



**FOTOSSÍNTESE E CRESCIMENTO INICIAL  
DE CLONES DE EUCALIPTO SOB  
DIFERENTES REGIMES HÍDRICOS**

**EMANUEL TÁSSIO FERNANDES**

**2012**

EMANUEL TÁSSIO FERNANDES

**FOTOSSÍNTESE E CRESCIMENTO INICIAL DE CLONES DE  
EUCALIPTO SOB DIFERENTES REGIMES HÍDRICOS**

Dissertação apresentada à Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, área de concentração em Fitotecnia, para a obtenção do título de Mestre.

Orientador:  
Prof. Dr. Paulo Araquém Ramos Cairo

VITÓRIA DA CONQUISTA  
BAHIA – BRASIL  
2012

F399f Fernandes, Emanuel Tássio.

Fotossíntese e crescimento inicial de clones de Eucalipto sob diferentes regimes hídricos / Emanuel Tássio Fernandes, 2012.

113f.: il.; color.

Orientador (a): Paulo Araquém Ramos Cairo.

Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Programa de Pós-Graduação de Mestrado em Agronomia, 2012.

Referências: f. 92-109.

1. Eucalipto – Crescimento. 2. Deficiência hídrica. 3.

Clone - Eucalipto. 4. Fitotecnia. I. Cairo, Paulo Araquém Ramos. II. Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Programa de Pós-Graduação de Mestrado em Agronomia. III. T.

CDD: 635.642

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO SUDOESTE DA BAHIA – UESB**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA**  
*Área de Concentração em Fitotecnia*

*Campus de Vitória da Conquista - BA*

**DECLARAÇÃO DE APROVAÇÃO**

**Título: “FOTOSSÍNTESE E CRESCIMENTO INICIAL DE CLONES DE EUCALIPTO SOB DIFERENTES REGIMES HÍDRICOS”.**

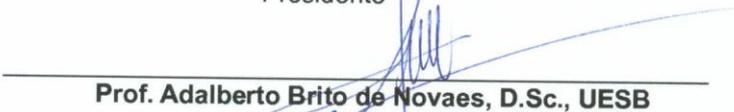
**Autor:** Emanuel Tássio Fernandes

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de MESTRE EM AGRONOMIA, ÁREA DE CONCENTRAÇÃO EM FITOTECNIA, pela Banca Examinadora:



**Prof. Paulo Araújo Ramos Cairo, D.Sc., UESB**

Presidente

  
**Prof. Adalberto Brito de Novaes, D.Sc., UESB**



**Prof. Elvis Lima Vieira, D.Sc., UFRB**

Data de realização: 29 de fevereiro de 2012.

Estrada do Bem Querer, Km 4 – Caixa Postal 95 – Telefone: (77) 3425-9383 – Fax: (77)  
3424-1059 – Vitória da Conquista – BA – CEP: 45031-900  
e-mail: [mestradoagronomia@uesb.edu.br](mailto:mestradoagronomia@uesb.edu.br)

*À minha mãe, Jovita, exemplo de vida, pelo amor, incentivo e dedicação;  
À minha irmã, Mônica, por toda felicidade que me proporciona;  
À minha tia, Mirani (in memoriam), pelo seu apoio e amizade;  
A toda minha família, pelo apoio e estímulo;  
À minha noiva, Jacqueline, pelo amor, carinho e companheirismo.*

**Dedico.**

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço inicialmente a DEUS, pela vida, por esta conquista e por todas que ainda virão;

À minha mãe e minha irmã, as razões de minha vida;

À Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, pela realização da formação e capacitação profissional;

Ao professor Dr. Paulo Araquém Ramos Cairo, pela valiosa orientação, apoio, confiança e amizade;

Ao professor Dr. Adalberto Brito de Novaes, pelo apoio, sugestões e críticas construtivas;

Ao professor Dr. Elvis Lima Vieira, pela disponibilidade e colaboração para o enriquecimento deste trabalho;

Aos professores Dr. Anselmo Eloy Silveira Viana e Dr. Sylvana Naomi Matsumoto pelos conhecimentos transmitidos e por disponibilizar o laboratório e equipamentos, viabilizando este trabalho;

