



LUÍS ANTONIO FONSECA TEIXEIRA

**INFLUÊNCIA DA RUSTIFICAÇÃO NO
COMPORTAMENTO FISIOLÓGICO DE
MUDAS DE *Eucalyptus urograndis* SUBMETIDAS
AO DÉFICE HÍDRICO.**

LAVRAS - MG

2012

LUÍS ANTONIO FONSECA TEIXEIRA

**INFLUÊNCIA DA RUSTIFICAÇÃO NO COMPORTAMENTO
FISIOLÓGICO DE MUDAS DE *Eucalyptus urograndis* SUBMETIDAS AO
DÉFICE HÍDRICO.**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, área de concentração Ciências Florestais, para obtenção do título de Mestre.

Orientador

Prof. Dr. Antonio Claudio Davide

LAVRAS - MG

2012

**Ficha Catalográfica Preparada pela Divisão de Processos Técnicos da
Biblioteca da UFLA**

Teixeira, Luis Antonio Fonseca.

Influência da rustificação no comportamento fisiológico de mudas de *Eucalyptus urograndis* submetidas ao déficit hídrico / Luis Antonio Fonseca Teixeira. – Lavras : UFLA, 2012.

47 p. : il.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Lavras, 2012.

Orientador: Antônio Cláudio Davide.

Bibliografia.

1. Produção de mudas. 2. Relações hídricas. 3. Estresse hídrico.
4. Acimação. I. Universidade Federal de Lavras. II. Título.

CDD – 634.9734204542

LUÍS ANTONIO FONSECA TEIXEIRA

**INFLUÊNCIA DA RUSTIFICAÇÃO NO COMPORTAMENTO
FISIOLÓGICO DE MUDAS DE *Eucalyptus urograndis* SUBMETIDAS AO
DÉFICE HÍDRICO.**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, área de concentração Ciências Florestais, para obtenção do título de Mestre.

APROVADA em 17 de fevereiro de 2012.

Prof. Dr. Antonio Claudio Davide UFLA

Prof. Dr. João Paulo Rodrigues Delfino Barbosa UFLA

Prof. Dr. Anderson Cleiton José UFLA

Prof. Dr. Antonio Claudio Davide
Orientador

**LAVRAS - MG
2012**

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Lavras (UFLA) e ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal (PPGEF), pela oportunidade concedida para realização do mestrado.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela concessão da bolsa de estudos.

Aos professores Antonio Claudio Davide e João Paulo Rodrigues Delfino Barbosa, pela orientação.

Ao Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia do Café (INCT/Café) e a empresa Bela Vista Florestal.

A minha esposa Bruna, pela participação em todas as etapas deste trabalho.

Aos amigos Iberê, Raffaella, Elma e Edson, pela ajuda na condução dos experimentos.

RESUMO

Este trabalho teve como objetivo avaliar a influência da rustificação nas respostas fisiológicas e na sobrevivência de mudas de *Eucalyptus urograndis*, clone I144, ao final do ciclo de produção e quando submetidas a diferentes regimes hídricos nas épocas seca e chuvosa. Para avaliação inicial foram utilizadas mudas não rustificadas e rustificadas, ainda nos tubetes, já para os tratamentos hídricos as mudas foram plantadas em vasos em casa de vegetação e irrigadas até atingirem a capacidade de campo, os tratamentos hídricos consistiram na manutenção da capacidade de campo e na suspensão da irrigação. Aos 1, 3, 6 e 10 dias após o plantio, foram avaliados a fotossíntese, condutância estomática, transpiração e potencial hídrico foliar, com auxílio de um analisador a gás infravermelho (IRGA) e bomba de pressão. Diariamente até o 15º dia foi avaliado o número de plantas que apresentaram ponto de murcha aparente e a mortalidade. A avaliação inicial das mudas revelou não haver diferenças significativas entre a rustificação em cada época, as mudas não rustificadas na época seca apresentaram valores superiores de potencial hídrico e fotossíntese em relação a ambos os tratamentos na época chuvosa. As mudas plantadas sob diferentes regimes hídricos apresentaram diferença quanto a rustificação para as variáveis fisiológicas apenas na época seca, sendo o potencial hídrico foliar o principal indicador do grau de rustificação das mudas. Na época seca as mudas rustificadas apresentaram sintomas de ponto de murcha permanente antes das não rustificadas e a mortalidade ocorreu somente no último dia de avaliação. Na época chuvosa não houve diferença entre a rustificação quanto ao aparecimento do ponto de murcha aparente, mais sim na mortalidade, chegando a 94% das mudas não rustificadas e 72% das rustificadas ao final do experimento.

Palavras-chave: Relações hídricas. Estresse hídrico. Produção de mudas.

ABSTRACT

This study aimed to evaluate the influence of hardening on survival and physiological responses of *Eucalyptus urograndis*, clone I144, seedlings at the end of production cycle and when under different water regimes in the dry and rainy seasons. For initial assessment were used hardened and non-hardened seedlings, still in the plastic tubes, and for the water treatments, the seedlings were planted in pots in a greenhouse and irrigated, the treatments were the maintenance of field capacity and suspension of irrigation. At 1, 3, 6 and 10 days after planting, the following parameters were measured: photosynthesis, stomatal conductance, transpiration rate and leaf water potential using an infrared gas analyser (IRGA) and pressure pump. The number of plants showing apparent wilting point and mortality was assessed daily until day 15. The initial evaluation of the plants revealed no significant differences between the hardenings in each season. The non-hardened seedlings in dry season showed higher values of water potential and photosynthesis in relation to both treatments in the rainy season. The seedlings grown under different water regimes presented difference regarding the hardening for the physiological variables only in the dry season, leaf water potential being the main indicator of the degree of seedlings hardening. In the dry season, the hardened seedlings showed symptoms of wilting point before the non-hardened ones and mortality occurred only in the last day of evaluation. In the wet season there was no difference between the hardenings in relation to the onset of apparent wilting point, however, mortality began earlier, reaching 94% of the non-hardened seedlings and 72% of the hardened ones at end of the experiment.

Keywords: Water relations. Water stress. Production of seedlings.

SÚMARIO

1 INTRODUÇÃO	8
2 OBJETIVOS	10
2.1 Objetivo geral	10
2.2 Objetivos específicos	10
3 REFERENCIAL TEÓRICO	11
3.1 O processo de rustificação de mudas	11
3.2 Efeito do déficit hídrico nos processos morfofisiológicos das plantas.....	13
4 MATERIAIS E MÉTODOS	21
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	25
5.1 Avaliação inicial das mudas	25
5.2 Variáveis ambientais.....	26
5.3 Trocas gasosas e potencial hídrico foliar	29
5.3.1 Fotossíntese líquida.....	31
5.3.2 Condutância estomática	32
5.3.3 Transpiração.....	34
5.3.4 Potencial hídrico foliar.....	35
5.4 Ponto de murcha aparente e mortalidade	36
6 CONCLUSÕES	40
REFERÊNCIAS	41

1 INTRODUÇÃO

No Brasil, as florestas de eucalipto ocupam extensas áreas e vem apresentando altas taxas de crescimento anual. O estado de Minas Gerais possui a maior área reflorestada com eucalipto do Brasil, cerca de 1.300.000 ha (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS, 2010) e na sua maioria os reflorestamentos estão localizados na região centro-oeste e norte do estado, onde há a ocorrência de déficit hídrico.

A maioria dos plantios são realizados com clones, caracterizados por propriedades da madeira adaptadas à sua destinação, alta produtividade e à resistência ao déficit hídrico, entre outras características silviculturais. O processo de produção de mudas clonais de eucalipto se desenvolve durante todo ano e, conseqüentemente, o plantio no campo se estende pelo mesmo período de tempo. Na estação seca o plantio é realizado com irrigações e hidrogel, um retardante dos intervalos entre irrigações.

Ao final do ciclo de produção, em torno de 15 dias antes da expedição, as mudas são submetidas a um processo de aclimatação específico chamado de rustificação, que consiste na redução gradativa da quantidade e intensidade de irrigação, associada a uma diminuição da relação N/K nas adubações de cobertura, levando as plantas a manifestarem efeitos resultantes de alterações fisiológicas (diminuição do potencial hídrico foliar, ajuste osmótico, acúmulo de ácido abscísico), e morfológicas (redução da área foliar, aumento da lignificação do caule e da relação raiz/parte aérea).

Essas características definem a rustificação como uma estratégia na solução dos problemas enfrentados na implantação da cultura do eucalipto em regiões com ocorrência de déficit hídrico e ou veranicos, levando a uma menor mortalidade e um maior crescimento inicial. Entretanto a rustificação de mudas nas empresas é feita de maneira uniforme durante o ano todo independentemente

das variáveis climáticas ainda no viveiro ou a que serão submetidas no campo, assim, um grau inadequado de rustificação pode levá-las à dormência ou mumificação o que retardaria o crescimento inicial após o plantio, ou por outro lado, a morte por falta de adaptação ao déficit hídrico.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Este estudo tem como objetivo geral avaliar a influência da rustificação e da época do ano, na sobrevivência e características fisiológicas de mudas do clone I144 de *Eucalyptus urograndis*, sob diferentes condições de disponibilidade hídrica no solo.

2.2 Objetivos específicos

Avaliar o grau de rustificação de mudas do clone I144 de *Eucalyptus urograndis*, quando retirado de um viveiro comercial na estação seca e chuvosa.

Avaliar a influência da rustificação na sobrevivência e nas respostas fisiológicas de mudas do clone I144 de *Eucalyptus urograndis*, submetidas ao déficit hídrico, na estação seca e chuvosa.

