metodologia, se deve a senescência e abscisão das folhas, o que é considerado um processo natural, dependente de energia e controlado pelos genes da planta. As folhas são geneticamente programadas para senescer e fatores ambientais adversos podem acelerar esse fenômeno (TAIZ; ZEIGER, 2009).

Todos os parâmetros de desenvolvimento e crescimento (NF, AF, h e d) foram estatisticamente diferentes entre os tratamentos no último dia do experimento, confirmando que a deficiência hídrica no solo afeta o crescimento e desenvolvimento de plantas, inclusive em espécies de eucalipto.

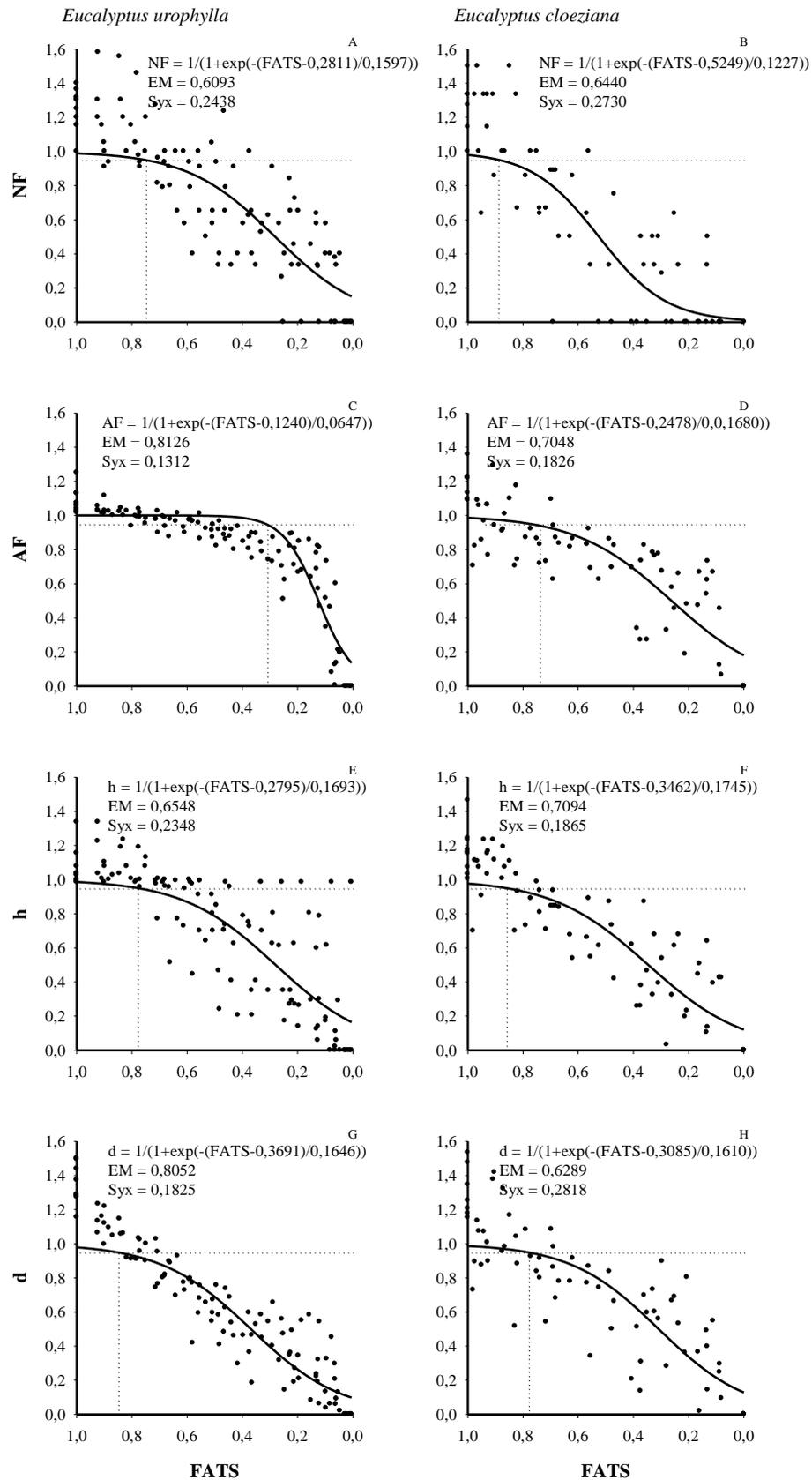
O *E. urophylla*, em geral, apresentou maior desenvolvimento (maior número de folhas inicial e final) que o *E. cloeziana* no E1 e E2. No entanto, o crescimento não diferiu significativamente entre as espécies, mesmo assim, a área foliar inicial (E2) e a altura final (E2) foram ligeiramente superiores para o *E. urophylla*. Essas diferenças nos padrões de crescimento e desenvolvimento são esperadas devido à natureza do material biológico.

Os parâmetros de crescimento e desenvolvimento normalizados nas duas espécies de eucalipto foram plotados em função da FATS e, assim como observado para a TR, apresentaram tendência de decréscimo nos dois experimentos (Figuras 10 e 11). Também houve variação entre os valores de FATS crítica obtidos para as variáveis de desenvolvimento (NF) e crescimento (AF, h e d) para as duas espécies nos dois experimentos onde os maiores valores indicam maior sensibilidade à deficiência hídrica. Os valores de FATS crítica encontrados para o *E. urophylla*, no E1 foram: NF = 0,75; AF = 0,31; h = 0,78 e d = 0,85. (Figura 10A, 10C, 10E e 10G). Para o *E. cloeziana*, no E1, os valores de FATS para cada variável foram: NF = 0,89; AF = 0,74; h = 0,86, e d = 0,78 (Figura 10B, 10D, 10F e 10H).

**Tabela 5** - Parâmetros de desenvolvimento (NF) e de crescimento (AF, h e d) médios mensurados no início e no final do período de imposição da deficiência hídrica, para as espécies *Eucalyptus urophylla* e *Eucalyptus cloeziana* nos dois experimentos (E1 e E2). Itajubá, MG, 2013.

Espécie	E1		Média	E2		Média
	Tratamento T1	Tratamento T2		Tratamento T1	Tratamento T2	
<b>Número de folhas inicial</b>						
<i>E. urophylla</i>			22,00a			15,37a
<i>E. cloeziana</i>			17,13b			11,21b
Média	19,50A	19,61A		13,59A	13,22A	
<b>Número de folhas final</b>						
<i>E. urophylla</i>			19,40a			13,10a
<i>E. cloeziana</i>			15,33b			8,96b
Média	19,25A	16,11B		13,64A	9,89B	
<b>Área foliar inicial (cm<sup>3</sup>)</b>						
<i>E. urophylla</i>			458,61a			225,31a
<i>E. cloeziana</i>			397,33a			164,81b
Média	485,98A	389,30A		167,17A	210,42A	
<b>Área foliar final (cm<sup>3</sup>)</b>						
<i>E. urophylla</i>			390,29a			122,87a
<i>E. cloeziana</i>			341,37a			156,36a
Média	503,13A	274,30B		206,10A	98,05B	
<b>Altura inicial (cm)</b>						
<i>E. urophylla</i>			36,43a			23,14a
<i>E. cloeziana</i>			34,36a			21,01a
Média	38,27A	33,48B		22,08A	22,13A	
<b>Altura final (cm)</b>						
<i>E. urophylla</i>			35,41a			23,35a
<i>E. cloeziana</i>			33,31a			19,75b
Média	38,90A	31,34B		24,26A	19,99B	
<b>Diâmetro inicial (mm)</b>						
<i>E. urophylla</i>			5,16a			2,89b
<i>E. cloeziana</i>			4,26b			3,49a
Média	4,81A	4,65A		3,18A	3,18A	
<b>Diâmetro final (mm)</b>						
<i>E. urophylla</i>			4,87a			2,73a
<i>E. cloeziana</i>			4,12b			2,93a
Média	5,21A	4,02B		3,54A	2,39B	

\* Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha, para cada variável e experimento (E1 e E2) não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. Colunas sem valores significam que a interação entre as fontes de variação, para cada variável, foram não significativas a mesma probabilidade.