Ao professor Hugo Andrade Costa, pelas sugestões;

Aos professores do Curso de Pós-Graduação em Agronomia, pelos conhecimentos transmitidos;

Ao discente do curso de Agronomia, Janderson, pelo grande apoio;

À DICAP – Diretoria do Campo Agropecuário, e toda equipe de trabalhadores do campo, pelo apoio e serviços prestados;

Aos colegas do Mestrado, pelo apoio e companheirismo;

Aos amigos e companheiros de república, Agnaldo, Tony e Matheus.

À minha noiva, Jacqueline, por ser meu porto seguro;

Às empresas florestais, Tecnoplant e Plantflora, pela doação das mudas;

À FAPESB, pela concessão da bolsa de estudo;

A todos que torceram e contribuíram, direta ou indiretamente, para o sucesso deste trabalho.

## RESUMO

FERNANDES, E. T. **Fotossíntese e crescimento inicial de clones de eucalipto sob diferentes regimes hídricos.** Vitória da Conquista – BA: UESB, 2012. 113p. (Dissertação – Mestrado em Agronomia: Área de Concentração em Fitotecnia)\*.

Os prolongados períodos de seca no Sudoeste da Bahia representam riscos ao cultivo de eucalipto, que é a principal espécie florestal cultivada nessa região. Este trabalho teve dois objetivos: (1) inicialmente, avaliar os efeitos da deficiência hídrica sobre características fisiológicas e o crescimento inicial de diferentes clones de eucalipto; e (2) após um período sob restrições hídricas, propôs-se a avaliar a recuperação de clones após a reirrigação. Os trabalhos foram conduzidos em vasos, em casa de vegetação na UESB, em Vitória da Conquista, Bahia. Os tratamentos constituíram um arranjo fatorial 4x2 [quatro clones - VM01 (*E. urophylla* x *E. camaldulensis*), VCC0865 (*E. urophylla* x *E. grandis*), AEC0144 e AEC0224 (ambos *E. urophylla*); e dois regimes hídricos (irrigado e não irrigado), com quatro repetições, dois vasos por parcela (uma planta em cada vaso), delineamento inteiramente ao acaso. As plântulas de eucalipto foram plantadas em vasos, os quais foram previamente preenchidos com 23 kg de solo representativo da região. As plantas foram aclimatadas em casa de vegetação, com irrigação, durante 60 dias. Após esse período, o fornecimento de água foi suspenso para o grupo das plantas não irrigadas, dando início às seguintes avaliações: área foliar, razão massa seca de raiz /parte aérea, potencial hídrico foliar, teor relativo de água, fotossíntese líquida, transpiração, condutância estomática, concentração interna de CO<sub>2</sub> e índice SPAD. Esta etapa do experimento se encerrou aos 20 dias após a suspensão da irrigação, com teores relativos de água entre 40 e 60% e taxas quase nulas de fotossíntese líquida. Uma planta de cada parcela foi retirada para análises laboratoriais, enquanto o fornecimento de água foi restabelecido para as demais plantas que constituíram, originalmente, o tratamento não irrigado. Aos quatro dias após a reirrigação, foram avaliados a fotossíntese líquida, as relações hídricas e o crescimento. Os resultados foram submetidos à análise estatística pelo teste de Tukey a 5%. Houve diferenças significativas em quase todas as características fisiológicas e fitotécnicas, numa comparação entre os dois regimes hídricos. O status hídrico das plantas, com base no potencial hídrico foliar e no teor relativo de água, foi bastante afetado pela deficiência hídrica, que causou diminuições significativas na transpiração e na condutância estomática. Não houve diferença significativa entre os clones sob deficiência hídrica, em relação ao potencial hídrico foliar e teor relativo de água. Contudo, verificou-se um declínio na fotossíntese líquida das plantas não irrigadas, sendo que esse declínio foi relativamente menor no clone VM01. Apesar do desempenho similar entre os clones sob restrições hídricas, em