Avaliar a influência da rustificação nas respostas fisiológicas de mudas do clone I144 de *Eucalyptus urograndis*, quando plantadas sob condições ótimas de água no solo, na estação seca e chuvosa.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 O processo de rustificação de mudas

Plantas cultivadas sob condições adequadas de suprimento hídrico são, normalmente, menos resistentes ao déficit hídrico e quando a ocorrência do déficit hídrico é rápida, os mecanismos morfofisiológicos são severamente afetados e a planta necessita adaptar-se à nova situação, de forma rápida. Desta forma, plantas conduzidas em condições de irrigação normalmente apresentam menos resistência a situações de déficit hídrico no solo; já em plantas submetidas ao déficit hídrico gradual ou a deficiência de água no solo no início do seu ciclo, ocorre mais facilmente a adaptação das plantas. A tolerância da planta ao déficit hídrico parece ser um importante mecanismo de resistência para a manutenção do processo produtivo em condições de baixa disponibilidade de água às plantas (SANTOS; CARLESSO, 1998).

Cerca de 15 dias antes de serem plantadas, as mudas devem passar por um processo de aclimação (também chamado de rustificação ou endurecimento) que consiste na diminuição do número de irrigações e/ou da quantidade de água aplicada em cada irrigação, tendo como consequência um aumento na capacidade de estabelecimento das mudas no campo, sob condições adversas (DAVIDE; FARIA, 2008). A adubação é suspensa e se elas estiverem sombreadas, o sombreamento deverá ser reduzido (ficando somente à sombra as que serão plantadas nessas condições), ou removido para adaptar as mudas ao ambiente natural (HENRIQUES, 1995).

A aclimação ao estresse hídrico pode levar a respostas envolvendo a expressão de genes e a modificações fisiológicas e morfológicas das plantas, surgindo de dias a semanas, o que leva a uma compensação homeostática para os

efeitos negativos iniciais do estresse hídrico na fotossíntese (FLEXAS et al., 2009).

Segundo Ferreira et al. (1997), a rustificação de mudas através da restrição de água proporciona alterações nos processos fisiológicos, os quais ocorrem bem antes que os sintomas de murcha possam ser percebidos. Para que a falta ou excesso de água não venha prejudicar o pleno desenvolvimento da muda no viveiro e logo após o plantio, faz-se necessário o monitoramento das irrigações, procurando identificar qual o melhor momento de uma nova irrigação e qual a quantidade de água a ser aplicada.

Na fase de rustificação, as mudas passam por um processo onde há uma redução de adubação nitrogenada e há um aumento no intervalo de irrigação sem deixar ocorrer crestamento. Nessa fase há um engrossamento do caule e favorecimento do desenvolvimento do sistema radicular para que a muda aumente a resistência para o estresse do plantio no campo (SILVEIRA et al., 2001; FERRARI, 2003).

O grau e a velocidade de rustificação das mudas podem ser controlados pela relação N/K. Na fase inicial de crescimento, os valores dessa relação encontram-se na faixa de 1,4 - 2,0, enquanto na fase de rustificação os valores reduzem para 0,6 - 1,0 (SILVEIRA et al., 2001). Silva e Stein (2008) recomendam adubar somente com K e assim dissolver 300 g de K_2O em 100 L de água e esse volume deve ser utilizado para regar 10.000 mudas.

Segundo Cannell (1985 citado por DAVIDE; FARIA, 2008), mudas submetidas ao estresse apresentam dois tipos de respostas: a) negativa, quando a rustificação em excesso leva ao fechamento dos estômatos, fazendo a muda atingir diferentes graus de dormência. Nesse caso a muda levada a campo tem grande capacidade de “pegamento”, mas pouca de crescimento, mesmo sob condições ideais no campo. Esse fato é indesejável, pois a taxa de crescimento inicial deve ser a maior possível, principalmente naquelas regiões onde o

período de chuvas é curto e intenso, pois nessas situações o mato cresce e a muda fica paralisada, o que exige maiores gastos com capinas; b) positiva, quando a rustificação é realizada dentro de padrões adequados, ocorrendo o acúmulo de carbono nas raízes em relação à parte aérea e a regulação osmótica, o que irá resultar em melhor “pegamento” das mudas e rápido crescimento inicial.

Ferreira (1997) justifica a prática da rustificação com a frequência de uma ou duas irrigações diárias durante 15 dias, uma vez que as mesmas influenciaram de forma significativa a condutância estomática, a transpiração e o potencial hídrico foliar.

Lopes (2008) estudando o desenvolvimento de mudas de *Eucalyptus urograndis* concluiu que os diferentes substratos e manejos hídricos testados não influenciaram de modo geral a transpiração diária e o número de estômatos, entretanto, influenciaram as características morfológicas e nutricionais das mudas, o potencial hídrico foliar e a resistência estomática.

3.2 Efeito do déficit hídrico nos processos morfofisiológicos das plantas

Todos os processos fisiológicos da célula são direta ou indiretamente afetados pelo fornecimento de água (MARENCO; LOPES, 2005), que é o constituinte vegetal mais abundante, representando de 80 a 90% da biomassa fresca das plantas herbáceas e, mais de 50% das plantas lenhosas (KRAMER; BOYER, 1995). A estrutura da água e as suas propriedades afetam diretamente as propriedades das proteínas, membranas, ácidos nucleicos e os outros constituintes das células (TAIZ; ZEIGER, 2004), sendo indispensável para o pleno funcionamento do transporte de solutos e gases, como reagente no metabolismo vegetal, na turgescência de células e tecidos e, portanto, responsável pela forma e estrutura dos órgãos e essencial para o crescimento

(NOGUEIRA; ALBUQUERQUE; SILVA, 2005). A água é também um meio para dissipação do excesso de energia solar que as folhas recebem, evitando a alta temperatura e a conseqüente dessecação da planta (REIS; REIS, 1993).

A distribuição das espécies de plantas é provavelmente limitada pelo fator abiótico mais importante, a disponibilidade de água tanto no solo como na atmosfera. Um adequado suprimento de água é essencial para a fotossíntese e o crescimento bem sucedido das plantas. O fator essencial nas relações hídricas das plantas é a manutenção de um conteúdo de água e turgor suficientes para permitir o funcionamento normal dos processos envolvidos no crescimento, e é controlado pelas taxas relativas de absorção e perda de água (BARGALI; TEWARI, 2004).

Os fatores que afetam a absorção de água na planta são aqueles referentes à extensão e profundidade do sistema radicular, superfície e permeabilidade radicular, idade da raiz e atividade metabólica da planta. Também, aqueles referentes à atmosfera, como a umidade relativa do ar, a disponibilidade de radiação solar, o vento e a temperatura e aqueles referentes ao solo, como a umidade, a capacidade de água disponível, a condutividade hidráulica, a temperatura, a aeração e a salinidade (REICHARDT, 1988). O suprimento de água para uma planta resulta de interações que se estabelecem ao longo do sistema solo-planta-atmosfera. As influências recíprocas entre esses componentes básicos tornam o sistema dinâmico e fortemente interligado, de tal forma que a condição hídrica da planta dependerá sempre da combinação desses três segmentos (NASCIMENTO, 2009).

O sistema solo-planta-atmosfera guarda uma intrincada interconexão de processos, que ao mesmo tempo, controlam e são controlados por outros componentes do sistema. Um exemplo claro é a vegetação que é responsável pela perda de água no solo e sofre de estresse hídrico sob baixos níveis de umidade no solo. Dessa maneira o ciclo hidrológico é fortemente conectado aos

processos fisiológicos das plantas. Os processos no sistema solo-planta atmosfera envolvem diferentes escalas temporais (da dinâmica horária do controle estomático e transpiração para depleção diária da umidade do solo à dinâmica do crescimento das plantas nas estações do ano) com componentes que são muito intermitentes e imprevisíveis (em particular a precipitação). A ascensão temporal na escala desses processos é essencial para entender como esses processos atuando na escala em curto prazo, controlam a dinâmica em longo prazo dos fluxos de água e carbono e se relacionam com a evolução dos ecossistemas (DAYLE; PORPORATO; RODRIGUEZ-ITURBE, 2004).

O estresse hídrico, caracterizado pela baixa disponibilidade de umidade no solo e altas taxas de evapotranspiração, é considerado uma das principais causas do decréscimo da produtividade agrícola em todo o mundo (BOYER, 1982; ARAUS et al., 2002). O principal fator que causa o estresse hídrico nas plantas é a seca, que pode ser quase permanente em áreas desérticas, sazonal em áreas com estações definidas de chuva ou imprevisíveis como em climas muito úmidos (ARAÚJO FILHO, 2002).

O estresse reversível pode ocorrer devido à capacidade elástica dos organismos para suportarem tensões. As funções fisiológicas são alteradas por um determinado período, retornando à condição normal após a cessação do estresse. Mesmo se o acontecimento causador de estresse for temporário, a vitalidade da planta diminui com o prolongar deste (BLUM; JOHNSON; RAMSEUR, 1991). Assim, a eficiência no uso da água por uma planta pode ser entendida como um mecanismo evolutivo através do qual adquire maior elasticidade para enfrentar possíveis défices hídricos (LIMA, 1995 apud LOPES, 2008).

De acordo com Nascimento (2003), o estresse hídrico em plantas, de maneira geral, desenvolve-se quando a perda de água excede a absorção em intensidade suficiente para causar o decréscimo no conteúdo de água da planta e

a redução do turgor, resultando numa diminuição da expansão celular. Este fato pode também causar alterações de vários processos fisiológicos essenciais, modificar as características morfoanatômicas da planta, bem como seus componentes bioquímicos.

Como o estresse hídrico ocorre comumente em muitos ambientes, muitas espécies de plantas desenvolveram variados mecanismos para conviver com um restrito suprimento de água (BARGALI, TEWARI, 2004).

As plantas possuem três mecanismos que podem atuar contra o estresse hídrico: (1) redução da perda de água através do controle estomático e de alterações morfológicas; (2) aumentar a extração de água do solo; (3) aumentar a habilidade de tolerar o baixo potencial de água nos tecidos. (KRAMER, 1983; NILSEN; ORCUTT 1996).

Plantas que evitam a seca têm tecidos muito sensíveis à desidratação. Elas tendem a possuir características que as permitem evitar défices hídricos nos tecidos quando ocorrem limitações de umidade do solo, como as relacionadas à aquisição de água (raízes profundas para maximizar a aquisição de água), um eficiente transporte interno de água (adaptações do sistema vascular) e adaptações que reduzem a perda de água pela parte aérea (estômatos sensíveis, abscisão foliar e alta relação raiz-parte aérea). As tolerantes à seca tendem a desenvolver poucas respostas para evitar a desidratação, possuem folhas que podem tolerar a desidratação e sustentar suas funções fisiológicas e/ou sobreviver à perda severa de água pelos tecidos (AUGÉ et al., 1998; PALLARDY; RHOADS, 1997).