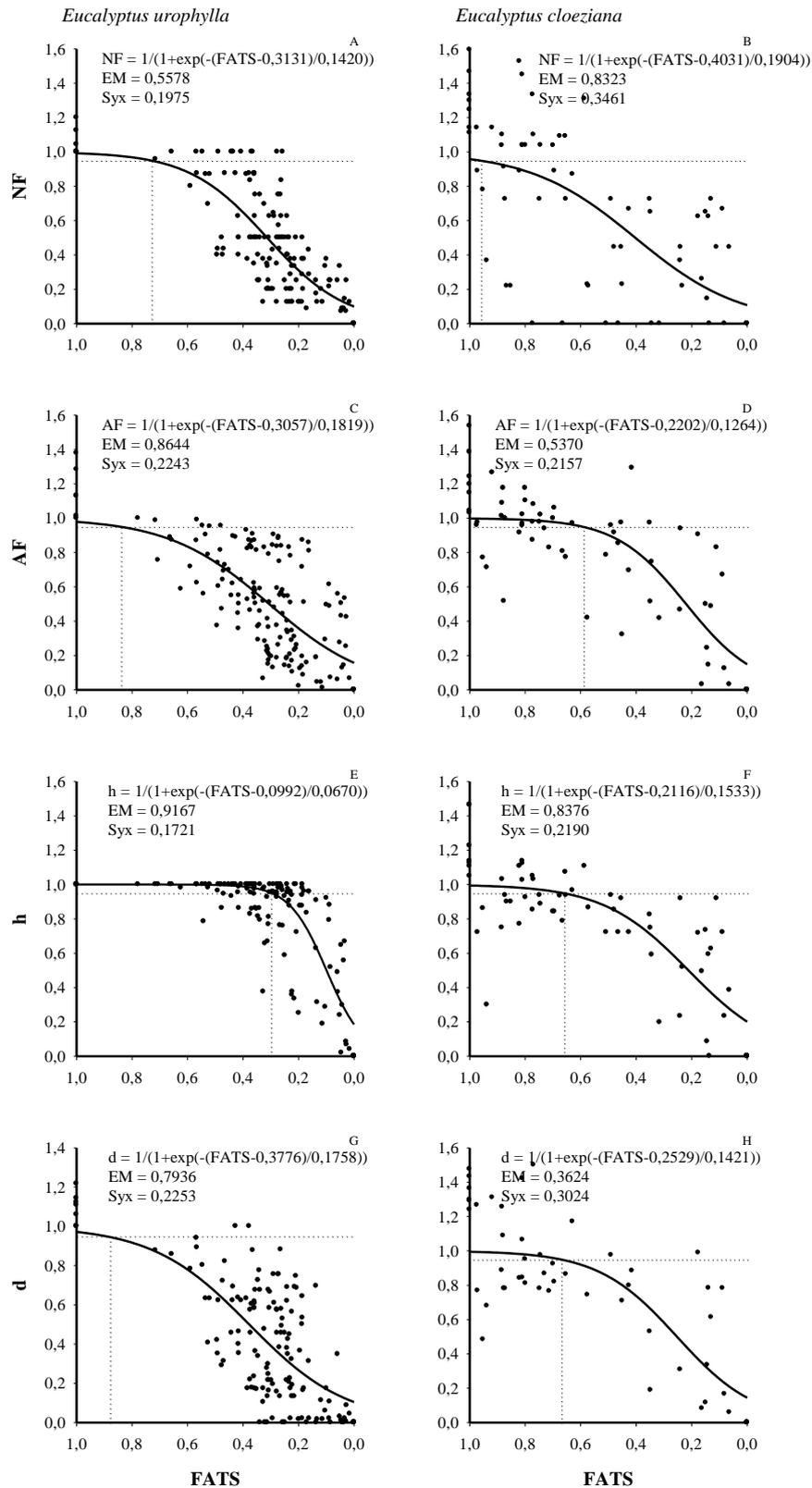


**Figura 10** - Número de folhas (NF), área foliar (AF), altura (h) e diâmetro (d) normalizados em função da fração de água transpirável no solo (FATS), para as espécies *Eucalyptus urophylla* (A, C, E e G) e *Eucalyptus cloeziana* (B, D, F e H), no primeiro experimento de deficiência hídrica Itajubá, MG, 2013.

Para o *E. urophylla*, no E1, os parâmetros de crescimento e desenvolvimento, exceto para AF, apresentaram maior valor de FATS crítica em relação a TR, por esse motivo são considerados mais sensíveis à deficiência hídrica no solo. Isso indica que a espécie não possui um bom controle estomático, uma vez que mantém a taxa de transpiração elevada, favorecendo a perda de água para a atmosfera, resultando na perda da turgescência celular e, conseqüentemente, na maior sensibilidade do crescimento à deficiência hídrica. A FATS crítica para a AF (FATS = 0,31) foi próxima a FATS crítica da TR (FATS = 0,40) e neste caso, provavelmente, sinais emitidos pelas raízes e transmitidos à parte aérea podem ser os responsáveis pela redução da transpiração antes mesmo da redução da área foliar, constituindo uma maneira de detectar a deficiência hídrica (STRECK, 2004). No entanto, o NF obteve valor de FATS elevado, o que indica que a senescência e abscisão foliar podem ser a principal estratégia da espécie para reduzir a área foliar e a transpiração para economizar água do solo.

O *E. cloeziana* teve todos os parâmetros (NF, AF, h e d) reduzidos com a deficiência hídrica em FATS crítica próxima a da TR. Sendo assim, pode-se inferir que o *E. cloeziana* possui um eficiente controle estomático, perde folhas e reduz o crescimento a fim de diminuir a área transpirante e a turgescência celular, racionando o consumo de água do solo (SANTOS; CARLESSO, 1998; TAIZ; ZEIGER, 2009).

Para o E2, os valores de FATS crítica encontrados para o *E. urophylla* foram: NF = 0,73; AF = 0,84; h = 0,30 e d = 0,88. (Figura 11A, C, E, G) . Para o *E. cloeziana* os valores de FATS para cada variável foram: NF = 0,96; AF = 0,59; h = 0,66 e d = 0,67 (Figura 11B, D, F, H). Percebe-se que no E2 os valores de FATS crítica para os parâmetros de crescimento e desenvolvimento são próximos ou, na maioria dos parâmetros, menores em relação a FATS crítica da TR, o que significa que o fechamento estomático ocorreu de maneira mais rápida, mantendo os tecidos da planta irrigados por mais tempo. Sendo assim, no E2 o crescimento e o desenvolvimento foram menos sensíveis a deficiência hídrica no solo em relação a TR.



**Figura 11** - Número de folhas (NF), área foliar (AF), altura (h) e diâmetro (d) normalizados em função da fração de água transpirável no solo (FATS), para as espécies *Eucalyptus urophylla* (A, C, E e G) e *Eucalyptus cloeziana* (B, D, F e H), no E2 de deficiência hídrica Itajubá, MG, 2013.

De maneira geral, o *E. urophylla* apresentou valores de FATS crítica para NF, AF e d, próximos ao valor de FATS crítica para TR (0,88). Como a TR está relacionada com a área transpirante, a qual depende do NF e da AF, esses valores de FATS crítica são justificáveis e indicam que a área foliar foi determinante para a redução da TR (Figura 11A e 11C). As plantas de *E. urophylla* reduziram a AF, antes de começar a perder folhas, provavelmente para manter o seu aparato fotossintético ativo. A redução da AF é a primeira linha de defesa da planta quando submetida a deficiência hídrica no solo, o que constitui uma vantagem na tentativa de tolerar à deficiência hídrica. A altura foi o parâmetro de crescimento afetado tardiamente pela deficiência hídrica (baixo valor de FATS crítica). Esses fatos indicam que a espécie utiliza vários meios de controlar o consumo da água durante as condições de deficiência hídrica severa, economizando a água para situações futuras e prolongando o tempo decorrente desde o início da deficiência hídrica no solo até a senescência da planta (STRECK, 2004).

Para o *E. cloeziana* a FATS crítica para o NF foi muito próxima a FATS crítica da TR (0,99), diferentemente do observado para a AF, h e d, sendo um indicativo que a espécie reduz a transpiração e o desenvolvimento, antes de cessar o crescimento e antes que ocorra a diminuição da turgescência celular. Além disso, demonstra que a abscisão é uma importante estratégia da planta em situações de deficiência hídrica. Mesmo assim, os valores de FATS crítica não diferiram substancialmente entre as variáveis nos dois experimentos e por esse motivo, não foi necessário separar os dados dos parâmetros de crescimento e desenvolvimento em dias de alta e baixa demanda evaporativa do ar.

O *E. urophylla* mostrou-se mais tolerante a deficiência hídrica no solo, enquanto o *E. cloeziana* mostrou-se mais sensível, o que refletiu na duração dos experimentos. No E1 o *E. urophylla* demorou três dias mais que o *E. cloeziana* e no E2, o *E. urophylla* demorou quatro dias mais que o *E. cloeziana*, para aparecerem os sintomas de deficiência hídrica nas variáveis de crescimento e desenvolvimento. Outro indício da maior tolerância do *E. urophylla* é o fato de o fechamento estomático ter ocorrido mais tarde (uma FATS menor) do que no *E. cloeziana*, especialmente na E1 (Figuras 7, 10 e 11).

### 5.1.3. Eficiência no uso da água para duas espécies de *Eucalyptus*

A eficiência do uso da água (EUA) refere-se à quantidade de água que a planta utiliza para produzir 1 Kg de massa seca, sendo um indicativo da eficiência de uma espécie em consumir a água.

Não houve interação significativa entre os tratamentos e as espécies. Os valores de EUA no E1 não diferiram estatisticamente entre espécies e somente entre os regimes hídricos, no qual T1 mostrou-se mais eficiente quanto a utilização da água devido ao menor valor de EUA. No E2 houve diferença significativa nos valores de EUA entre as espécies e o *E. urophylla* obteve um valor extremamente discrepante em relação ao obtido pela espécie no E1, demonstrando pouca eficiência no uso da água. Esse valor foi também discrepante ao obtido pelo *E. cloeziana* que manteve o mesmo padrão de EUA nos dois experimentos. O alto valor de EUA no E2 pelo *E. urophylla* pode ser reflexo da alta TRt, tendo em vista ainda, o maior número de dias submetidos a deficiência hídrica com o crescimento e desenvolvimento comprometidos pela deficiência hídrica no solo. Em outras palavras, a planta continuava transpirando, porém investia pouco na produção de biomassa (LIU et al., 2005). Portanto, na E2 o *E. cloeziana* mostrou-se mais eficiente que o *E. urophylla* quanto a utilização da água, devido ao menor valor de EUA.

**Tabela 6** - Eficiência no uso da água para duas espécies de eucalipto submetidas a deficiência hídrica no solo nos dois experimentos de deficiência hídrica. Itajubá, MG, 2013.

Espécie	E1			E2		
	Tratamento T1	Tratamento T2	Média	Tratamento T1	Tratamento T2	Média
<b>Eficiência no uso da água (L H<sub>2</sub>O Kg<sup>-1</sup> massa seca)</b>						
<i>E. urophylla</i>			164,26a			1033,25a
<i>E. cloeziana</i>			210,46a			314,44b
Média	104,22A	242,78B		686,43A	686,12A	

\* Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha, para cada variável e experimento (E1 e E2) não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

Na E2, em ambas espécies, houve maior transpiração total e consumo de água, o que refletiu diretamente nos valores de EUA. Os valores de EUA para o *E. urophylla*, exceto na E2, e para o *E. cloeziana* são compatíveis com os encontrados por Martins et al. (2008) para *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna* com valores entre de 228 à 282 L de H<sub>2</sub>O Kg<sup>-1</sup> de matéria seca. Em geral, a relação entre água transpirada e biomassa formada varia entre 250 a 350 g de H<sub>2</sub>O g<sup>-1</sup>(C) em plantas C4, em plantas CAM a relação entre a água transpirada e a biomassa produzida geralmente é mínima (18 a 125 g de H<sub>2</sub>O g<sup>-1</sup>(C)), enquanto é máxima em plantas C3, onde varia de 450 a 950 g de H<sub>2</sub>O g<sup>-1</sup>(C). Plantas do gênero *Eucalyptus* são classificadas como plantas C3, ou seja, são plantas que não utilizam a água eficientemente.

No entanto, com exceção dos resultados obtidos no E2 para o *E. urophylla*, os resultados para a EUA estão abaixo do esperado por serem plantas C3 (MARENCO; LOPES, 2009).