---

\* Orientador: Paulo Araquém Ramos Cairo, Dr. – UESB.

relação às muitas características, alguns clones tiveram desempenhos diferentes no tratamento irrigado: o crescimento em altura dos clones VM01 e AEC0144 foi maior do que dos demais clones – provavelmente, devido ao seu maior teor relativo de água. A retomada do fornecimento de água às plantas do tratamento, originalmente não irrigado, promoveu rápida recuperação do status hídrico das plantas – VM01, em especial – com base no potencial hídrico foliar, no teor relativo de água e nas trocas gasosas. Todos os clones mostraram boa plasticidade fisiológica.

**Palavras-chave:** Deficiência hídrica, *Eucalyptus* spp., parâmetros morfofisiológicos, reirrigação.

## ABSTRACT

FERNANDES, E. T. **Photosynthesis and initial growth of eucalyptus clones under different water regimes.** Vitória da Conquista – BA: UESB, 2012. 113p. (Dissertation – Master in Agronomy / Phytotechny)\*.

The extended drought periods in Bahia Southwest represent risks to eucalyptus cultivation, which is the principal forestry specie cultivated in that region. The aims of this work were two: (1) firstly, to evaluate the effects of water deficit on physiological characteristics and initial growth of different eucalyptus clones; (2) after a period with water deficit, it was proposed to evaluate the clones behavior when water supply is restarted. The works were carried out in vases, in a greenhouse, at UESB, in Vitória da Conquista, Bahia. The treatments were arranged in factorial 4x2 [four clones - VM01 (*E. urophylla* x *E. camaldulensis*), VCC0865 (*E. urophylla* x *E. grandis*), AEC0144 and AEC0224 (both *E. urophylla*); and two water regimes (irrigated and non irrigated)], with four repetitions, two vases for parcel (one plant for each vase), completely randomized statistical design. The eucalyptus seedlings were planted in vases, which were filled up, each one, with 23 kg of representative soil from the region. The plants were acclimatized at a greenhouse with irrigation, during 60 days. After this period, the water supply was stopped at non irrigated group of plants and the following evaluations were started: leaf area, root/shoot dry mass ratio, leaf water potential, relative water content, net photosynthesis, transpiration, stomatal conductance, internal CO<sub>2</sub> concentration and SPAD index. This stage of the experiment came to an end at 20<sup>o</sup> day without irrigation, when relative water contents were 40-60% and net photosynthesis rates were almost nules. One plant of each parcel was removed for laboratory analysis and the water supply was restarted to the other plants of originally non irrigated treatment. After the 4<sup>o</sup> day of the water supply restarted, net photosynthesis, water relations and growth analysis were evaluated. The results were submitted to statistical analysis and Tukey test 5%. Comparatively, there were significative differences in almost all physiological and phytotechnical characteristics evaluated, between irrigated and non irrigated treatments. The plant water status, based on leaf water potential and water relative content, was very affected by water deficit that caused significative declines in transpiration and stomatal conductance. There wasn't significative differences among the clones under water deficit, in relation to leaf water potential and relative water content. Nevertheless, a net photosynthesis decline was detected in non irrigated plants, and this decline was relatively lesser in clone VM01. Although similar performances among clones under water deficit, in relation to many characteristics, some clones had different performances on irrigated treatment: growth height of VM01 and AEC0144 was higher than the other clones – probably, because

---

\* Adviser: Paulo Araquém Ramos Cairo, *Dr.* – UESB.

their most elevated relative water content. The restarted of water supply to originally non irrigated treatment promoted rapid plant water status recovery – VM01 clone in special - based on leaf water potential, relative water content and gas exchange. All clones showed good physiological plasticity.