Evitar a seca é uma estratégia empregada tanto por plantas anuais como perenes, e é caracterizada pelos altos valores relativos de potencial hídrico foliar e teor relativo de água letal e por um baixo ajustamento osmótico durante a seca. Em contraste, as tolerantes à seca, na maioria perenes, têm baixos valores relativos de potencial hídrico letal e tipicamente apresentam acúmulo de solutos

mais ativos quando submetidas à seca. Entretanto, há uma distribuição contínua das respostas ao estresse hídrico e nem todas as plantas são classificadas estritamente em uma ou outra categoria. A divisão das plantas em categorias ou estratégias pode ser um auxílio válido para se entender as consequências ecológicas para as espécies como, o potencial para aquisição de carbono e crescimento durante a seca, custos metabólicos dos mecanismos de resistência e sobrevivência da planta em longo prazo (AUGÉ et al., 1998).

A condutância estomática pode ser um indicador mais útil do estresse da planta do que as variáveis mais comumente utilizadas nas relações hídricas (DAVIES; ZHANG, 1991). Flexas et al. (2004) demonstraram a condutância estomática como o mais sensível indicador da severidade do estresse nas folhas, pelo menos para propósitos comparativos em estudos da fotossíntese.

Rolando, Little (2008) indicam a câmara de pressão e o porômetro para medidas de estresse hídrico simples e de fácil interpretação e que as mesmas refletiram com precisão a imposição dos níveis de estresse hídrico em mudas de *Eucalyptus grandis*. A principal desvantagem do uso da bomba (câmara) de pressão é a necessidade de avaliações destrutivas que afetam o tamanho da amostra.

A abscisão foliar durante o estresse hídrico resulta em grande parte da síntese acentuada e da sensibilidade ao etileno, um hormônio vegetal endógeno (TAIZ; ZEIGER, 2004). O ABA pode ser parcialmente responsável pelas rápidas respostas da condutância estomática à redução do status hídrico e pela correlação, em longo prazo, entre o declínio da condutância e a taxa de assimilação (FARQUAR; SHARKEY, 1982), também tem papel na indução da síntese de proteínas durante o estresse hídrico (PELAH et al., 1997).

Granda et al. (2011), em apenas três horas após a indução do estresse hídrico, no clone de *Eucalyptus globulus* C14, observaram respostas fisiológicas

significativas, destacando o papel do ABA xilemático e das mudanças no pH, como os primeiros sinais químicos ocorridos durante rápido estresse hídrico.

O estresse hídrico também resulta no acúmulo de prolina, manitol, sorbitol, na formação de ascorbato, glutatona, α -tocoferol e na síntese de novas proteínas e mRNAs (YORDANOV; VELIKOVA; TSONEV, 2003).

A absorção e a perda de água nas células-guarda modificam seu turgor e modulam a abertura e o fechamento estomáticos (TAIZ; ZEIGER, 2004). É bem documentado que o fechamento estomático é a principal causa do declínio da transpiração quando o estresse hídrico se desenvolve. Para uma dada redução na transpiração devido ao fechamento estomático, o aumento na temperatura foliar depende fortemente de fatores ambientais, particularmente da radiação incidente na folha e o coeficiente de transferência de calor do ar (HISAO, 1973).

Movimentos estomáticos provem às folhas a oportunidade de alterar tanto a pressão parcial do CO₂ nos sítios de carboxilação quanto a taxa de transpiração. E mudanças na transpiração podem levar a alteração na temperatura e potencial hídrico foliares (FARQUAR; SHARKEY, 1982).

O crescimento de raízes mais profundas em direção ao solo úmido pode ser considerado uma segunda linha de defesa contra a seca (TAIZ; ZEIGER, 2004). Quando as raízes encolhem devido ao dessecação a sua superfície deixa de estar em contacto com as partículas de solo que seguram a água. Por outro lado, os pelos radiculares partem-se muitas vezes quando são puxados pela retração da raiz (GRANT; ROBERTSON, 1997). O desenvolvimento do sistema radicular nas camadas mais profundas do perfil possibilita às plantas explorar melhor a umidade e a fertilidade do solo, dependendo das características morfológicas e genótípicas da planta (GOLDMANN; CARTER JÚNIOR; PATTERSON, 1989).

Ngugi et al. (2004) correlacionaram a resistência à seca demonstrada por mudas de *Eucalyptus argophloia* em relação a duas procedências de *E.*

cloeziana, devido as mesmas possuírem um fino e extenso sistema radicular o que permitiu a elas explorar a umidade do solo de maneira muito mais eficiente.

Segundo Pereira et al. (2006), é importante o conhecimento do comportamento morfológico das plantas em relação a diferentes níveis de déficit hídrico e em solos de diferentes texturas, pois o fluxo de água do solo para a planta e, conseqüentemente, sua atividade para assimilação e produção dependem da disponibilidade hídrica e da eficiência do sistema radicular em extrair água do solo.

As plantas continuam a absorver água enquanto seu potencial hídrico for menor do que o da água do solo. O ajuste osmótico, ou acúmulo de solutos pelas células, é um processo pelo qual o potencial hídrico pode ser diminuído sem que haja decréscimo do turgor ou do volume celular. O ajuste osmótico é um aumento líquido no conteúdo de soluto por célula e independe das mudanças de volume resultantes da perda de água. O decréscimo em potencial osmótico é tipicamente limitado a mais ou menos 0,2 a 0,8 MPa, exceto em plantas adaptadas a condições extremamente secas. O ajuste osmótico desenvolve-se lentamente em resposta à desidratação do tecido. No decorrer de vários dias, ocorrem também outras mudanças, como crescimento ou fotossíntese. Assim, pode ser questionado que o ajuste osmótico não é uma resposta independente e direta ao déficit hídrico, mas o resultado de outro fator, como a diminuição da taxa de crescimento. A manutenção do turgor possibilita a continuação do alongamento celular e facilita condutâncias estomáticas mais altas sob potenciais hídricos mais baixos, sugerindo que o ajuste osmótico é uma aclimatação que aumenta a tolerância à desidratação (TAIZ; ZEIGER, 2004). Durante períodos de déficit hídrico, o que caracteriza o ambiente de várias espécies de plantas superiores, a manutenção do turgor pela osmoregulação pode vir a ser uma importante resposta adaptativa (MORGAN, 1984).

O decréscimo no potencial osmótico em mudas de *Coriaria nepalensis*, favoreceu a manutenção do movimento de água do solo para a planta durante períodos de estresse hídrico. O grau das mudanças nos parâmetros das relações hídricas aumentou com a severidade do déficit hídrico do solo. Esse ajustamento osmótico pode ser uma vantagem ecológica para plantas jovens da espécie mantendo a atividade metabólica sob condições sub-ótimas durante o seu estabelecimento enquanto as raízes não alcançaram a água em maior profundidade no solo (BARGALI; TEWARI, 2004).

Merchant et al. (2007), contrastando as respostas fisiológicas de seis espécies de eucalipto ao déficit hídrico, demonstraram que o ajuste osmótico é uma resposta comum nas espécies estudadas e que variações interespecíficas do potencial osmótico correlaciona-se com a distribuição de espécies em ambientes onde a água é escassa.

Hisao (1973) relata que é quase unânime, que a maior parte da redução na assimilação de CO₂ na luz durante o estresse hídrico é devido ao fechamento estomático, impedindo a passagem de CO₂. Já Tezara et al. (1999) demonstraram que a ATP sintase decresce com o estresse hídrico e concluíram que a assimilação fotossintética do CO₂ pelas folhas estressadas não é limitada pela difusão do CO₂ mas sim pela inibição da síntese de ribulose bifosfato, relacionada a um baixo conteúdo de ATP resultante da perda da ATP sintase.

Investigações em casa de vegetação sobre o efeito do estresse hídrico, induzido pela suspensão da irrigação, podem dar uma previsão de como as espécies de plantas respondem ao estresse hídrico em condições de campo (GINDABA; ROZANOV; NEGASH, 2004).

4 MATERIAIS E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em duas épocas, em agosto (seca) e novembro (chuvosa) de 2011, no Viveiro Florestal do Departamento de Ciências Florestais (DCF) da Universidade Federal de Lavras (UFLA). O município de Lavras localiza-se na região sul do Estado de Minas Gerais, a 918 m de altitude, latitude 21° 14' S e longitude 45° 00' W. Segundo a classificação climática de Köppen, o clima regional é Cwa, temperado chuvoso (mesotérmico) com inverno seco e verão chuvoso, subtropical, e temperatura média do mês mais quente maior que 22 °C (22,1 °C em fevereiro).

Foram utilizadas mudas do clone I144 (ACESITA) híbrido das espécies *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*, fornecidas pela empresa Bela Vista Florestal localizada em Campo Belo - MG. Foram utilizados dois lotes de mudas ao final do ciclo de produção: (diâmetro do colo $3,8 \pm 0,8$ mm e altura $28,8 \pm 4,2$ cm), um lote sem passar pela fase de rustificação (recém chegado à área de rustificação e expedição da empresa) e outro rustificado de acordo com os padrões da empresa (há no mínimo 15 dias na área de rustificação e expedição da empresa) (Figura 1). As mudas foram acondicionadas em sacos de aniagem e transportadas para o Viveiro Florestal (DCF/UFLA) na manhã do dia da montagem dos experimentos.