Analisando a EUA entre os tratamentos para averiguar possíveis diferenças na utilização da água em situação de deficiência hídrica no solo, foi encontrada diferença significativa somente no E1, no qual o T1 utilizou a água mais eficientemente em relação ao T2. O uso de água de maneira eficiente já foi observado para o *Eucalyptus microtheca*, onde em regiões sujeitas à deficiência hídrica prolongada, houve menor acúmulo de biomassa, porém, maior eficiência no uso da água do que em regiões com regime hídrico favorável, com maior acúmulo de biomassa e menor eficiência no uso da água (LI et al., 2000), fato que não foi constatado no E1 desse estudo. Já no E2, a EUA foi semelhante entre os dois regimes hídricos, o que pode ser um indicativo de que as espécies conseguem manter a produção de matéria seca compatível com a taxa de transpiração (LI et al., 2000; STRECK; 2004).

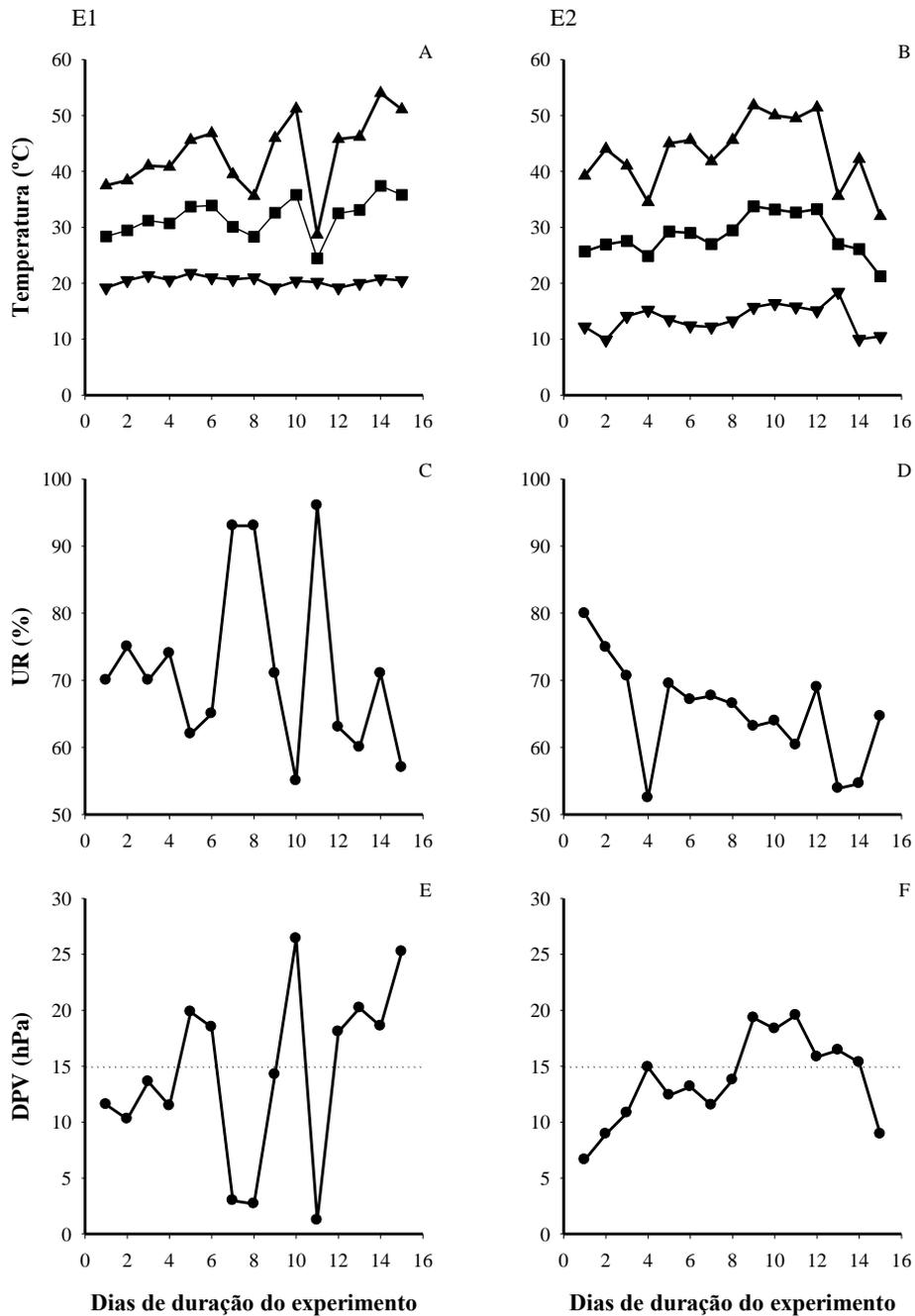
## 5.2. *Corymbia citriodora*

Assim como observado nos experimentos com as duas espécies de eucalipto, as condições meteorológicas durante a aplicação da deficiência hídrica no *Corymbia. citriodora* variaram entre os dois experimentos, embora essa variação tenha sido menor em termos de valores médios de temperatura máxima, umidade relativa do ar e demanda evaporativa do ar (Tabela 7). As temperaturas máximas absolutas do ar foram 51,2°C e 51,8°C e as temperaturas mínimas absolutas do ar foram 19,2°C e 9,9°C, ambas para E1 e E2, respectivamente. Durante a aplicação da deficiência hídrica no E1, período que corresponde a primavera/verão, foram observados maiores valores de UR, enquanto a aplicação da deficiência hídrica no E2, correspondente ao período de outono/inverno, os valores foram menores devido a menor frequência de chuvas nesse período.

**Tabela 7** - Temperatura máxima média do ar (Tmax), temperatura mínima média do ar (Tmin), temperatura média do ar (Tmed), umidade relativa média do ar (UR) e déficit de pressão de vapor médio (DPV), dos dois experimentos (E1 e E2). Itajubá, MG, 2013.

<b>Experimento</b>	<b>Tmax (°C)</b>	<b>Tmin (°C)</b>	<b>Tmed (°C)</b>	<b>UR (%)</b>	<b>DPV (hPa)</b>
E1	43,2	20,4	31,8	71,7	14,3
E2	43,3	13,6	28,5	65,2	13,7

A variação da temperatura máxima, mínima e média do ar, assim como da UR e da demanda evaporativa do ar representado pelo déficit de pressão de vapor (DPV) durante os dois experimentos podem ser visualizados na Figura 12.



**Figura 12** - Temperaturas máximas (▲), médias (■) e mínimas (▼) diárias do ar, em °C, (A e B), umidade relativa do ar (C e D) e déficit de pressão de vapor do ar (DPV) diário (E, F) para o *Corymbia citriodora*. Os painéis A, C e E referem-se ao E1 e os painéis B, D e F referem-se ao E2. As linhas pontilhadas nos painéis E e F representam a divisão dos dias de baixa e alta DPV. Itajubá, MG, 2013.

Os principais eventos relacionados com o *Corymbia citriodora* ocorreram no mesmo período do *E. urophylla*, desde a sementeira, a data da imposição da deficiência hídrica e o término do experimento (exceto na E2). No E1 a sementeira foi realizada no dia 19/10/2012, a imposição da deficiência hídrica ocorreu no dia 27/01/2013 e o término do experimento aconteceu no dia 11/02/2013. Já no E2, a sementeira, a imposição da deficiência hídrica e o término do experimento ocorreram, respectivamente, nos dias 29/04/2013, 14/08/2013 e 29/08/2013. A duração da imposição da deficiência hídrica no E1 e no E2 foi de 15 dias. No E1, oito dias foram considerados de baixa demanda evaporativa do ar (53,3%) e sete dias foram considerados como alta demanda evaporativa do ar (46,7%), enquanto na E2, seis dias foram considerados de baixa demanda (40%) e nove foram considerados como alta demanda evaporativa do ar (60%).

A biomassa radicular, aérea e total inicial e final estão na tabela 8. Houve diferença significativa entre o T1 e o T2 para a biomassa seca final (radicular, aérea e total) nos dois experimentos e as menores médias foram observadas no T2, submetido à deficiência hídrica, o que era esperado, uma vez que houve maior produção de biomassa em plantas com estado fisiológico adequado (SHAO et al., 2008).

**Tabela 8** - Biomassa seca radicular, aérea e total inicial e final para o *Corymbia citriodora* nos dois experimentos referentes a aplicação da deficiência hídrica, Itajubá, MG, 2013.

Valores	E1		Média	E2		Média
	T1	T2		T1	T2	
	<b>Biomassa radicular inicial (g)</b>					
Média			0,68			0,44
	<b>Biomassa radicular final (g)</b>					
Média	2,09A	0,82B		1,09A	0,52B	
	<b>Biomassa aérea inicial (g)</b>					
Média			4,58			3,57
	<b>Biomassa aérea final (g)</b>					
Média	5,65A	1,59B		5,65A	2,61B	
	<b>Biomassa total inicial (g)</b>					
Média			5,26			4,01
	<b>Biomassa total final (g)</b>					
Média	7,75A	2,40B		6,75A	3,14B	

\* Médias seguidas pela mesma letra, para cada variável e experimento (E1 e E2) não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

O fato de não ter ocorrido diferença significativa para o número inicial de folhas, área foliar inicial, altura inicial (exceto para E2) e diâmetro inicial (exceto para E1) inicial entre os

tratamentos (Tabela 9), confirma que as plantas apresentavam o desenvolvimento e o crescimento uniforme no início do experimento. A pequena disparidade com relação ao número de folhas e à altura inicial das plantas no E2 e no diâmetros no E1, que pode ter ocorrido devido à emergência desigual das sementes, assim como o estabelecimento desigual das plântulas no início do experimento, fato considerado normal devido a natureza do material biológico.

Também houve diferença significativa entre T1 e T2 para as variáveis número de folhas (E1), área foliar (E1 e E2) e diâmetro final (E1). O número de folhas final no E2 não diferiu estatisticamente entre o T1 e o T2 uma vez que, com a abscisão foliar, o T2 (que tinha maior número de folhas no início da imposição da deficiência hídrica) igualou-se ao T1, que tinha menor número de folhas. A abscisão foliar é uma importante estratégia da planta em situações de deficiência hídrica, pois reduz a área foliar, e conseqüentemente a área transpirante (SHAO et al., 2008; TAIZ; ZEIGER, 2009).

**Tabela 9** - Parâmetros de desenvolvimento (NF) e de crescimento (AF, h e d) médios mensurados no início e no final do período de imposição da deficiência hídrica, para o *Corymbia citriodora* nos dois experimentos (E1 e E2). Itajubá, MG, 2013.