**Keywords:** Water deficiency, *Eucalyptus* spp., parameters morphophysiological, rehydration.

## LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 – Granulometria e classificação textural do solo.....	32
Tabela 2.2 – Análise química de fertilidade do solo.....	32
Tabela 3.1 – Granulometria e classificação textural do solo.....	69
Tabela 3.2 – Análise química de fertilidade do solo .....	69
Tabela 1A – Resumo da análise de variância para altura de plantas (H), diâmetro de colo (D), área foliar (AF) e relação de massa seca de raiz/parte aérea (MSR/PA) de plantas jovens de quatro clones de eucalipto, sob dois regimes hídricos.....	111
Tabela 2A – Resumo da análise de variância para potencial hídrico ( $\Psi_w$ ), teor relativo de água (TRA) e intensidade da coloração verde (índice SPAD) de plantas jovens de quatro clones de eucalipto, sob dois regimes hídricos.....	111
Tabela 3A – Resumo da análise de variância para fotossíntese líquida (A), transpiração (E), condutância estomática (Gs) e concentração interna de CO <sub>2</sub> (Ci) de plantas jovens de quatro clones de eucalipto, sob dois regimes hídricos.....	112
Tabela 1B – Resumo da análise de variância para altura (H), diâmetro de colo (D) e área foliar (AF) de plantas jovens de quatro clones de eucalipto, sob irrigação permanente e reirrigação, após período de estresse de 20 dias.....	112
Tabela 2B – Resumo da análise de variância para potencial hídrico ( $\Psi_w$ ) e teor relativo de água (TRA) de plantas jovens de quatro clones de eucalipto, sob irrigação permanente e reirrigação após período de estresse de 20 dias.....	113
Tabela 3B – Resumo da análise de variância para fotossíntese (A), transpiração (E), condutância estomática (Gs) e concentração interna de CO <sub>2</sub> (Ci) de plantas jovens de quatro clones de eucalipto, sob irrigação permanente e reirrigação, após período de estresse de 20 dias.....	113

## LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 – Panorâmica da área experimental. ....	35
Figura 2.2 – Avaliação da intensidade de coloração verde das folhas, índice SPAD, (a); leituras com o IRGA (b).....	38
Figura 2.3 – Altura de plantas jovens de quatro clones de eucalipto sob dois regimes hídricos; comparação entre clones (A), comparação entre regimes hídricos (B).....	40
Figura 2.4 – Diâmetro de plantas jovens de clones de eucalipto sob dois regimes hídricos.....	41
Figura 2.5 – Área foliar de plantas jovens de quatro clones de eucalipto sob dois regimes hídricos.....	43
Figura 2.6 – Potencial hídrico foliar ( $\Psi_w$ ) em plantas jovens de quatro clones de eucalipto, sob dois regimes hídricos.....	47
Figura 2.7 – Teor relativo de água (TRA) em plantas jovens de quatro clones de eucalipto, sob dois regimes hídricos; comparação entre clones (A), comparação entre regimes hídricos (B).....	50
Figura 2.8 – Condutância estomática ( $G_s$ ) em plantas jovens de quatro clones de eucalipto, sob dois regimes hídricos.....	52
Figura 2.9 – Transpiração ( $E$ ) em plantas jovens de quatro clones de eucalipto, sob dois regimes hídricos.....	54
Figura 2.10 – Fotossíntese líquida ( $A$ ) em plantas jovens de quatro clones de eucalipto, sob dois regimes hídricos.....	55
Figura 2.11 – Concentração interna de $CO_2$ ( $C_i$ ) em tecidos foliares de plantas jovens de quatro clones de eucalipto, sob dois regimes hídricos.....	56
Figura 2.12 – Intensidade de coloração verde das folhas (índice SPAD) em plantas jovens de quatro clones de eucalipto, sob dois regimes hídricos; comparação entre clones.....	59
Figura 3.1 – (a) Planta irrigada; (b) Planta estressada.....	74