O experimento foi conduzido em casa de vegetação não climatizada, com teto em plástico branco translúcido e laterais de sombrite, sobre bancadas de ferro preenchidas com bandejas para tubetes vazias. Foram utilizados vasos de polietileno com volume igual a oito litros, preenchidos uniformemente com 7 kg de Latossolo vermelho-amarelo, peneirado em malha de 1 cm. Amostras representativas do solo foram retiradas e enviadas para análise física ao Laboratório de Física do Solo do Departamento de Ciências do Solo (DCS) da UFLA, onde foram realizadas determinações para obtenção da curva

característica de retenção de água no solo, nas tensões de 0,006; 0,010; 0,033; 0,08; 0,10; 0,30; 0,8 e 1,5 MPa. Para cada quatro vasos foi retirada uma amostra para a determinação da umidade inicial do solo pelo método gravimétrico e posterior correção do peso dos vasos.

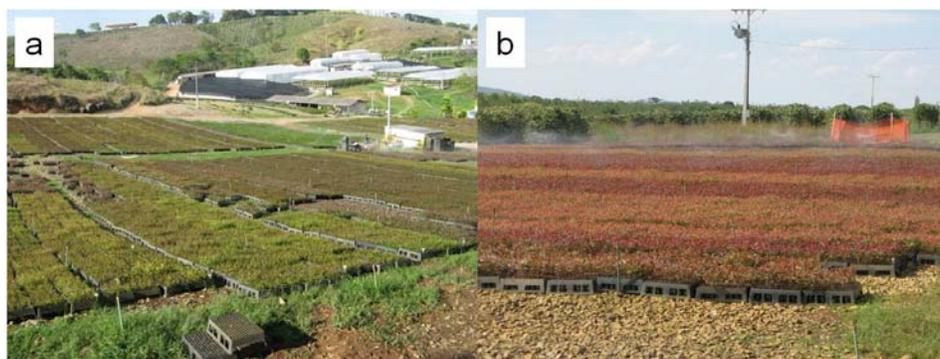


Figura 1 Área de crescimento (a) e área de rustificação e expedição (b) do viveiro da empresa Bela Vista Florestal.

A capacidade de campo foi determinada de acordo com o valor obtido na curva característica de retenção da umidade no solo, sob a tensão de 0,006 MPa, apresentando um valor de 37,1 % de umidade (base seca). A umidade média do solo no momento do plantio na época seca e chuvosa foi respectivamente 15,3 e 14,4% e após o plantio o solo foi irrigado até alcançar o valor de umidade correspondente à capacidade de campo.

Após o plantio das mudas todos os vasos foram irrigados até a capacidade de campo. No dia seguinte, foram induzidos quatro tratamentos, seguindo um delineamento inteiramente casualizado: T1- mudas não rustificadas mantidas sob a capacidade de campo; T2 - mudas não rustificadas mantidas sob déficit hídrico; T3 mudas rustificadas mantidas sob a capacidade de campo; T4 mudas rustificadas mantidas sob déficit hídrico. Em cada época o experimento foi conduzido por um período de 15 dias e os vasos foram pesados diariamente entre às 15 e 16 horas, para a reposição da água evapotranspirada nos

tratamentos mantidos sob a capacidade de campo e acompanhamento do decréscimo da umidade do solo nos tratamentos sob déficit hídrico, os quais não receberam outras irrigações além da realizada após o plantio.

As temperaturas e umidades, mínima, média e máxima no interior da casa de vegetação foram mensuradas diariamente em intervalos de 30 minutos com auxílio de um termo-higrógrafo datalogger. A temperatura do solo foi mensurada diariamente às 16 horas em 20 vasos aleatórios com auxílio de um termômetro de solo.

As avaliações das características fisiológicas foram realizadas, antes do plantio, em 10 mudas não rustificadas e 10 rustificadas e, após o plantio e indução dos tratamentos, aos 1, 3, 6 e 10 dias em 4 plantas por tratamento. As características fisiológicas não foram mensuradas até o 15º dia em virtude de as folhas nesse período apresentarem sintomas severos de déficit hídrico, dificultando o uso dos aparelhos. Em todas as avaliações foi utilizada uma folha totalmente expandida localizada no terço médio de cada planta, foram selecionadas folhas saudáveis sem sinais de necrose, fungos ou crestamento devido à seca. A fotossíntese líquida “A” ($\mu\text{mol.CO}_2.\text{m}^{-2}.\text{s}^{-1}$), a condutância estomática “Gs” ($\text{mol.H}_2\text{O}.\text{m}^{-2}.\text{s}^{-1}$), e a transpiração “E” ($\text{mmol.H}_2\text{O}.\text{m}^{-2}.\text{s}^{-1}$) foram mensurados com auxílio de um analisador de gás infravermelho (IRGA) modelo LI6400XT Licor entre as 9 e 10 horas em câmara de luz sob a intensidade de radiação fotossinteticamente ativa de $600 \mu\text{mol f\acute{o}tons}.\text{m}^{-2}.\text{s}^{-1}$, concentração de CO_2 ambiente de $390,4 \pm 9,7 \mu\text{mol.CO}_2.\text{m}^{-2}.\text{s}^{-1}$, temperatura do bloco mantida a $28 \text{ }^\circ\text{C}$ e temperatura foliar de $25,6 \pm 1,0 \text{ }^\circ\text{C}$. O potencial hídrico foliar Ψ_w (MPa) foi avaliado com auxílio de uma bomba de pressão modelo PMS 1000 entre as 11 h 30 min e 12h 30 min horas nas mesmas folhas utilizadas para avaliação das trocas gasosas segundo metodologia descrita por Scholander (1964).

Durante todos os dias após o plantio foram anotados os sintomas apresentados pelas mudas mantidas sob déficit hídrico, o número de plantas que

apresentaram ponto de murcha aparente (início de curvatura no ápice da muda) e o número de plantas mortas (mudas com folhas secas e quebradiças ao serem flexionadas pela base).

Para a avaliação inicial das mudas, os dados foram submetidos à análise de variância em ranks utilizando o teste de Kruskal-Wallis e a rustificação e a época do ano foram comparadas pelo teste de Tukey, para cada variável fisiológica. Já nos experimentos de déficit hídrico, as épocas foram analisadas separadamente e para cada dia de avaliação o teste t-Student foi utilizado para comparar o efeito da rustificação dentro dos tratamentos controle e déficit hídrico.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Avaliação inicial das mudas

A Tabela 1 apresenta as médias dos valores das trocas gasosas e do potencial hídrico foliar da avaliação inicial das mudas ainda nos tubetes. Todas as variáveis analisadas apresentaram pelo menos uma diferença significativa, porém essa diferença não foi observada entre mudas rustificadas ou não em cada época estudada, apresentando variações no comportamento entre cada variável avaliada.

As mudas não rustificadas na época seca apresentaram os maiores valores de potencial hídrico e fotossíntese, sugerindo não estarem com um padrão rustificação adequado, os demais tratamentos não diferiram entre si, atingindo valores de potencial hídrico da ordem de -1,0 MPa.

Ferreira (1997) após 15 dias de rustificação em mudas de *Eucalyptus citriodora* observou valores de potencial hídrico foliar abaixo de -1,0 MPa para as mudas submetidas a menor frequência de irrigação. O autor ressalta o potencial hídrico foliar como a variável de maior sensibilidade aos tratamentos adotados.

Desta maneira, como o potencial hídrico foliar tem estreita ligação com o processo de rustificação pode-se afirmar que o tratamento rustificado na época seca e os tratamentos não rustificado e rustificado na época chuvosa encontram-se sob o mesmo grau de rustificação.

Vale lembrar que o sistema de produção de mudas em tubetes, devido ao pequeno volume de substrato, torna as mesmas mais suscetíveis aos efeitos do estresse hídrico, estes se apresentando rapidamente durante curtos períodos de déficit hídrico, seja por falha de irrigação ou durante o transporte das mudas para o campo.

Tabela 1 Médias seguidas do erro padrão, da avaliação inicial das variáveis fisiológicas fotossíntese (“A” $\mu\text{mol.CO}_2.\text{m}^{-2}.\text{s}^{-1}$), condutância estomática (“Gs” $\text{mol.H}_2\text{O}.\text{m}^{-2}.\text{s}^{-1}$), transpiração (“E” $\text{mmol.H}_2\text{O}.\text{m}^{-2}.\text{s}^{-1}$) e potencial hídrico foliar (“ Ψ_w ” MPa), nas épocas seca e chuvosa, para mudas não rustificadas (NR) e rustificadas (R). (n=10)

Época	Rustific.	A	Gs	E	Ψ_w
Seca	NR	15,12±0,85 a	0,331±0,039 b	5,31±0,44 ab	-0,8±0,06 a
	R	13,47±0,55 ab	0,396±0,009 ab	5,78±0,07 a	-1,0±0,04 ab
Chuvosa	NR	14,84±1,00 ab	0,545±0,052 a	4,49±0,18 b	-1,1±0,03 b
	R	11,38±0,49 b	0,553±0,052 a	4,79±0,22 ab	-1,1±0,05 b

* Letras iguais nas colunas não diferem entre si a 1% de probabilidade.

5.2 Variáveis Ambientais

Na época seca durante todo o período experimental não houve precipitação. As médias de temperatura e umidade relativa do ar de todo o período foram respectivamente $20,7 \pm 2,8^\circ\text{C}$ e $59,5 \pm 7,8\%$, e as máximas e mínimas diárias, se mantiveram aproximadamente na mesma proporção em relação às médias diárias. A temperatura média do solo foi de $26,4 \pm 2,8^\circ\text{C}$ apresentando comportamento semelhante à temperatura do ar ao longo dos dias (Figura 2 a, c e e).