	E1		E2	
	T1	T2	T1	T2
<b>Número de folhas inicial</b>				
Média	18,00A	15,89A	12,08A	14,00A
<b>Número de folhas final</b>				
Média	19,42A	14,22B	13,00A	11,94A
<b>Área foliar inicial (cm<sup>2</sup>)</b>				
Média	529,22A	449,36A	166,28A	211,68A
<b>Área foliar final (cm<sup>2</sup>)</b>				
Média	542,03A	308,67B	204,94A	51,59B
<b>Altura inicial (cm)</b>				
Média	33,00A	36,57A	20,83A	23,67B
<b>Altura final (cm)</b>				
Média	35,37A	33,52A	23,73A	22,32A
<b>Diâmetro inicial (mm)</b>				
Média	3,61B	4,52A	2,44A	2,54A
<b>Diâmetro final (mm)</b>				
Média	4,06A	3,36B	2,60A	2,43A

\* Médias seguidas pela mesma letra, para cada variável e experimento (E1 e E2) não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

Analisando as médias da AF, h e d no último dia do experimento, percebe-se redução significativa nas médias do T2 quando comparadas as médias do T1. Com exceção da altura (E1 e E2) e do diâmetro final (E2), todas as médias do T2 foram significativamente inferiores as médias obtidas no T1. O caso da h é semelhante ao do NF. Percebe-se redução na média do T2 (de 23,67 cm para 22,32 cm), entre o primeiro e o último dia do experimento, enquanto a média do T1 aumentou (de 20,83 cm para 23,73cm). Porém, como a média inicial do T2 era superior a média inicial do T1 no início do experimento, não foi constatada diferença significativa entre os tratamentos no último dia do E2. Em relação ao diâmetro, devido à pouca redução na sua medida no T2 e um aumento pequeno em T1, não foi detectada uma diferença estatística. Outra questão é que o valor médio do diâmetro no início do experimento era levemente superior no T2 (Tabela 9).

A redução nos parâmetros de crescimento se deve, principalmente, à redução da turgescência celular, a qual reduz a divisão e a expansão celular (STRECK, 2004; LIU et al., 2005). A perda da turgescência celular é decorrente da deficiência hídrica no solo, já que a absorção de água pela planta é inferior à quantidade transpirada.

**Tabela 10** - Transpiração inicial (TRi), final (TRf) e total (TRt) e consumo médio diário de água do *Corymbia citriodora*, submetidos aos tratamentos sem deficiência hídrica (T1) e com deficiência hídrica (T2), nos dois experimentos (E1 e E2). Itajubá, MG, 2013.

	E1		E2	
	T1	T2	T1	T2
<b>Transpiração inicial (g planta<sup>-1</sup>)</b>				
Média	45,42A	42,22A	46,42B	57,50A
<b>Transpiração final (g planta<sup>-1</sup>)</b>				
Média	157,50A	10,28B	126,83A	13,61B
<b>Transpiração total (g planta<sup>-1</sup>)</b>				
Média	1208,33A	525,28B	1267,33A	602,22B
<b>Consumo médio de água (g planta<sup>-1</sup> dia<sup>-1</sup>)</b>				
Média	77,67A	35,02B	84,49A	40,15B
<b>Eficiência no uso da água (L Kg<sup>-1</sup>)</b>				
Média	89,85A	115,73A	407,86A	425,00A

\* Médias seguidas pela mesma letra, para cada variável e experimento (E1 e E2) não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

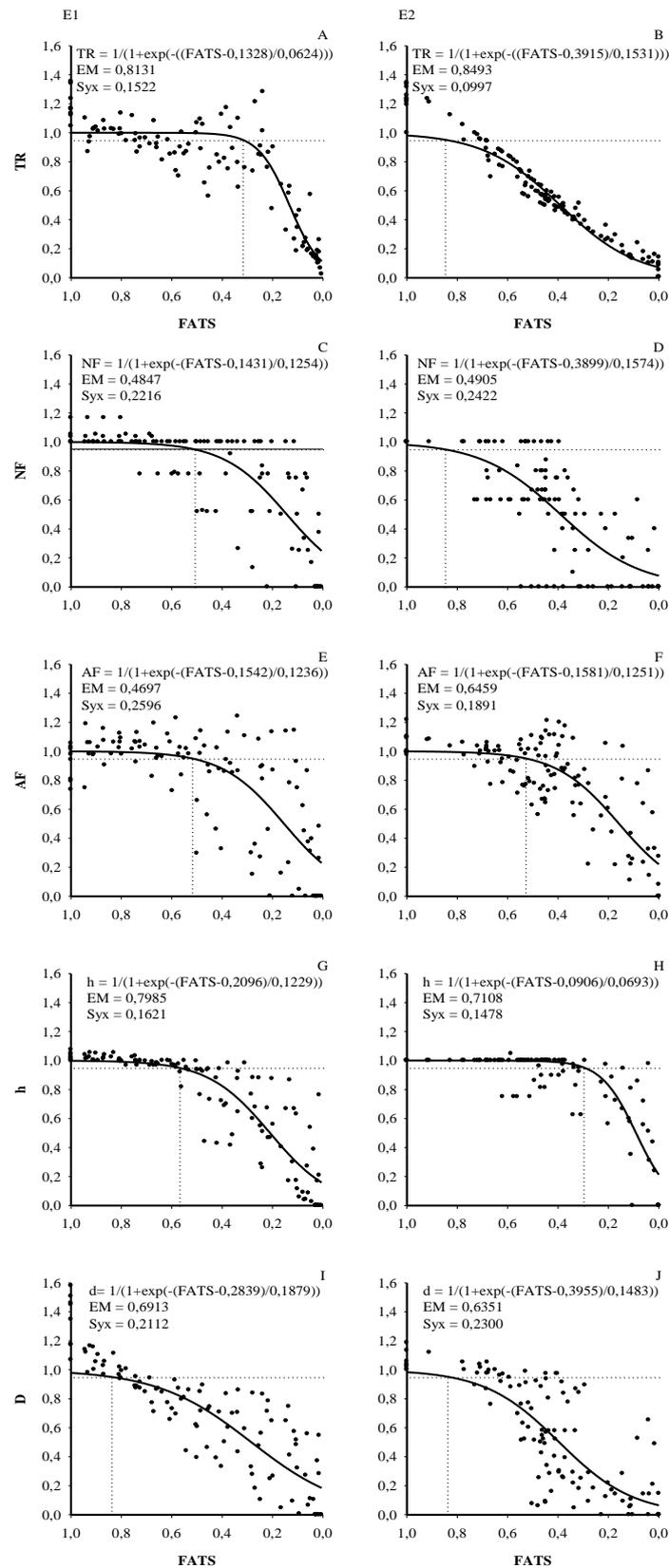
Os valores de transpiração inicial (TRi), final (TRf) e total (TRt) média, do consumo médio de água e eficiência do uso de água (EUA) estão apresentados na tabela 10. Exceto para TRi (E1) e para a EUA, as variáveis apresentaram diferença significativa entre os tratamentos nos dois experimentos, fato esperado e que confirma que as plantas submetidas à deficiência hídrica transpiraram menos devido à escassez de água no solo.

A EUA não diferiu estatisticamente entre os tratamentos, embora o T2 tenha apresentado valores ligeiramente superiores nos dois experimentos. Esses resultados são semelhantes aos encontrados para as duas espécies de *Eucalyptus* nesse estudo, onde o T2, apesar de submetido a deficiência hídrica, consegue alocar biomassa seca de maneira tão eficiente quanto a do T1 devido ao eficiente uso da água (LI et al., 2000). De maneira geral, houve um pequeno aumento da transpiração total e do consumo médio de água no E2, provavelmente devido a menor UR registrada nesse período. Esse aumento na transpiração e no consumo, pode ser um dos fatores que alteraram a EUA entre os dois experimentos, onde no E1, o *C. citriodora* utilizou a água de maneira mais eficiente em relação ao E2, ou seja, utilizou menor quantidade de água para acumular biomassa seca.

O *Corymbia citriodora* mostrou-se mais eficiente em relação a utilização da água para produzir biomassa que diversas culturas anuais como a soja (700 L de H<sub>2</sub>O Kg<sup>-1</sup> de massa seca) (BALBINO et al., 2003) cevada (527 L de H<sub>2</sub>O Kg<sup>-1</sup> de massa seca), batata (575 L de H<sub>2</sub>O Kg<sup>-1</sup> de massa seca), aveia (583 L de H<sub>2</sub>O Kg<sup>-1</sup> de massa seca) (SINGH et al., 2003) e clones de mandioca (252 à 458 L de H<sub>2</sub>O Kg<sup>-1</sup> de massa seca) (LAGO et al., 2011).

Na figura 13 estão plotados os valores normalizados de TR, NF, AF, h e d em função da FATS para o *Corymbia citriodora* no E1 e E2. O patamar adotado para determinar a FATS crítica foi quando TR, NF, AF, h e d atingiram 0,95, ou seja, quando deixaram de ser próximas a 1 (SINCLAIR; LUDLOW, 1986; LAGO et al., 2012). Esse procedimento foi realizado em E1 e E2 afim de detectar possíveis diferenças na resposta da transpiração da espécie quando submetida a deficiência hídrica no solo, em diferentes condições meteorológicas.

Houve uma considerável variabilidade nos dados observados e consequentemente nos valores de FATS crítica entre os dois experimentos, especialmente nas variáveis TR, NF e h. Esta variabilidade também foi verificada em outros estudos, principalmente devido a variação da temperatura do ar e da UR. Menores valores de UR associados a grandes oscilações diárias de temperatura do ar promovem maior consumo de água e consequente maior transpiração (SINCLAIR; LUDLOW, 1986; MARTINS et al., 2008).



**Figura 13** – Transpiração relativa (TR), número de folhas (NF), área foliar (AF), altura (h) e diâmetro (d) normalizados em função da fração de água transpirável no solo (FATS), para o *Corymbia citriodora*, nos dois experimentos. Itajubá, MG, 2013. Os painéis A, C, E, G e I referem-se a E1 e os painéis B, D, F, H e J referem-se a E2.