Figura 3.2 – Altura de plantas jovens de quatro clones de eucalipto, sob dois regimes hídricos; comparação entre clones (A), comparação entre regimes hídricos (B).....	76
Figura 3.3 – Diâmetro de colo de plantas jovens de quatro clones de eucalipto, sob dois regimes hídricos; comparação entre clones (A), comparação entre regimes hídricos (B).....	78
Figura 3.4 – Área foliar de plantas jovens de quatro clones de eucalipto, sob dois regimes hídricos.....	80
Figura 3.5 – Teor relativo de água (TRA) em quatro clones de eucalipto, sob dois regimes hídricos; comparação entre clones.....	83
Figura 3.6 – Condutância estomática ( <i>G<sub>s</sub></i> ) em plantas jovens de clones de eucalipto, sob dois regimes hídricos; comparação entre regimes hídricos.....	84
Figura 3.7 – Transpiração ( <i>E</i> ) em plantas jovens de clones de eucalipto, sob dois regimes hídricos; comparação entre regimes hídricos.....	85
Figura 3.8 – Fotossíntese ( <i>A</i> ) em plantas jovens de quatro clones de eucalipto, sob dois regimes hídricos; comparação entre clones (A), comparação entre regimes hídricos (B).....	87

## LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

A	Fotossíntese ( $\mu\text{molCO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ )
ABRAF	Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas
AF	Área foliar ( $\text{cm}^2$ )
ATP	Trifosfato de adenosina
Ci	Concentração interna de $\text{CO}_2$ ( $\text{mmolCO}_2\cdot\text{mol}^{-1}$ )
D	Diâmetro de colo (mm)
E	Transpiração ( $\text{mmolH}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ )
g	Gramas
Gs	Condutância estomática ( $\text{mmolH}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ )
H	Altura da parte aérea (cm)
IRGA	Analizador de gases por infra-vermelho
kg	Quilo
mg	Miligramas
MSR/PA	Relação massa seca raiz e parte aérea
PF	Peso fresco (g)
PS	Peso seco (g)
PT	Peso túrgido (g)
Rubisco	Ribulose-1,5-bifosfato carboxilase/oxigenase
RuBP	Ribulose bi-fosfato
SPAD	Intensidade da coloração verde das folhas (Soil Plant Analysis Development)
TRA	Teor relativo de água (%)
UESB	Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia
$\Psi_w$	Potencial hídrico (MPa)

## SUMÁRIO

CAPÍTULO 1.....	16
1 - Introdução Geral.....	16
CAPÍTULO 2: FOTOSSÍNTESE E CRESCIMENTO INICIAL DE CLONES DE EUCALIPTO SOB RESTRIÇÕES HÍDRICAS.....	19
1 – Introdução.....	19
2 – Referencial teórico.....	21
2.1-Cultivo de eucalipto no Brasil: principais espécies e importância econômica.....	21
2.2-Clonagem e hibridação de eucalipto.....	22
2.3-Ecofisiologia e relações hídricas.....	23
3 – Material e Métodos.....	31
3.1 - Caracterização geral da área experimental.....	31
3.1.1 – <i>Clima e vegetação regional</i> .....	31
3.1.2 – <i>Substrato utilizado</i> .....	31
3.2 - Espécies utilizadas e obtenção das mudas.....	32
3.3 – Preparo dos vasos e transplântio.....	33
3.4 Caracterização dos tratamentos e delineamento experimental.....	34
3.5 - Características avaliadas.....	35
3.5.1 - <i>Avaliações de características fitotécnicas</i> .....	35
3.5.2 - <i>Avaliações de características fisiológicas</i> .....	36
4 - Resultados e Discussão.....	39
4.1 - Características fitotécnicas.....	39
4.1.1 - <i>Altura de plantas e diâmetro de colo</i> .....	39
4.1.2 - <i>Área foliar e Relação massa seca raiz / parte aérea</i> .....	43
4.2 - Características fisiológicas.....	46
4.2.1 - <i>Potencial hídrico foliar</i> .....	47
4.2.2 - <i>Teor relativo de água</i> .....	49
4.2.3 - <i>Condutância estomática e transpiração</i> .....	52
4.2.4 - <i>Fotossíntese líquida e concentração interna de CO<sub>2</sub></i> .....	54
4.2.5 - <i>Intensidade de coloração verde das folhas (índice SPAD)</i> .....	58
5 – Conclusões.....	60
CAPÍTULO 3: FOTOSSÍNTESE E CRESCIMENTO DE CLONES DE EUCALIPTO APÓS PERÍODO DE ESTRESSE HÍDRICO.....	61
1 – Introdução.....	61
2 – Referencial Teórico.....	63
2.1 - Efeito da deficiência hídrica e da reirrigação nas relações hídricas e trocas gasosas da planta.....	63
3 - Material e Métodos.....	68
3.1 - Caracterização geral da área experimental.....	68
3.1.1 – <i>Clima e vegetação regional</i> .....	68
3.1.2 – <i>Substrato utilizado</i> .....	68