Na época chuvosa, as médias de temperatura e umidade relativa do ar foram respectivamente de $23,6 \pm 2,7^\circ\text{C}$ e $67,1 \pm 11,1\%$, e as máximas e mínimas diárias também se mantiveram aproximadamente na mesma proporção em relação à média diária, com exceção de dois pontos, onde houve convergência dos valores médios, máximos e mínimos, devido à ocorrência de precipitações no 6° e 7° dias onde a convergência foi mais acentuada, e no 11° dia onde foi menos acentuada, no 14° dia também ocorreu precipitação, porém a mesma não

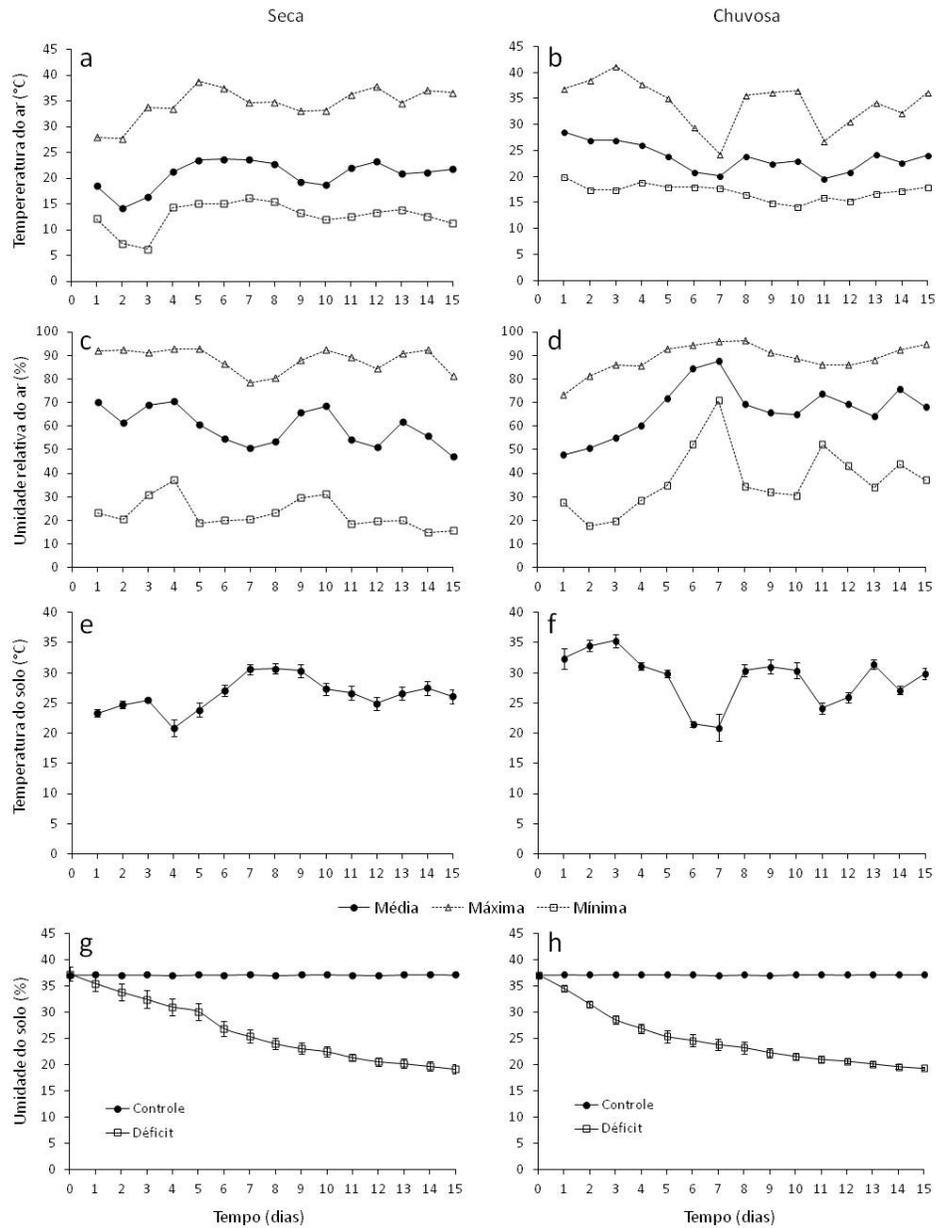


Figura 2 Temperatura do ar (a e b) e Umidade relativa do ar (c e d), no interior da casa de vegetação, Temperatura média do solo (e e f) as 16 horas e Umidade relativa do solo (g e h), durante o período experimental nas épocas seca (esquerda) e chuvosa (direita). Barras na variável temperatura do solo indicam erro padrão (n = 20).

foi suficiente para causar convergência entre os dados. A temperatura média do solo foi de $29,1 \pm 4,3^{\circ}\text{C}$ apresentando comportamento semelhante à temperatura do ar ao longo dos dias, inclusive nos dias em que houve precipitação. Em geral as médias na época chuvosa foram superiores à época seca e apresentaram maior variação (Figura 2 b, d e f).

Na época chuvosa, é possível notar a influência das variáveis ambientais sob os parâmetros fisiológicos estudados. Nos tratamentos controle no 3° dia de avaliação há um desvio no comportamento das variáveis: condutância estomática, transpiração e potencial hídrico foliar (Figura 2 d, f e h), coincidindo com os mais altos valores encontrados de temperatura máxima do ar e temperatura média do solo (Figura 2 b e f). Já nos tratamentos sob déficit hídrico, embora com diminuição da umidade do solo (Figura 2 h), no geral, os valores obtidos no 6° dia de avaliação permaneceram constantes em relação aos valores observados no 3° dia (Figura 3 d, f e h), devido provavelmente à diminuição e aumento, da média e amplitude, da temperatura e umidade relativa do ar respectivamente (Figura 2 b e d).

A umidade do solo apresentou comportamento semelhante nas duas épocas de avaliação, os tratamentos controle apresentando umidade constante (37%) ao longo do experimento e os tratamentos sob déficit hídrico iniciando com 37% decrescendo até 19% no 15° dia (Figura 2 g e h).

Tatagiba et al. (2007), acompanhando o curso diário das variáveis fisiológicas de dois clones de eucalipto nas épocas seca e chuvosa, observaram que as mesmas acompanharam a demanda evaporativa da atmosfera e que o aumento do déficit de pressão de vapor, da radiação solar incidente, da temperatura do ar e o abaixamento da umidade relativa no período da tarde, favoreceu a redução dos valores das trocas gasosas.

Rolando e Little (2008) afirmam que as espécies do gênero *Eucalyptus* tendem a apresentar um bom crescimento sob temperaturas do ar e solo entre 20

e 30°C. Valores médios de temperatura do solo superiores aos descritos pelos autores foram observados com maior frequência na época chuvosa, ocorrendo ao 1º, 2º, 3º, 4º, 8º, 9º, 10º e 13º dias de experimento, já na época seca somente nos dias 7º, 8º e 9º, valores inferiores a 20°C não foram observados durante o experimento.

5.3 Trocas gasosas e potencial hídrico foliar

A figura 3 mostra a evolução das variáveis fisiológicas estudadas durante o período experimental, em função dos regimes hídricos adotados, nas épocas seca e chuvosa.

Em geral, nota-se que para os tratamentos mantidos sob irrigação não houve diferença significativa para maior parte das variáveis fisiológicas em todas as avaliações, com exceção da variável transpiração na época seca, que nas três primeiras avaliações apresentou valores mais baixos para as mudas rustificadas. As mudas mantidas nestes tratamentos mantiveram durante todo o experimento altas taxas fotossintéticas e potenciais hídricos mais elevados.

As mudas submetidas ao déficit hídrico, na época seca apresentaram diferenças entre a rustificação. As mudas rustificadas atingiram potencial hídrico mais baixo e, em geral, valores mais baixos de trocas gasosas. Na época chuvosa não foram observadas diferenças significativas entre a rustificação no potencial hídrico, com exceção da fotossíntese e condutância estomática em algumas datas de avaliação.

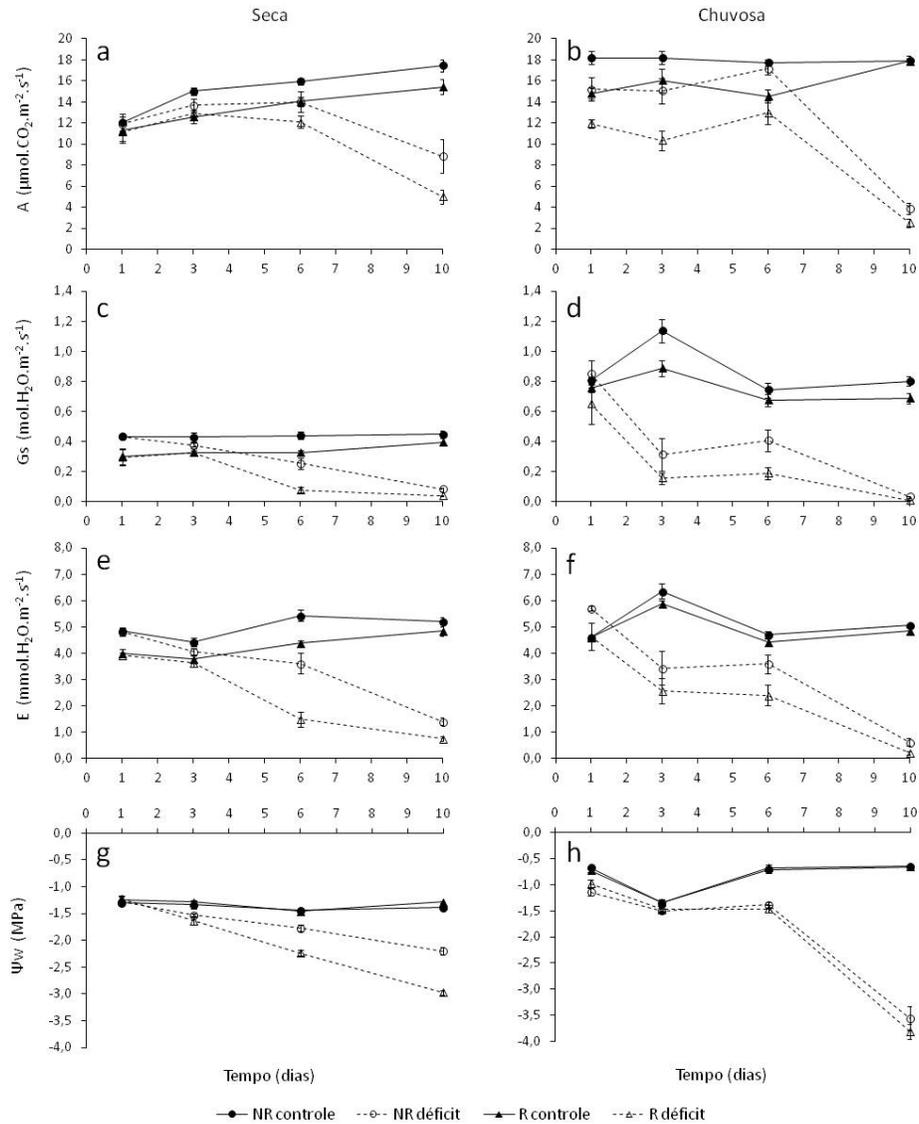


Figura 3 Fotossíntese líquida (A), condutância estomática (Gs), transpiração (E) e potencial hídrico foliar (Ψ_w) em mudas de *E. urograndis* rustificadas e não rustificadas na estação seca (esquerda) e chuvosa (direita), com e sem déficit hídrico. Barras indicam \pm erro padrão (n = 4).