A FATS em que se inicia a redução de TR foi de 0,32 no E1 (Figura 13A) e 0,85 para E2 (Figura 13B). No E1, as plantas começaram a reduzir a TR a partir do 6º dia de experimento, enquanto no E2 as plantas começaram a reduzir a TR já no segundo dia de imposição da deficiência hídrica. Observando os dados de UR e DPV (Figura 12) percebe-se que no E1 a UR e o DPV mantem-se relativamente no mesmo padrão até o quarto dia do experimento, enquanto que no E2 os valores de UR decrescem, aumentando os valores de DPV até o 4º dia de experimento. Esse fato pode ter contribuído para o fechamento estomático mais cedo no E2, uma vez que houve necessidade de economizar água do solo, devido a redução do conteúdo de água no solo. Embora as condições de UR e da DPV no início do experimento contribuíssem para uma maior transpiração, houve a necessidade do rápido fechamento estomático, uma importante resposta de aclimação da planta em situação de deficiência hídrica no solo, para evitar a perda excessiva de água pela planta (TAIZ; ZEIGER, 2009).

O valor de FATS para o E2 foi superior a muitas culturas agrícolas como soja e feijão mungo (FATS = 0,40), feijão caupi (FATS = 0,30) (SINCLAIR; LUDLOW, 1986), milho (FATS = 0,50) (RAY; SINCLAIR, 1997), arroz (FATS = 0,46) (DAVATGAR et al., 2009), clones de mandioca Fécula Branca (FATS = 0,45) e Fepagro RS 13 (FATS = 0,50) (LAGO et al., 2011) e para o clone de batata – Macaca (FATS = 0,28 à 0,47) (LAGO et al., 2012). O que indica que o *Corymbia citriodora* consegue detectar a falta de água no solo, especialmente em condições de baixa UR do ar e iniciar o fechamento estomático mais cedo para conservar a água no solo por mais tempo que as culturas agrícolas. Este fato, constitui um critério de aclimação da espécie para melhor suportar a deficiência hídrica (MUCHOW; SINCLAIR, 1991). Porém, para a E1 o valor de FATS crítica foi inferior a E2, demonstrando que o controle da perda de água pelo *Corymbia citriodora* é influenciado pela demanda evaporativa do ar. Além disso, o *Corymbia citriodora* consegue regular eficientemente o fluxo de entrada de água pela raiz e o fluxo de saída de água pelas folhas no processo de transpiração em condições de maior demanda evaporativa.

Os valores de FATS que reduziram as variáveis de desenvolvimento e crescimento tiveram pequena variação entre E1 e E2. Para o NF a FATS crítica foi 0,52 e 0,85; para AF a FATS foi de 0,52 e 0,53; para a h foram 0,57 e 0,30, todos valores foram referentes a E1 e E2, respectivamente. Para o d os valores de FATS foram de 0,84 em ambos experimentos (Figura 13). No E1, o NF, a AF, a h e o d responderam a deficiência hídrica antes mesmo que ocorresse redução na TR (FATS = 0,32), o que indica que houve perda da turgescência

celular, afetando o metabolismo das plantas, o qual comprometeu significativamente o desenvolvimento e o crescimento da espécie.

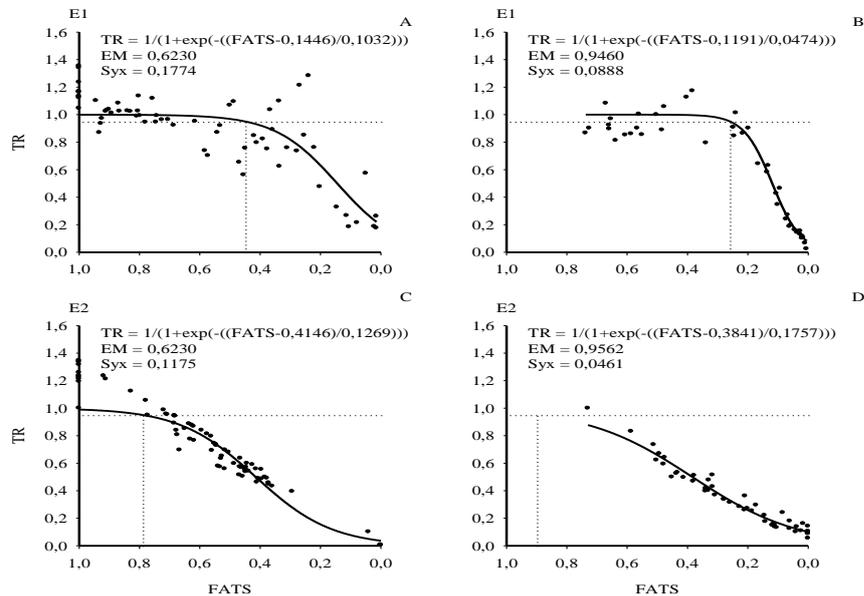
No E2, observou-se maior valor de FATS crítica para TR e NF, demonstrando que em condições de menor UR, as plantas de *Corymbia citriodora* respondem eficientemente à deficiência hídrica no solo. Além disso, a redução do NF reforça a ideia de que a abscisão foliar para reduzir a área transpirante é o principal mecanismo de aclimação a deficiência hídrica no solo.

Ao separar os dados de TR em dias de baixa e alta demanda evaporativa do ar (Figura 14) percebeu-se um comportamento diferente entre o E1 e E2. No E1, a FATS crítica em dias de baixa demanda evaporativa foi igual a 0,45 e a FATS crítica em dias de alta demanda evaporativa foi de 0,26. Esses resultados são contrários aos esperados, que são valores de FATS maiores em condições de alta demanda evaporativa, já que acredita-se que ocorra maior fluxo de água do solo para a planta e conseqüentemente maior transpiração em dias de alta demanda evaporativa do ar. Tal fato pode indicar que, além do controle estomático eficiente, o *Corymbia citriodora* possui outros meios para economizar a água do solo em condições hídricas adversas, já que apresentou tendência de reduzir a transpiração mais cedo, mesmo em condições de baixa demanda evaporativa do ar.

Porém, os resultados de FATS do E1 concordam com os obtidos por LAGO et al. (2011) para a Fécula branca (mandioca). Em trabalhos com soja (FLETCHER et al., 2007), sorgo (GHOLIPOOR et al., 2010) e milho (KHOLOVÁ et al., 2010), houve variabilidade genética na resposta da transpiração, em diferentes condições de demanda evaporativa.

Já para o E2 a tendência de maior valor de FATS crítica em dias de alto DPV foi confirmada, sendo que o valor de FATS foi de 0,90 para dias de alta demanda evaporativa e de 0,79 para dias de baixa demanda evaporativa. Schoppach e Sadok (2012) e Yang et al. (2012) encontraram tendências de aumento linear da transpiração, a medida em que a demanda evaporativa do ar aumenta, até um ponto de quebra, onde a transpiração já não aumentava de acordo com a DPV, para o trigo e para o milho, respectivamente, na maioria das linhagens/cultivares em que trabalharam. Já Wherley e Sinclair (2009) encontraram diferença no comportamento de plantas C3 e C4, onde as plantas C3 apresentaram um ponto de interrupção no aumento da transpiração, à medida em que havia o aumento do DPV, fato que não ocorreu para as plantas C4. Plantas C4, em geral transpiram menos água por molécula de CO<sub>2</sub> fixado, pois possuem variações na rota fotossintética usual para a fixação de CO<sub>2</sub> e conseqüentemente possuem taxa de evapotranspiração consideravelmente menor em relação a plantas C3 (TAIZ; ZEIGER, 2009). Apesar disso, a fotossíntese é pouco limitada em relação

as plantas C3 devido a maior eficiência na conversão energia solar em matéria seca, por possuir maior taxa de fotossíntese por área foliar (MARENCO; LOPES, 2009).



**Figura 14** - Transpiração relativa normalizada (TR) em função da fração de água transpirável no solo (FATS) em dias de baixa e alta demanda evaporativa do ar para o *Corymbia citriodora* em dois experimentos (E1 e E2) em casa de vegetação. Itajubá, MG. 2013. Os painéis A e C referem-se aos dias de baixa demanda evaporativa do ar no E1 e no E2, respectivamente e os painéis B e D referem-se aos dias de alta demanda evaporativa do ar no E1 e no E2, respectivamente.

### 5.3 Análise comparativa entre as três espécies florestais

Por se tratar de gêneros florestais diferentes, a análise inicial foi feita separadamente para as duas espécies de *Eucalyptus* e para o *Corymbia citriodora*. Porém, como são espécies florestais e antigamente eram classificadas como sendo do mesmo gênero (*Eucalyptus*), uma nova análise comparativa foi realizada para averiguar possíveis semelhanças e diferenças de biomassa, padrões de transpiração, consumo e eficiência no uso da água, e também na FATS crítica que afeta a transpiração.

Analisando a biomassa inicial (radicular, aérea e total) das espécies nota-se que não há diferença significativa entre elas, exceto para a biomassa radicular no E2 do *C. citriodora* (Tabela 11). De maneira geral, para as variáveis relacionadas a biomassa final (radicular, aérea e total) houve diferença significativa entre as espécies e os regimes hídricos. Em todas essas variáveis houve redução significativa para as plantas submetidas ao T2, ou seja, o tratamento sem restrição hídrica assimilou mais biomassa seca. Esses números são indicativos

de que o *E. urophylla* investe no crescimento radicular, fator este que pode ter sido fundamental para a maior duração do experimento desta espécie.

**Tabela 11** - Biomassa seca inicial e final (radicular, aérea e total) para as espécies *Corymbia citriodora*, *Eucalyptus urophylla* e *Eucalyptus cloeziana* nos dois experimentos (E1 e E2). Itajubá, MG, 2013.

Espécie	E1		Média	E2		Média
	Tratamento			Tratamento		
	T1	T2		T1	T2	
<b>Biomassa radicular inicial (g)</b>						
<i>C. citriodora</i>			0,68a			0,44b
<i>E. urophylla</i>			2,23a			0,88ab
<i>E. cloeziana</i>			1,94a			1,52a
Média						
<b>Biomassa radicular final (g)</b>						
<i>C. citriodora</i>			1,53ab			0,53b
<i>E. urophylla</i>			1,95a			0,66ab
<i>E. cloeziana</i>			0,85b			0,88a
Média	2,44A	0,78B		0,83A	0,59B	
<b>Biomassa aérea inicial (g)</b>						
<i>C. citriodora</i>			4,58a			3,57a
<i>E. urophylla</i>			4,93a			3,51a
<i>E. cloeziana</i>			7,93a			3,84a
Média						
<b>Biomassa aérea final (g)</b>						
<i>C. citriodora</i>			3,01a			3,83a
<i>E. urophylla</i>			4,05a			2,17b
<i>E. cloeziana</i>			3,50a			3,69a
Média	6,14A	1,78B		4,99A	2,11B	
<b>Biomassa total inicial (g)</b>						
<i>C. citriodora</i>			5,26a			4,02a
<i>E. urophylla</i>			7,17a			4,40a
<i>E. cloeziana</i>			6,36a			3,83a
Média						
<b>Biomassa total final (g)</b>						
<i>C. citriodora</i>			4,54a			4,60ab
<i>E. urophylla</i>			6,00a			2,92b
<i>E. cloeziana</i>			4,35a			4,79a
Média	8,58A	2,55B		6,54A	2,54B	

\* Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha, para cada variável e experimento (E1 e E2) não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. Colunas sem valores significam que a interação entre as fontes de variação, para cada variável, foram não significativas a mesma probabilidade.