3.2 - Espécies utilizadas e obtenção das mudas.....	69
3.3 - Preparo dos vasos e transplântio.....	70
3.4 – Caracterização dos tratamentos e delineamento experimental	71
3.5 - Características avaliadas.....	72
3.5.1 - Avaliações de características fitotécnicas.....	72
3.5.2 - Avaliações de características fisiológicas.....	73
4 - Resultados e Discussão.....	75
4.1 - Características fitotécnicas.....	75
4.1.1 - Altura de plantas e diâmetro de colo.....	75
4.1.2 - Área foliar.....	79
4.2 - Características fisiológicas.....	81
4.2.1 - Potencial hídrico foliar e teor relativo de água.....	81
4.2.2 - Condutância estomática e transpiração.....	83
4.2.3 - Fotossíntese líquida e concentração interna de CO <sub>2</sub> .....	86
5 – Conclusões.....	91
REFERÊNCIAS.....	92
APÊNDICE.....	110

# CAPÍTULO 1

## INTRODUÇÃO GERAL

O crescente consumo de madeira e seus derivados, no Brasil, gerou a necessidade de introduzir, nos programas de reflorestamento, espécies florestais de alta produtividade, que permitam um ciclo de corte relativamente curto, associado às boas características silviculturais.

O gênero *Eucalyptus* tem merecido destaque cada vez maior em programas de reflorestamento, por se tratar de uma espécie de rápido crescimento, grande incremento de matéria seca, facilidade de manejo, diversidade de espécies, atendimento a uma ampla gama de propósitos industriais, além da elevada produção de sementes e facilidades de propagação vegetativa.

Atualmente, a área plantada com eucalipto no Brasil é superior a 4 milhões de hectares (ABRAF, 2011) e a sua produtividade se destaca por ser das mais elevadas do mundo, com taxas que variam de 38 a 54 m<sup>3</sup>.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup> (STAPE, 2008).

O gênero *Eucalyptus* pertence à família Myrtaceae, ordem Myrtales das Angiospermas, que possui um grande número de espécies. É nativo da Austrália e amplamente difundido nos trópicos (PRYOR e outros, 1995). A introdução de espécies oriundas de outras regiões é sempre um processo que requer estudos direcionados à avaliação da sua capacidade de adaptação e sobrevivência, bem como seus reflexos sobre a produtividade econômica, tendo em vista as condições edafo-climáticas, específicas da região, onde essa espécie será inserida.

Antes concentrada nas regiões mais úmidas, as atividades florestais atualmente se estendem ao semiárido nordestino, onde as indústrias e

madeiras locais demandam grande quantidade de lenha e madeira. Em relação ao semiárido baiano, particularmente no Planalto de Conquista, no Sudoeste do Estado da Bahia, a região é rica em biodiversidade, mas ainda são poucos os estudos sobre espécies de eucalipto com potencial para o reflorestamento. Trata-se de uma região sujeita a períodos prolongados de seca, entre os meses de abril e outubro, mas que pode se estender, devido à irregularidade das chuvas no período característico de verão (novembro a março). Essa característica climática pode tornar-se limitante à produtividade econômica – e até mesmo à sobrevivência – de algumas espécies que possam vir a ser introduzidas na região, o que aumenta os riscos para o sucesso da atividade florestal.

A seleção de espécies tolerantes à seca é de fundamental importância para o sucesso da atividade florestal em áreas sob restrições hídricas, uma vez que o crescimento e o desenvolvimento das plantas são afetados por fatores bióticos e abióticos, dentre eles a temperatura e o conteúdo de água no solo (STRECK, 2002). A acentuada variação na disponibilidade hídrica dificulta a seleção de materiais genéticos, uma vez que os riscos de insucesso são elevados nestas condições ambientais, sendo, portanto, conveniente o desenvolvimento de estudos que visem à seleção precoce de material genético para reflorestamento com fins comerciais.