5.3.1 Fotossíntese líquida

Na época seca, até o 3º dia de avaliação não houve diferença significativa entre os regimes hídricos nem entre a rustificação das mudas. As mudas dos tratamentos controle apresentaram tendência de crescimento da taxa fotossintética ao decorrer do experimento, alcançando ao 10º dia média de 16,43 $\mu\text{mol.CO}_2.\text{m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ valor 41% maior do que o registrado no início do experimento e durante todo o período experimental não apresentaram diferença significativa entre os níveis do fator rustificação, no entanto as mudas rustificadas apresentaram valores ligeiramente menores do que as não rustificadas. A partir do 6º dia de avaliação iniciou-se um decréscimo significativo da taxa fotossintética ($p < 0,05$) dos tratamentos sob déficit hídrico em relação aos tratamentos controle, 13% ao 6º dia e 58% ao 10º dia, e dentro dos mesmos as mudas rustificadas apresentaram valores mais baixos ($p < 0,05$) do que as não rustificadas 14% ao 6º dia e 44% ao 10º dia (Figura 3 a).

Na época chuvosa, houve diferença significativa entre os regimes hídricos durante todo o período experimental. Nos tratamentos controle, a taxa fotossintética manteve-se constante para as mudas não rustificadas diferindo ($p < 0,01$) das mudas rustificadas no 1º e 6º dia de avaliação. Nos tratamentos sob déficit hídrico, as mudas rustificadas apresentaram valores menores até o 6º dia de avaliação, a partir do qual houve uma queda acentuada da taxa fotossintética, não havendo diferença significativa entre a rustificação no último dia de avaliação, alcançando o valor médio de 3,2 $\mu\text{mol.CO}_2.\text{m}^{-2}.\text{s}^{-1}$, correspondendo a 21% dos valores iniciais (Figura 3 b).

Nota-se que as mudas sob déficit hídrico apresentaram comportamento inverso entre as épocas estudadas, quando se trata do surgimento de diferenças na taxa fotossintética causadas pelo efeito da rustificação, as mesmas

significativamente diferentes ($p < 0,05$) nas três primeiras avaliações e iguais ao final do experimento.

Gindaba, Rozanov e Negash (2004) observaram diferenças significativas entre os tratamentos controle e sob déficit hídrico a partir do 3º dia de experimento em *Eucalyptus camaldulensis* e *Eucalyptus globulus* observando um rápido declínio da taxa fotossintética até o 6º dia, impossibilitando avaliações após este período devido ao elevado grau de estresse hídrico apresentado pelas plantas.

5.3.2 Condutância estomática

Na época seca, a condutância estomática apresentou comportamento semelhante à fotossíntese líquida quanto à ocorrência de diferenças significativas entre os regimes hídricos, porém com maior nível de significância ($p < 0,01$), e dentro dos tratamentos sob déficit hídrico, com as mudas rustificadas apresentando valores 70% e 51% menores do que as não rustificadas no 6º e 10º dia respectivamente. Já nos tratamentos controle houve diferenças significativas ($p < 0,05$) entre a rustificação no 3º e 6º dia, com a mudas rustificadas apresentando respectivamente valores 23 e 26% mais baixos, fato não observado na variável fotossíntese líquida. E embora haja diferenças, pode-se dizer que os valores de condutância estomática durante o experimento no tratamento controle permaneceram constantes para as mudas não rustificadas com média igual a $0,438 \text{ mol.H}_2\text{O.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ com tendência linear de crescimento para as não rustificadas atingindo $0,394 \text{ mol.H}_2\text{O.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$, valor 24% maior que o inicial. Ao final do experimento as mudas sob déficit hídrico apresentaram condutância estomática média de $0,006 \text{ mol.H}_2\text{O.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$, valor 97% menor em relação ao controle (Figura 3 c).

Na época chuvosa, a diferença entre os tratamentos hídricos iniciou-se mais cedo (3º dia) e de forma mais pronunciada do que na época seca, apresentando redução de 76%. Os tratamentos controle apresentaram valores de condutância estomática em geral mais altos, em média $0,811 \text{ mol.H}_2\text{O.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$, do que na época seca, apresentando diferença significativa entre a rustificação apenas no 3º dia de avaliação, ocasião em que foram observados os valores máximos, correspondendo às variáveis ambientais, durante todo o experimento $1,138$ e $0,884 \text{ mol.H}_2\text{O.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ para as mudas não rustificadas e rustificadas respectivamente. Nos tratamentos sob déficit hídrico, o efeito da rustificação foi semelhante à época seca (Figura 3 d).

Em ambas as épocas, percebe-se o decréscimo dos valores de condutância estomática devido ao fechamento estomático à medida que o déficit hídrico se desenvolve.

Flexas et al. (2004) descrevem três estágios para a inibição do metabolismo fotossintético em função da condutância estomática: 1) a condutância estomática decresce de seu valor máximo para $0,15 \text{ mol.H}_2\text{O.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$, a fotossíntese diminui vagarosamente com pequenas variações, sem variações na taxa de transporte de elétrons, a eficiência do uso da água cresce progressivamente nesse estágio; 2) entre $0,15$ e $0,05 \text{ mol.H}_2\text{O.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$, a fotossíntese e a taxa de transporte de elétrons decrescem, sugerindo um aumento das limitações metabólicas, entretanto um contínuo declínio na concentração sub-estomática de CO_2 , sugere que o fechamento estomático ainda é o fator limitante dominante, a eficiência do uso da água continua a crescer, atingindo seu máximo com valores de condutância próximos a $0,05 \text{ mol.H}_2\text{O.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$; 3) quando a condutância cai abaixo de $0,05 \text{ mol.H}_2\text{O.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ a eficiência do uso da água cai e ambos, fotossíntese e taxa de transporte de elétrons, se tornam muito baixos.

As plantas controlam a abertura estomática para regular o trânsito de água e CO₂ durante a transpiração e fotossíntese. Isso permite a elas a manutenção do turgor e reduz a desidratação, bem como o controle da temperatura foliar e maximização da assimilação de carbono. O complexo mecanismo de movimento estomático depende da fisiologia da planta e de fatores ambientais (DAYLE; PORPORATO; RODRIGUEZ-ITURBE, 2004).

5.3.3 Transpiração

Na época seca, a transpiração apresentou comportamento semelhante à fotossíntese líquida e a condutância estomática quanto à ocorrência de diferenças significativas entre os regimes hídricos. Já entre os tratamentos de rustificação, houve diferença significativa entre as mudas não rustificadas e rustificadas em todos os dias de avaliação, com exceção do 3º dia do tratamento sob déficit hídrico e do 10º dia do tratamento controle. As mudas rustificadas sob déficit hídrico apresentaram valores de transpiração 18, 59 e 47% menores do que as não rustificadas aos 1º, 6º e 10º dias respectivamente. Nesta época, a transpiração aparentemente parece ser a variável fisiológica mais sensível ao efeito da rustificação, apresentando diferenças altamente significativas ($p < 0,01$) em quase todas as avaliações e regimes hídricos, o que é vantajoso, uma vez que leva as mudas a uma menor perda de água (Figura 3 e).

Na época chuvosa, a diferenciação entre os tratamentos controle e déficit hídrico ocorreu da mesma forma que a variável condutância estomática, porém dentro dos mesmos houve diferença significativa entre a rustificação apenas no 10º dia de avaliação no tratamento sob déficit hídrico, com as mudas rustificadas apresentando o menor valor observado em todo o experimento $0,21 \text{ mmol.H}_2\text{O.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ valor 67% menor do que o observado nas mudas não rustificadas (Figura 3 f).

Embora a condutância estomática nos tratamentos controle na época seca tenha sido 52% menor do que na época chuvosa, ela parece não ter afetado a transpiração, uma vez que para esse tratamento a transpiração foi semelhante nas duas épocas estudadas.

Em ambas as épocas, nos tratamentos sob déficit hídrico, o declínio da taxa transpiratória acompanhou o declínio da condutância estomática, ambos ocorrendo de forma mais rápida do que a taxa fotossintética, com valores de transpiração entre 0,21 e 1,41 mmol.H₂O.m⁻².s⁻¹ ao final do experimento.

5.3.4 Potencial hídrico foliar

Na época seca, diferenças significativas entre os regimes hídricos foram observadas a partir do 3º dia de avaliação ($p < 0,05$). Os valores de potencial hídrico nos tratamentos controle se mantiveram constantes durante todo o período experimental não diferindo quanto à rustificação, com média igual a -1,3 MPa. Os tratamentos sob déficit hídrico apresentaram tendência linear de diminuição ao longo do tempo, diferindo quanto à rustificação nas duas últimas avaliações ($p < 0,01$), com as mudas rustificadas atingindo menores valores do que as não rustificadas -1,8 e -2,2 MPa no 6º dia, e -2,2 e -3,0 MPa no 10º dia (Figura 3 g).

Na época chuvosa, apenas no 3º dia de avaliação não foi observado diferença entre os regimes hídricos. Os tratamentos controle apresentaram valores constantes, com exceção do 3º dia de avaliação, e ligeiramente superiores à época seca (0,9 MPa). Nos tratamentos sob deficiência hídrica o potencial hídrico foliar manteve-se constante até o 6º dia de avaliação, com decréscimo dos valores no 10º dia, atingindo um valor médio de -3,7 MPa. Durante todo o período experimental em ambos os regimes hídricos, não foi

observada diferença significativa entre as mudas não rustificadas e rustificadas (Figura 3 h).