Não houve diferença significativa para a variável TRi, exceto entre as espécies no E2, onde o *E. cloeziana* obteve maior TRi. A TRf, referente a transpiração no último dia de

experimento, não apresentou diferença significativa entre as espécies, no E1 e E2, porém, diferiu entre os regimes hídricos, onde o T1 obteve maiores médias devido a maior disponibilidade de água no solo (Tabela 12).

**Tabela 12** - Transpiração inicial (TRi), final (TRf) e total (TRt), consumo médio diário de água e eficiência do uso de água (EUA) das espécies *Corymbia citriodora*, *Eucalyptus urophylla* e *Eucalyptus cloeziana*, submetidos aos tratamentos sem deficiência hídrica (T1) e com deficiência hídrica (T2), nos dois experimentos (E1 e E2). Itajubá, MG. 2013.

Espécie	E1		Média	E2		Média
	Tratamento			Tratamento		
	T1	T2		T1	T2	
<b>Transpiração inicial (g planta<sup>-1</sup>)</b>						
<i>C. citriodora</i>			43,50a			53,07ab
<i>E. urophylla</i>			46,33a			45,17b
<i>E. cloeziana</i>			51,33a			65,36a
Média	47,92A	46,48A		52,71A	55,28A	
<b>Transpiração final (g planta<sup>-1</sup>)</b>						
<i>C. citriodora</i>			69,17a			58,90a
<i>E. urophylla</i>			65,17a			65,83a
<i>E. cloeziana</i>			67,33a			45,00a
Média	153,19A	9,91B		127,85A	12,13B	
<b>Transpiração total (g planta<sup>-1</sup>)</b>						
<i>C. citriodora</i>			798,50a	1267,33bA	602,22aB	
<i>E. urophylla</i>			764,78a	2215,08aA	631,94aB	
<i>E. cloeziana</i>			864,17a	907,00bA	519,72aB	
Média	1217,60A	527,41B				
<b>Consumo médio de água (g planta<sup>-1</sup>)</b>						
<i>C. citriodora</i>			52,08b	84,49aA	40,15aB	
<i>E. urophylla</i>			50,98b	105,48aA	30,09aB	
<i>E. cloeziana</i>			73,00a	53,35bA	30,57aB	
Média	87,56A	39,44B				
<b>Eficiência no uso da água (L Kg<sup>-1</sup>)</b>						
<i>C. citriodora</i>			105,37b			418,15b
<i>E. urophylla</i>			164,25ab			1033,25a
<i>E. cloeziana</i>			210,46a			314,44b
Média	99,43B	200,43A		588,12A	599,08A	

\* Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha, para cada variável e experimento (E1 e E2) não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. Colunas sem valores significam que a interação entre as fontes de variação, para cada variável, foram não significativas a mesma probabilidade.

No E1 a TRt diferiu somente entre os tratamentos, enquanto que no E2 houve interação significativa entre as espécies e regimes hídricos para as variáveis TRt e consumo médio de água. Verificou-se que o *E. cloeziana* transpirou menor quantidade de água no T1

do E2, e no T2 a TRt não diferiu entre as espécies. Houve diferenças nos resultados para a variável consumo médio de água nos dois experimentos. No E1, houve maior consumo de água para o *E. cloeziana*, e no E2 houve maior consumo de água para o *E. urophylla* e *C. citriodora*, ambos em plantas do T1. Para as plantas do T2, não houve diferença significativa para as médias de consumo de água entre as três espécies florestais. Em relação aos tratamentos, a TRt e o consumo de água foram maiores no T1 em relação ao T2, devido a maior disponibilidade hídrica no solo e possibilidade de transpiração máxima.

A análise da EUA entre as três espécies para averiguar possíveis diferenças na utilização da água, demonstrou diferença significativa nos dois experimentos, sendo que no E1 ocorreram menores valores que no E2. O *C. citriodora* mostrou-se mais eficiente na utilização da água no E1, embora não tenha diferido do *E. urophylla*, devido ao seu menor valor de EUA. No E2, o *E. cloeziana* mostrou-se mais eficiente na utilização da água, assim como o *C. citriodora*. Esses resultados confirmam que o *C. citriodora* é uma espécie que utiliza eficientemente a água. Houve diferença significativa entre os tratamentos, apenas no E1 onde plantas do T1 utilizaram a água mais eficientemente em relação a plantas do T2.

Todos os parâmetros de crescimento e desenvolvimento foram afetados pela deficiência hídrica no solo, seja pela perda da turgescência celular (AF, h e d) ou pela ação de hormônios que aceleram a senescência e abscisão foliar (NF) (Figura 15).

Comparando-se os resultados para as três espécies florestais, observam-se semelhanças e diferenças na resposta da transpiração e dos parâmetros de crescimento e desenvolvimento em relação a FATS. De maneira geral, no E1 os valores da FATS crítica foram menores em relação ao E2 (Tabela 13), principalmente para o *C. citriodora* e para o *E. urophylla*. Esses valores corroboram com o indicativo que *C. citriodora* e *E. urophylla* sejam espécies mais tolerante à deficiência hídrica do que o *E. cloeziana*, devido ao menor valor de FATS crítica para a TR nos dois experimentos, enquanto que o *E. cloeziana* é mais sensível à deficiência hídrica devido ao maior valor de FATS crítica. Na condição de alta demanda evaporativa do ar, os valores de FATS crítica são relativamente semelhantes entre o *C. citriodora* e *E. urophylla* (Figura 8C, 8D, 14B, 14D). Além disso, para o experimento de maior demanda evaporativa do ar (E2), os valores de FATS crítica para as duas espécies foram maiores na condição de alta demanda evaporativa do ar, demonstrando que as espécies possuem bom controle estomático em condições de alto DPV. O contrário foi observado no experimento de menor demanda evaporativa do ar (E1), onde os valores de FATS crítica foram menores na condição de alta demanda evaporativa do ar. Esses resultados contraditórios não confirmam a hipótese de Ray et al., (2002).



**Figura 15** - Aspecto das plantas do T1, sem deficiência hídrica e plantas do T2, com deficiência hídrica, no último dia de experimento, para as espécies *Corymbia citriodora* (painel A), *Eucalyptus urophylla* (Painel B) e *Eucalyptus cloeziana* (Painel C). Itajubá, MG, 2013.

**Tabela 13** - Valores de FATS crítica para a transpiração relativa (TR), número de folhas (NF), área foliar (AF), altura (h) e diâmetro (d), para três espécies florestais submetidas a deficiência hídrica no solo, em dois experimentos. Itajubá, MG, 2013.

	<i>C. citriodora</i>		<i>E. urophylla</i>		<i>E. cloeziana</i>	
	E1	E2	E1	E2	E1	E2
<b>FATS TR</b>	0,32	0,85	0,40	0,88	0,84	0,99
<b>FATS NF</b>	0,51	0,85	0,40	0,73	0,89	0,96
<b>FATS AF</b>	0,52	0,53	0,31	0,84	0,74	0,59
<b>FATS h</b>	0,57	0,30	0,78	0,30	0,86	0,66
<b>FATS d</b>	0,84	0,84	0,85	0,88	0,78	0,67

Na condição de baixa demanda evaporativa do ar os valores de FATS crítica para a TR apresentaram diferenças entre as espécies e experimentos, e de maneira geral os valores são

menores para o *C. citriodora* (Figura 14A, 14C). A partir desses resultados foi possível observar que, em condições de baixa demanda evaporativa do ar o *E. cloeziana* reduz a abertura estomática com maior conteúdo de água no solo quando comparada a *C. citriodora* e *E. urophylla*.

Analisando os dados de TR totalizados, pode-se observar que a *E. cloeziana* reduz a abertura estomática e conseqüentemente a transpiração com um conteúdo de água maior no solo (maior valor de FATS), sendo mais sensível em detectar a deficiência hídrica e mais eficiente em conservar a água no solo que as outras duas espécies. Em contrapartida, o *C. citriodora* e o *E. urophylla* apesar de fecharem os estômatos com conteúdo de água menor no solo (menor valor de FATS), conseguem suportar a deficiência hídrica por maior período de tempo, indicando que as duas espécies são mais tolerantes à deficiência hídrica no solo.

Os valores de FATS crítica para o NF e AF para as três espécies florestais, de maneira geral, foram superiores ou próximos a FATS crítica para a TR, o que pode indicar que a redução da área foliar é a principal linha de defesa das espécies florestais para suportar a deficiência hídrica severa e, ainda, que as espécies aceleram a senescência e abscisão foliar para reduzir a área foliar. A FATS crítica para a h e d variaram entre as espécies, porém, de maneira geral mostraram-se mais sensíveis na E1. Com a seca prolongada no solo, a planta tende a realocar a água de alguns tecidos para suprir a transpiração e manter os tecidos em temperatura adequada as atividades metabólicas, provocando a redução da turgescência celular, e a conseqüente redução nesses parâmetros de crescimento (STRECK, 2004).

## 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Existem poucos estudos acerca do comportamento de espécies perenes em condições de deficiência hídrica no solo representada pela FATS, ainda mais quando se considera a demanda evaporativa do ar como variável meteorológica que influência nos padrões de transpiração. Esse estudo abre precedentes para a realização de pesquisas para detectar o comportamento do eucalipto em condições de deficiência hídrica, em diferentes condições de demanda evaporativa, afim de selecionar espécies mais tolerantes a seca. Além disso, há escassez de estudos dessa natureza em espécies nativas, principalmente quando essas espécies não tem interesse comercial.