Observa-se que mesmo sob a mesma umidade do solo, as mudas na época chuvosa alcançaram valores inferiores do que as mudas rustificadas na época seca, sugerindo que os efeitos das variáveis ambientais atuaram de maneira mais acentuada na época chuvosa.

Os valores de potencial hídrico observados nos tratamentos sob estresse hídrico, ao final do período experimental em ambas as épocas, em geral, são menores do que os relatados, para diferentes espécies de eucalipto, por Faria et al., (1998); Ngugi et al. (2004); Gindaba, Rozanov e Negash (2004); Graciano, Guiamet e Goya (2006) e Granda et al. (2011).

5.4 Ponto de murcha aparente e mortalidade

Na época seca, aos nove dias após a suspensão da irrigação observou-se o aparecimento das primeiras plantas em ponto de murcha aparente, fato observado em 33% das mudas rustificadas e até o 12º dia 72% das mesmas se encontravam com o mesmo sintoma. No mesmo período, somente 6% das mudas não rustificadas apresentaram ponto de murcha aparente, iniciado aos 10 dias e no 13º dia a maioria das mudas (66%) apresentou o mesmo sintoma, atingindo 94% no 15º dia (Figura 4 a).

Nota-se que na estação seca a maioria das mudas rustificadas apresentou ponto de murcha aparente mais cedo, antes do 12º dia, e o contrário aconteceu com as mudas não rustificadas em que a maioria das mudas apresentou o mesmo sintoma a partir do 13º dia chegando a 83% no 15º dia. Esse fato deve ser levado em consideração, pois como os sintomas apareceram mais cedo e persistiram por mais tempo nas mudas rustificadas, o produtor tem um maior

intervalo para identificar o estresse hídrico e realizar irrigações, ou as mudas podem sobreviver por mais tempo até que ocorra uma chuva.

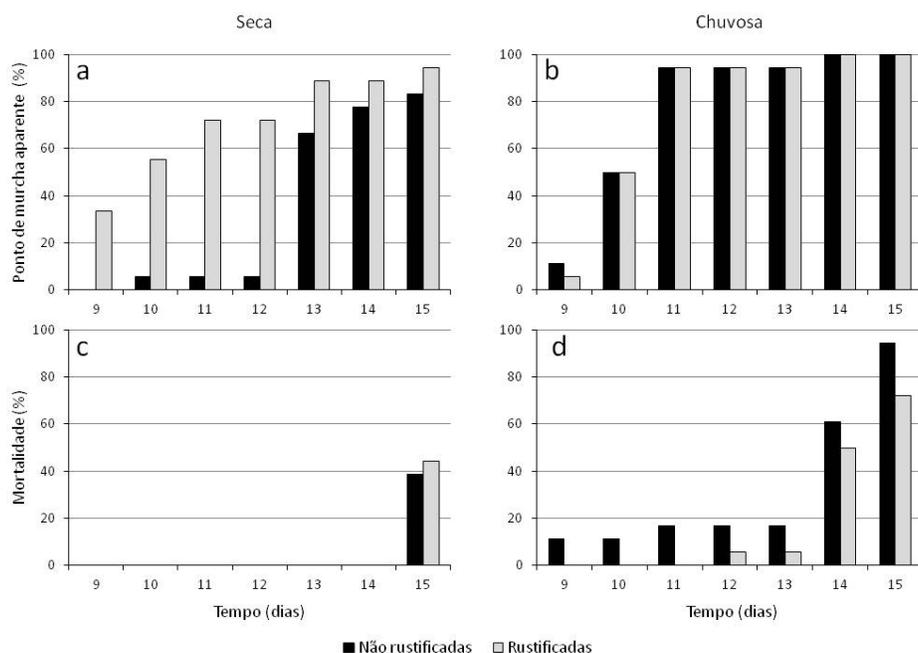


Figura 3 Porcentagem acumulada de mudas não rustificadas e rustificadas, em ponto de murcha aparente e de mortalidade, durante o período experimental na estação seca e chuvosa.

Na época chuvosa, o ponto de murcha aparente também se iniciou no 9º dia, porém, sua progressão ocorreu de maneira uniforme entre as mudas não rustificadas e rustificadas. Aos 10 dias, 50% das mudas de ambos os tratamentos já apresentavam ponto de murcha aparente, aos 11 dias 94% e no último dia de avaliação todas as mudas apresentaram ponto de murcha aparente (Figura 4 b).

Apenas no último dia de avaliação, na época seca, ocorreu mortalidade de mudas e a mesma foi semelhante entre as mudas não rustificadas (39%) e rustificadas (44%) (Figura 4 c). Já na época chuvosa, a mortalidade iniciou-se aos nove dias nas mudas não rustificadas (11%) e aos 12 dias nas rustificadas

(6%), atingindo ao 15º dia 94 e 72% de mortalidade respectivamente (Figura 4 d).

Deve-se levar em consideração que a operação de replantio é onerosa e taxas de mortalidade como as observadas são inaceitáveis, do ponto de vista operacional e econômico, porém, mesmo não havendo respostas da rustificação nas variáveis fisiológicas na época chuvosa, nota-se um ganho de 3 dias para as mudas rustificadas no que diz respeito ao início da mortalidade.

A Tabela 2 mostra os limites de umidade do solo para as mudas não rustificadas e rustificadas, em que são observados os sintomas relacionados às boas condições de desenvolvimento, condições adversas ao desenvolvimento, ponto de murcha aparente e morte, nos 15 dias após o plantio nas duas épocas estudadas (Figura 5). Embora as diferenças entre os valores de umidade do solo sejam pequenas, a maior em torno de 2%, pode-se destacar as diferenças encontradas entre os níveis de rustificação na época seca e entre a época seca e chuvosa.

Na época seca, as mudas não rustificadas e rustificadas tendem a apresentar diferenças entre si, principalmente entre os valores de umidade do solo compreendidos entre os limites de boas condições de desenvolvimento e ponto de murcha aparente. Já na época chuvosa, a diferença entre a rustificação foi pequena, porém, em geral os valores de umidade do solo encontrados foram superiores aos da época seca, com exceção da transição entre a condição adversa ao desenvolvimento e ponto de murcha aparente, o que significa que as mudas nessa época necessitam de uma maior umidade do solo para se manter em pleno desenvolvimento e podem morrer sob condições em que na época seca ainda estariam vivas.

Os limites determinados podem auxiliar na manutenção dos plantios por meio do monitoramento da umidade do solo, uma vez que fornecem referências

sob a condição fisiológica em que as mudas se encontram, facilitando o manejo da irrigação.

Tabela 2 Limites de umidade do solo e sintomas observados durante 15 dias após o plantio, em mudas de *E. urograndis* rustificadas e não rustificadas na estação seca e chuvosa.

Época Rustificação	Seca		Chuvosa		Sintomas
	NR	R	NR	R	
	>27,4	>26,5	>28,7	>28,4	Boas condições de desenvolvimento
	27,4	26,5	28,7	28,4	Condição adversa ao desenvolvimento
	a	a	a	a	
Umidade do solo (%)	20,4	22,0	21,2	21,4	Ponto de murcha aparente
	20,3	21,9	21,1	21,3	
	a	a	a	a	
	19,5	19,3	20,1	20,0	Morte
	< 19,5	< 19,3	< 20,1	< 20,0	

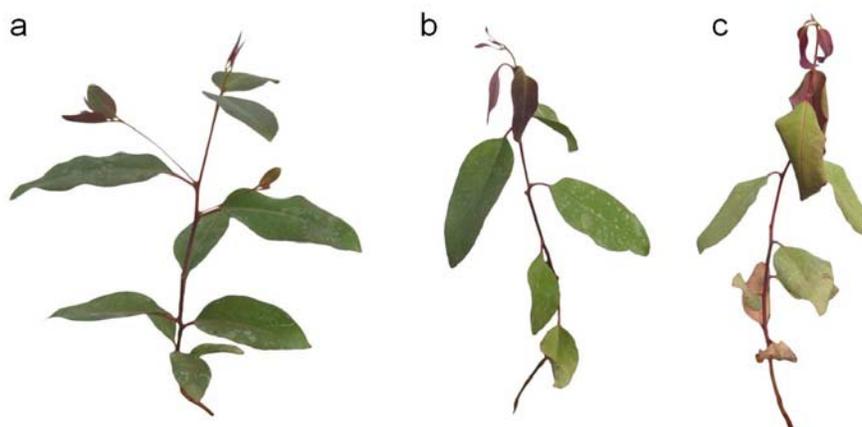


Figura 5 Aspecto de mudas de *E. urograndis* em pleno desenvolvimento (a), em ponto de murcha aparente (b) e morta (c).

6 CONCLUSÕES

De acordo com os resultados apresentados e nas condições em que foi desenvolvido este trabalho, conclui-se que:

O grau de rustificação das mudas foi influenciado pela época do ano em que as mesmas foram retiradas do viveiro.

O processo de rustificação não influenciou as respostas fisiológicas das mudas quando plantadas sob condições ótimas de disponibilidade de água. As mudas mantiveram altas taxas de produção independente da época do ano.

O processo de rustificação de mudas influenciou a sobrevivência e as respostas fisiológicas das mudas quando submetidas ao déficit hídrico.

REFERÊNCIAS

ARAÚJO FILHO, J. A. Histórico do uso dos solos da caatinga. In: ARAÚJO, Q. R. de. **500 anos de uso do solo no Brasil**. Bahia: UESC, 2002. p. 329-338.

ARAUS, J. L. et al. Plant breeding and drought in C3cereals: what should we breed for? **Annals of Botany Company**, London, v. 89, p. 925-940, 2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS. **Anuário estatístico da ABRAF 2010 ano base 2009**. Brasília: ABRAF, 2010.

AUGÉ, R. M. et al. Foliar dehydration tolerance of twelve deciduous tree species. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 49, n. 321, p. 753-759, Apr. 1998.

BARGALI, K.; TEWARI, A. Growth and water relation parameters in drought-stressed *Coriaria nepalensis* seedlings. **Journal of Arid Environments**, London, v. 58, p. 505-512, Jan. 2004.

BLUM, A.; JOHNSON, J. W.; RAMSEUR, E. L. The effect of a drying top soil and a possible non-hydraulic root signal on wheat growth and yield. **Journal of Experimental Botany**, Oxon, v. 42, n. 243, p. 1225-1231, 1991.

BOYER, J. S. Plant productivity and environment. **Science**, Oxford, v. 218, n. 4571, p. 443-448, Oct. 1982.

BRASIL. Ministério da Agricultura e Reforma Agrária. Secretaria Nacional de Irrigação. **Normais climatológicas**. Brasília: Departamento Nacional de Meteorologia, 1992.

DAVIDE, A. C.; FARIA, J. M. Viveiros florestais. In: DAVIDE, A. C.; SILVA, E. A. A. (Ed.). **Produção de sementes e mudas de espécies florestais**. Lavras: Universidade Feral de Lavras, 2008. p. 116-117.

DAVIES, W. J.; ZHANG, J. Root signals and the regulation of growth and development of plants in drying soil. **Annual Review of Plant Physiology**, Palo Alto, v. 42, p. 55-76, June 1991.

DAYLE, E.; PORPORATO, A.; RODRIGUEZ-ITURBE, I. Coupled dynamics of photosynthesis, transpiration, and soil water balance: upscaling from hourly to daily level. **Journal of Hydrometeorology**, Boston, v. 5, n. 3, p. 546-558, June 2004.

FARIA, T. et al. Differences in the response of carbos assimilation to Summer stress (water déficits, high light and temperature) in four Mediterranean tree species. **Physiologia Plantarum**, Copenhagen, v. 102, n. 3, p. 419-428, July 1998.

FARQUHAR, G. D.; SHARKEY, D. Stomatal conductance an photosynthesis. **Annual Reviews of Plant Physiology**, Boca Ration, v. 33, p. 317-345, 1982.

FERRARI, M. P. **Cultivo do eucalipto**: produção de mudas. Colombo: PFB, 2003. Disponível em: <<http://www.cnpf.embrapa.br>>. Acesso em: 31 maio 2011.

FERREIRA, C. A. G. **Aspectos de relações hídricas e crescimento de mudas de *Eucalyptus* spp. produzidas em tubetes e aclimatadas**. 1997. 64 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade Federal de Lavras, Lavras.

FLEXAS, J. et al. Photosynthesis limitations during water stress acclimation and recovery in the drought-adapted *Vitis* hybrid Richter-110 (*V. verlandieri* x *V. rupestris*). **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 60, n. 8, p. 2361-2377, Oct. 2009.

FLEXAS, J. et al. Understanding down-regulation of photosynthesis under water stress: future prospects and searching for physiological tools for irrigation management. **Annals of Applied Biology**, Warwick, v. 144, p. 273-283, June 2004.

GINDABA, J.; ROZANOV, A.; NEGASH, L. Response of seedlings of two *Eucalyptus* and three deciduous tree species from Ethiopia to severe water stress. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 201, n. 1, p. 119-129, July 2004.

GOLDMANN, I. L.; CARTER JÚNIOR, T. E.; PATTERSON, R. P. A detrimental interaction of subsoil aluminum and drought stress on the leaf water status of soybean. **Agronomy Journal**, Madison, v. 81, n. 1, p. 461-463, 1989.

GRACIANO, C.; GUIAMET, J. J.; GOYA, J. F. Fertilization and water stress interactions in young *Eucalyptus grandis* plants. **Canadian Journal of Forest Research**, Ottawa, v. 36, n. 4, p. 1028-1034, 2006.

GRANDA, V. et al. Rapid responses of C14 clone of *Eucalyptus globulus* to root drought stress: time-course of hormonal and physiological signaling. **Journal of Plant Physiology**, Stuttgart, v. 168, n. 7, p. 661-670, May 2011.

GRANT, R. F.; ROBERTSON, J. A. Phosphorus uptake by root systems: mathematical modeling in ecosystem. **Plant and Soil**, The Hague, v. 188, n. 2, p. 279-297, Oct. 1997.

HENRIQUES, H. J. A. **Viveiro para produção de mudas de essência florestais, frutíferas, ornamentais e medicinais – modelo multiuso 252/130: manual de construção**. Brasília: DENACOOP, 1995.

HISAO, T. C. Plant responses to water stress. **Annual Review of Plant Physiology**, Palo Alto, v. 24, p. 519-570, June 1973.

KRAMER, P. J. **Water relations of plants**. New York: Academic Press, 1983.

KRAMER, P. J.; BOYER, J. S. Evolution and agricultural water user. In: KRAMER, P. J.; BOYER, J. S. **Water relations of plant and soils**. San Diego: Academic Press, 1995. p. 377-405.

LOPES, J. L. W. **Qualidade de mudas clonais de híbrido de *Eucalyptus grandis* vs. *Eucalyptus urophylla* submetidas a diferentes regimes hídricos**. 2008. 181f. Tese (Doutorado) – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu.

MARENCO, R. A.; LOPES, N. F. **Fisiologia vegetal: fotossíntese, respiração, relações hídricas e nutrição mineral**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2005.

MELLO, C. R. et al. Estimativa da capacidade de campo baseada no ponto de inflexão da curva característica. **Ciência Agrotecnologia**, Lavras, v. 26, n. 4, p. 836-841, jul./ago. 2002.

MERCHANT, A. et al. Contrasting physiological responses of six *Eucalyptus* species to water deficit. **Annals of Botany Company**, London, v. 100, n. 7, p. 1507-1515, Dec. 2007.

MORGAN, J. M. Osmoregulation and water stress in higher plants. **Annual Review of Plant Physiology**, Palo Alto, v. 35, p. 299-319, 1984.

NASCIMENTO, C. F. do. **Aspectos anatômicos, fisiológicos e fitoquímicos de plantas jovens de *Mikania glomerata* Sprengel (Guaco) submetidas a diferentes regimes hídricos**. 2003. 68 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Lavras, Lavras.

NASCIMENTO, H. H. C. do. **Caracterização ecofisiológica de mudas de Jatobá (*Hymenaea courbaril* L.) submetidas a déficit hídrico**. 2009. 91 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife.

NGUGI, M. R. et al. Physiological responses to water stress in *Eucalyptus cloeziana* and *E. argophloia* seedlings. **Trees**. v. 18, p.381-389, 2004.

NILSEN, E. T.; ORCUTT, D. M. **The physiology of plants under stress: abiotic factors**. New York: Wiley & Sons, 1996.

NOGUEIRA, R. J. M. C.; ALBUQUERQUE, M. B.; SILVA, E. C. Aspectos ecofisiológicos da tolerância à seca em plantas da caatinga. In: NOGUEIRA, R. J. M. C. et al. **Estresses ambientais: danos e benefícios em plantas**. Recife: UFRPE, 2005. p. 22-31.

PALLARDY, S. G.; RHOADS, J. L. Drought effects on leaf abscission and leaf production in *Populus* clones. In: CENTRAL HARDWOOD FOREST CONFERENCE, 11., 1997, Columbia. **Anais...** Columbia: School of Natural Resources, 1997. p. 373-383.

PELAH, D. et al. Differential accumulation of water stress-related proteins, sucrose synthase and soluble sugars in *Populus* species that differ in their water stress response. **Physiologia Plantarum**, Copenhagen, v. 99, n. 1, p. 153-159, Jan. 1997.

PEREIRA, M. R. R. et al. Comportamento fisiológico e morfológico de clones de *Eucalyptus urograndis* submetidos a diferentes níveis de água no solo. **Irriga**, Botucatu, v. 11, p. 518-531, 2006.

REICHARDT, K. **A água em sistemas agrícolas**. São Paulo: Manole, 1990.

REICHARDT, K. Capacidade de campo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 12, n. 2, p. 211-216, mar./abr. 1988.

REIS, G. G.; REIS, M. G. F. Competição por luz, água e nutrientes em povoamentos florestais. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA FLORESTAL, 1., 1993, Belo Horizonte. **Anais...** Viçosa: SIF, 1993. p. 161-172.

ROLANDO, C. A.; LITTLE, K. M. Measuring water stress in *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden seedlings planted into pots. **South African Journal of Botany**, Pretoria, v. 74, p. 133-138, July 2008.

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, set./dez. 1998.

SCHOLANDER, P. F. et al. Hydrostatic pressure and osmotic potentials in leaves of mangroves and some other plants. **Proceedings of National Academy of Science**, New York, v. 52, n. 1, p. 119-125, July 1964.

SILVA, M. R. **Efeitos do manejo hídrico e da aplicação de potássio na qualidade de mudas de *Eucalyptus grandis* W. (Hill ex. Maiden)**. 2003. 100 f. Tese (Doutorado em Irrigação e Drenagem) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu.

SILVA, P. H. M.; STEIN, L. M. Produção de mudas e recomendações de adubação no viveiro para pequenos produtores. **Instituto de Pesquisa e Estudos Florestais**, Piracicaba, jul. 2008. Disponível em: < <http://www.ipef.br/silvicultura/producaomudas.asp>>. Acesso em: 27 maio 2011.

SILVEIRA, R. L. V. A. et al. Seja o doutor do seu eucalipto. **Informações Agrônômicas**, Piracicaba, n. 93, p. 1-31, mar. 2001.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 2004.

TATAGIBA, S. D. et al. Comportamento fisiológico de dois clones de *Eucalyptus* na época seca e chuvosa. **Cerne**, Lavras, v. 13, n. 2, p. 149-159, abr./jun. 2007.

TEZARA, W. et al. Water stress inhibits plant photosynthesis by decreasing coupling factor and ATP. **Nature**, London, v. 401, n. 28, p. 914-917, Oct. 1999.

YORDANOV, V.; VELIKOVA, V.; TSONEV, T. Plant responses to drought and stress tolerance. **Bulgarian Journal of Plant Physiology**, Varna, v. 34, n. 3-4, p. 187-206, 2003.