## 7. CONCLUSÕES

Houve variações das respostas da transpiração e dos parâmetros de crescimento e desenvolvimento para as três espécies florestais submetidas à deficiência hídrica no solo nos dois experimentos. O *Eucalyptus cloeziana* mostrou-se mais sensível à deficiência hídrica no solo nos dois experimentos. O *Corymbia citriodora* e o *Eucalyptus urophylla* obtiveram mudanças abruptas de FATS crítica entre os dois experimentos e ambas podem ser consideradas mais tolerante à deficiência hídrica no solo que a *Eucalyptus. cloeziana*.

A demanda evaporativa do ar afetou os valores de FATS crítica para a TR nas três espécies florestais de maneira distinta nos dois experimentos, sendo mais significativa no *Corymbia citriodora* e no *Eucalyptus urophylla*. Separando-se os dados em dias de baixa e alta DPV, notou-se pouca diferença na FATS crítica com exceção ao *Corymbia citriodora*, no qual obteve maior FATS crítica em dias de baixa DPV em relação a FATS em dias de alta DPV no E1, fato contrário ao ocorrido no E2 e no E1 com o *Eucalyptus cloeziana*, no qual em dias de alta demanda evaporativa a FATS foi maior em relação a dias de baixa DPV.

Os parâmetros de crescimento e desenvolvimento das três espécies florestais foram afetados pela deficiência hídrica, a medida em que havia a redução no conteúdo de água no solo. De maneira geral, no E1 os parâmetros de crescimento e desenvolvimento responderam a deficiência hídrica no solo mais cedo ou em padrão semelhante ao da transpiração. Já no E2 a transpiração reduziu já nos primeiros dias de experimento, mantendo os tecidos irrigados por mais tempo, o que determinou que o crescimento e desenvolvimento tenham sido afetados pela deficiência hídrica no solo depois em relação a transpiração.

O *Corymbia citriodora* mostrou-se mais eficiente quanto à utilização da água para produzir biomassa seca em relação as outras espécies e o *Eucalyptus urophylla* mostrou uma grande discrepância nos resultados entre os dois experimentos.

## 8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALFENAS, A.C.; ZAUZA, E.A.V.; MAFIA, R.G.; ASSIS T.F. **Clonagem e doenças do eucalipto**. 2a edição Viçosa, UFV, 2009. 500p.
- ALBERTO, C. M.; STRECK, A.N; HELDWEIN, A.B; BURIOL, G.A.; MEDEIROS, S.L. Água no solo e rendimento do trigo, soja e milho associados ao El Niño Oscilação Sul. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 41, n. 7, p. 1067-1075, 2006.
- ALMEIDA, F.D.; XAVIER, A.; DIAS, J.M.M.; NOGUEIRA, H.P. Eficiência das auxinas (AIB e ANA) no enraizamento de mini-estacas de clones de *Eucalyptus cloeziana* F. Muell. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 31, n.3, p.455-463, 2007.
- APPEZZATO-DA-GLÓRIA, B.; CARMELLO-GUERREIRO, S.M. **Anatomia vegetal**. 3ª ed. Viçosa: Editora UFV, 2006, 438p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS. **Anuário Estatístico da ABRAF 2013: ano base 2012**. Brasília, 2013. Disponível em: <[http://www.abraflor.org.br/estatisticas/ABRAF13/ABRAF13\\_BR.pdf](http://www.abraflor.org.br/estatisticas/ABRAF13/ABRAF13_BR.pdf)>. Acesso em 21 dez. 2012.
- ASSOCIAÇÃO MINEIRA DE SILVICULTURA. **Florestas plantadas: Um caminho para o desenvolvimento**. Belo Horizonte, 2013. Disponível em:< <http://silviminas.com.br>>. Acesso em 20 dez. 2013.
- BAESSO, R.C.E.; RIBEIRO, A.; SILVA, MARIANO PEREIRA. Impacto das mudanças climáticas na produtividade do eucalipto na região norte do Espírito Santo e sul da Bahia. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v.20, n.2, p.335-344, 2010.
- 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. 44p. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento; n.8).
- BARROS, R.S.; MAESTRI, M.; LATANZE, R.J. Determinação da área de folhas de café (*Coffea arabica* L.CV “BOURBON AMARELO”). **Revista Ceres**, Viçosa, v.20. p.44-52, 1973.
- BERNARDI, M.R.; JUNIOR, M.S.; DANIEL, O.; VITORINO, A. C.T. Crescimento de mudas de *Eucalyptus citriodora* em função do uso de hidrogel e adubação. **Cerne**, Lavras, v.18, n.1, p.67-74, 2012.
- 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.
- BINDI, M.; BALLESSI, S.; ORLANDINI, S.; FIBBI, L.; MORIONDO, M.; SINCLAIR, T. Influence of water deficit stress on leaf area development and transpiration of Sangiovese Grapevines grown in pots. **American Journal of Enology and Viticulture**, Davis, v. 56, n. 1, p. 68-72, 2005.
- BRAY, E.A. Plant responses to water deficit. **Trend in Plant Science**, London, v.2, n.2, p.48-54, 1997.
- CALDEIRA, M.V.W.; SCHUMACHER, M.V.; BARICHELLO, L.R.; VOGEL, H.L.M.; OLIVEIRA, L.S. Crescimento de mudas de *Eucalyptus saligna* Smith em função de diferentes doses de vermicomposto. **Revista Floresta**, Curitiba, v. 28, n. 1/2, p. 19-30, 2000.

- CARLESSO, R. Absorção de água pelas plantas: Água disponível versus água extraível e a produtividade das culturas. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.25, n.1, p.183-188, 1995.
- CARLESSO, R.; SANTOS, R.F. Disponibilidade de água às plantas de milho em solos de diferentes texturas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 23, p.27-33, 1999.
- CARLESSO, R.; ZIMMERMANN, L. F. **Água no solo: parâmetros para dimensionamento de sistemas de irrigação**. Santa Maria: UFSM- Departamento de Engenharia Rural, 2000. 88 p.
- CARVALHO, R. M. M. A.; SOARES, T. S.; VALVERDE, S. R. Caracterização do setor florestal: uma abordagem comparativa com outros setores da economia. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 15, n. 1, p. 105-118, 2000.
- 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**, Amsterdam, v. 28, n. 4, p. 646-654, 2008.
- CASTRO, R.V.O.; MENDES, A.F.N.; ATAÍDE, G.M.; COSTA, C.B; VIEIRA, J.P.G.; SANTOS, R.C.; SOARES, C.P.B.; ARAÚJO JÚNIOR, C.A. Projeções da produção de celulose de fibra curta no Brasil. **Floresta**, Curitiba, v.41, n. 2, p.369-376, 2011.
- CASTRO, R.V.O.; MENDES, A.F.N.; ATAÍDE, G.M.; ARAÚJO JÚNIOR, C.A.; MARCATTI, G.E.; COSTA, C.B. Análise econométrica da produção da madeira serrada no Brasil. **Floresta**, Curitiba, v.42, n.4, p.661-670, 2012.
- CATHEY, S.E.; KRUSE, J.K.; SINCLAIR, T.R.; DUKES, M.D. Transpiration and visual appearance of earl season turfgrasses during soil drying. **Environmental and Experimental Botany**, Amsterdam, v. 89, p. 36-43, 2012.
- CELETTE, F.; GARY, C. Dynamics of water and nitrogen stress along the grapevine cycle as affected by cover cropping. **European Journal of Agronomy**, Amsterdam, v.45. p.142-152, 2013.
- COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO DO ESTADO DE MINAS GERAIS. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5º aproximação**. Viçosa, MG: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1999. p. 289-302.
- DAVATGAR, N; NEISHABOURI, M.R; SEPASKHAH, A.R.; SOLTANI, A. Physiological and morphological responses of rice (*Oryza sativa* L.) to varying water stress management strategies. **International Journal of Plant Production**, Gorgã, v. 3, n. 4, p. 19-32, 2009.
- DEVI, J.M.; SINCLAIR, T.R.; VALDEZ,V.; KRISHNAMURTHY, L. Peanut Genotypic variation in transpiration efficiency and decreased transpiration during progressive soil drying. **Field Crops Research**, Amsterdam, v.114, p.280-285, 2009.
- DIAS, B.A.S.; MARQUES, G.M.; SILVA, M.L.; COSTA, J.M.F.N. Análise econômica de dois sistemas de produção de mudas de eucalipto. **Floresta e Ambiente**, Rio de Janeiro, v.18, n.2, 2011.
- 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**, Amsterdam, v.61, n.2, p. 145-151, 2007.
- GHOLIPOOR, M; VARA, P.V.V.; MUTAVA, R.N.; SINCLAIR, T.R. Genetic variability of transpiration response to vapor pressure deficit among sorghum genotypes. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 119, n. 1, p. 85-90, Oct. 2010.

- GHOLIPOOR, M.; SINCLAIR, T.R.; PRASSAD, P.V.V. Genotypic variation within sorghum for transpiration response to drying soil. **Plant and Soil**, Amsterdam, v. 357, p. 35-40, 2012.
- GILBERT, M.E.; HOLBROOK, M.A.; SADOK, W.; SINCLAIR, T.R. Field confirmation of genetic variation in soybean transpiration response to vapor pressure deficit and photosynthetic compensation. **Field Crop Research**, Amsterdam, v. 124, p. 85-92, 2011.
- GONÇALVES, M.R.; PASSOS, C.A.M. Crescimento de cinco espécies de eucalipto submetidas a déficit hídrico em dois níveis de fósforo. **Ciência Florestal**. Santa Maria, v. 10, n.2, p.145-161, 2000.
- HEINEMANN, AB.; STONE, LF.; FAGERIA, NK. Transpiration response to water deficit during vegetative and reproductive phases of upland rice cultivars. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.68, n.1, p.24-30, 2011.
- JACOBSEN, S. E.; LIU, F.; JENSEN, C. R. Does root-sourced ABA play a role for regulation of stomata under drought in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v.122, n. 2, p. 181- 287.
- KHOLOVÁ, J.; HASH, C.T; KUMAR, P.L.; YADAV, R.S; KOCOVA, M.; VADEZ, V. Terminal drought-tolerant pearl millet [*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.] have high leaf ABA and limit transpiration at high vapour pressure deficit. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 61, n. 5, p. 1431-1440, 2010.
- KINIRY, J.R.; LANDIVAR, J.A.; GERIK, T.J.; CAVERO, J.; WADE, L.J. Radiation-use efficiency response to vapor pressure deficit for maize and sorghum. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 56, n. 3, p. 265–270, 1998.
- LACAPE, M.J.; WERY, J.; ANNEROSE, D.J.M. Relationships between plant and soil water status in five field-grown cotton (*Gossypium hirsutum* L.) cultivars. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 57, p.29-43, 1998.
- LAGO, I. **Transpiração e crescimento foliar de clones de batata e de mandioca em resposta à fração de água transpirável no solo. 2011. 92 f.** Tese (doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade de Santa Maria, Santa Maria, 2011.
- 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**, Brasília, 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**, Viçosa, v.36, p.746-754, 2012.
- LARCHER, W.. **Ecofisiologia vegetal**. São Carlos: Rima, 2000. 215 p.
- LECOEUR, J.; SINCLAIR, R.T. Field pea transpiration and leaf growth in response to soil water deficits. **Crop Science**, Madison, v. 36, n. 2, p. 331-335, 1996.
- LECOEUR, J. GUILIONI, L. Rate of leaf production in response to soil water deficits in field pea. **Field Crops Research**, Amsterdam, v.57, n. 3, p. 319-328, 1998.
- LI, C. Population differences in water-use efficiency of *Eucalyptus microtheca* seedlings under different watering regimes. **Physiologia Plantarum**, Irlanda, v. 108, p. 134-139, 2000.
- LIU, F.; JENSEN, C.R.; SHAHANZARI, A.; ANDERSEN, M.N.; JACOBSEN, E.E. ABA regulated stomata control and photosynthetic water use efficiency of potato (*Solanum*

*tuberosum* L.) during progressive soil drying. **Plant Science**, Lamerick, v. 168, n. 3, p. 831–836, 2005.

MARCHIORI, J.N.C.; SOBRAL, M. **Dendrologia das Angiospermas – Myrtales**. Santa Maria: Ed. UFSM, 1997. 213-241p.

MARENCO, R.A.; LOPES, N. F. **Fisiologia vegetal: Fotossíntese, respiração, relações hídricas e nutrição mineral**. 3ª edição. Viçosa: UFV, 2009. 486 p.

MARTINS, F.B. **Desenvolvimento e estresse hídrico em mudas de *Eucalyptus grandis* (Hill ex Maiden) e *Eucalyptus saligna* (Smith)**. 2007. 73 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2007.

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**, Viçosa, v.32, n.3, p.1297-1306, 2008.

MARTINS, F.B.; REIS, D.F da.; PINHEIRO, M.V.M. Temperatura base e filocrono em duas cultivares de oliveira. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.42, n.11, p.1975-1981, 2012.

MORA, A.; GARCIA, C. **A cultura do eucalipto no Brasil**. São Paulo: Sociedade Brasileira de Silvicultura, 2000, 112p.

MORENO-FONCECA, L.P. Respuesta de las plantas al estrés por déficit hídrico. Una revisión. **Agronomía Colombiana**, Bogotá, v.27, n.2, p.179-191, 2009.

MUCHOW, R. C.; SINCLAIR, T. R. Water deficits effects on maize yields modeled under current and “greenhouse” climates. **Agronomy Journal**, Madison, v.83, n.6, p.1052-1059, 1991.

NAVROSKI, M.C.; BIALI, L.J.; BIANCHIN, J.E.; CAMARGO, L.; SCHUMACHER, M. Quantificação de biomassa e comprimento de raízes finas em povoamentos de *Eucalyptus cloeziana* F. Muell. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Brasília, v.5, n.4, p.535-540, 2010.

PARRA-O, C.; BAYLY, M.; UDOVIC, F.; LADIGES, P. ETS sequences support the monophyly of the eucalypt genus *Corymbia* (Myrtaceae). **Taxon**, Viena, v. 55, n. 3, p. 653-663, 2006.

PELLEGRINO, A.; GOZÉ, E.; LEBON, E. WERY, J. A model-based diagnosis tool to evaluate the water stress experienced by grapevine in field sites. **European Journal of Agronomy**. Amsterdam, v. 25, n. 1, p. 49-59, 2006.

PEREIRA, M.R.R; SOUZA, G.S.F.; RODRIGUES, A.C.P.; MELHORANÇA FILHO, A.L.; KLAR, A. E. Análise de crescimento em clones de eucalipto submetidos a estresse hídrico. **Irriga**, Botucatu, n.15, n.1, p. 98-110, 2010.

PEREIRA, T.T.C.; KER, J.C.; ALMEIDA, C.C. Qualidade de solos cultivados com eucalipto na região central de Minas Gerais: atributos físicos, químicos e mineralógicos. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Brasília, v. 7, suplemento, p. 706-713, 2012.

PIMENTEL, C. **A relação da planta com a água**. Seropédica: UFRRJ, 2004. 191 p.

RAY, J. D.; SINCLAIR, T. R. Stomatal conductance of maize hybrids in response to drying soil. **Crop Science**, Madison, v. 37, n. 3, p. 803-807, 1997.

- 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**, Amsterdam, v. 239, n. 1, p. 113–121, 2002.
- REICHARDT, K.; TIMM, L.C. **Solo, planta e atmosfera: conceitos processos e aplicações**. Barueri: Manole, 2004, 478p.
- REIS, C.G.; REGAZZI, A.J. Determinação da área foliar do guaranazeiro: folíolos isolados e folhas compostas. **Revista Árvore**, Viçosa, v.9, p. 163-70, 1980.
- REZENDE, J.B.; PEREIRA, J.R.; BOTELHO, D.O. Expansão da cultura do eucalipto nos municípios mineiros e gestão ambiental. **Cerne**, Lavras, v.19, n.1, p.1-7, 2013.
- SANTOS, G.P.; ZANUNCIO, T.V.; VINHA, E.; ZANUNCIO, J.C. Influência de faixas de vegetação nativa em povoamentos de *Eucalyptus cloeziana* sobre população de *Oxydia vesulia* (Lepidoptera: geometridae). **Revista Árvore**, Viçosa, v.26, n.4, p.499-504, 2002.
- SANTOS, R. F.; CARLESSO, R. Déficit hídrico e os processos morfológico e fisiológico das plantas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 2, n. 3, p. 287-294, 1998.
- SCHNEIDER, P.R. **Análise de regressão aplicada à Engenharia Florestal**. 2. ed. Santa Maria: Ed. UFSM/CEPEF, 1998. 236p.
- 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**, Amsterdam, v.84, p.1-10, 2012.
- SHAO, H. et al. Water-deficit stress-induced anatomical changes in higher plants. **Comptes Rendus Biologies**, Paris, v. 331, n. 3, p. 215–225, 2008.
- SHAO, H.; CHU, L.; JALEEL, C.A.; MANIVANNAN, P.; PENNEERSELVAM, R.; SHAO, M.A. Understanding water deficit stress-induced changes in the basic metabolism of higher plants—biotechnologically and sustainably improving agriculture and the environment in arid regions of the globe. **Critical Reviews in Biotechnology**, Cleveland, v.29, n.2, p.131-151, 2009.
- SIGMAPLOT, **Scientific Data Analysis and Graphing Software**. For windows, version 11.0. Systat Software, 2008.
- SILVA, W.;SEDIYAMA, T.; SILVA, A.A.; CARDOSO, A.A. Índice de consumo e eficiência do uso da água em eucalipto, submetido a diferentes teores de água em convivência com a braquiária. **Floresta**, Curitiba, v.34, n.3, p.325-335, 2004.
- SILVA, J.C. **Manual prático do fazendeiro florestal. Produzindo madeira com qualidade**. Viçosa, 2011, 110p.
- SILVA, P.H.M.; KAGER, D. GONÇALVES, J.L.M.; GNÇALVES, A.N. Produção de mudas clonais de eucalipto em espuma fenólica: crescimento inicial e mortalidade. **Cerne**, Lavras, v.18, n.4, p.639-649, 2012.
- 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**, Collingwood, v.13, n.3, p.329-341,1986.

SINCLAIR, T. R.; HAMMOND, L. C.; HARRISON, J. Extractable Soil Water and Transpiration Rate of Soybean on Sandy Soils. **Agronomy Journal**, Madison, v. 90, n. 3, p. 363-368, 1998.

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

SINGH, D.K.; BIRD, P.R.; SAUL, G.R. Maximising the use of soil water by herbaceous species in the high rainfall zone of southern Australia: a review. **Australian Journal of Agricultural Research**, v.54, n.7, p.667-691, 2003.

SOCIEDADE BRASILEIRA DE SILVICULTURA (SBS). **Fatos e números do Brasil florestal**. São Paulo, 2008. Disponível em: <<http://www.sbs.org.br/FatoseNumerosdoBrasilFlorestal.pdf>>.

SOUZA, G.S. **Introdução aos modelos de regressão linear e não linear**. Brasília: EMBRAPA-SPI, 1998. 505p.

STAPE, J.L.; BINKLEY, D.; RYAN, G.M. Eucalyptus production and the supply, use and efficiency of use of water, light and nitrogen across a geographic gradient in Brazil. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v.193, n.1/2, p. 17 - 31, 2004.

STAPE, J. L.; BINKLEY, D.; RYAN, M. G. *Eucalyptus* production and the supply, use and efficiency of use of water, light and nitrogen across a geographic gradient in Brazil. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 193, n. 1/2, p. 17-31, 2004.

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

TAHIR, F.M.; IBRAHIM, M.; HAMID, K. Effect of drought stress on vegetative and reproductive growth behavior of mango (*Mangifera indica* L.). **Asian Journal of Plant Sciences**. Islamabad, v.2, n.1, p.116-118, 2003.

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

VIANELLO, R.L.; ALVES, A.R. **Meteorologia Básica e Aplicações**. 2ª ed. Viçosa: Editora UFV, 2012, 460p.

VITTI, A.M.S.; BRITO, J.O. **Óleo essencial de eucalipto**. Piracicaba, 2003. 26 p.

WELCKER, C.; SADOK, W.; DIGNAT, G.; RENAULT, M.; SALVI, S.; CHARCOSSET, A.; TARDIEU, F. A common genetic determinism for sensitivities to soil water deficit and evaporative demand: Meta-analysis of quantitative trait loci and introgression lines of maize. **Plant Physiology**, Belmont, v.157, p.718-729, 2011.

WHERLEY, B. G.; SINCLAIR, T. R. Differential sensitivity of C3 and C4 turfgrass species to increasing atmospheric vapor pressure deficit. **Environmental and Experimental Botany**, Elmsford, v. 67, n. 2, p. 372-376, 2009.

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**, Elmsford, v. 78, p. 157-162, 2012.