A tolerância de espécies florestais à seca pode ser avaliada com base no seu comportamento das espécies em relação a vários aspectos fisiológicos, associados à eficiência no uso da água e à partição de fotoassimilados, de modo a minimizar possíveis diminuições na taxa de crescimento e na produtividade econômica. De todos os recursos de que as plantas precisam para o crescimento, a água é o mais limitante para a produtividade agrícola, visto ser essencial aos diversos processos metabólicos das plantas, principalmente durante o período inicial de desenvolvimento (SOUZA e outros, 2001).

A água é o principal constituinte do tecido vegetal e representa 50% da massa fresca nas plantas lenhosas, e cerca de 80 a 95% nas plantas

herbáceas, sendo requerida como reagente no metabolismo vegetal, transporte e translocação de solutos, na turgescência celular, na abertura e fechamento dos estômatos e na penetração do sistema radicular (TAIZ & ZEIGER, 2009). A fotossíntese e a partição de assimilados em plantas que crescem em condições naturais são constantemente afetadas pela disponibilidade de água, luz e nutrientes. A carência de qualquer um desses recursos constitui num fator de estresse ambiental, que reduz a produtividade da floresta (PALLARDY, 2008).

No Planalto de Conquista - BA, o cultivo de eucalipto tem se expandido em larga escala. Nesta região, o clima é do tipo CFC (tropical de altitude), segundo a classificação de Köppen (OMETTO, 1981), o qual se caracteriza por apresentar grande variabilidade temporal de precipitação, tanto dentro de um mesmo ano, como de um ano para outro. Em geral, nessa região, veranicos ocasionais coincidem com temperaturas elevadas, os quais podem acentuar restrições hídricas às plantas. Espécies e cultivares de eucalipto podem ter o seu desempenho afetado por tais condições, com reflexos negativos sobre a sua produtividade. A produtividade de alguns genótipos de eucalipto, nas condições edafo-climáticas de Vitória da Conquista, ainda requer estudos aprofundados, que permitam conhecer melhor o desempenho das plantas, seja sob restrições hídricas, seja em relação à sua capacidade de recuperação, após o período seco.

O presente trabalho teve como objetivo avaliar o desempenho de clones de eucalipto submetidos a diferentes regimes hídricos. Para melhor compreensão do trabalho, esta dissertação está dividida em dois capítulos. O capítulo 2 faz uma abordagem sobre características silviculturais e fisiológicas de clones de eucalipto, associados ao crescimento inicial, sob deficiência hídrica. Já no capítulo 3, investigou-se a capacidade de recuperação desses clones, a partir da retomada do fornecimento de água às plantas, após o período sob restrição hídrica.

## **CAPÍTULO 2**

### **FOTOSSÍNTESE E CRESCIMENTO INICIAL DE CLONES DE EUCALIPTO SOB RESTRIÇÕES HÍDRICAS.**

#### **1 - INTRODUÇÃO**

O eucalipto encontrou no solo e no clima brasileiro as condições ideais para produção em larga escala e, devido a sua grande capacidade de adaptação e diversidade de uso, tornou-se a principal espécie utilizada para a formação de florestas plantadas no país, ocupando uma área superior a 4,0 milhões de hectares (ABRAF, 2011).

Os plantios florestais com eucalipto estão se expandindo, principalmente, para a região semiárida do Nordeste, onde a distribuição e a quantidade das chuvas são fatores limitantes à produtividade e até mesmo à sobrevivência de algumas espécies que possam vir a ser introduzidas na região, e o uso de material genético com capacidade de se estabelecer e se desenvolver em condições de deficiência hídrica no solo pode ser de grande relevância para o êxito de um povoamento florestal.

A identificação de genótipos de eucalipto para sua implantação em condições ambientais adversas, especialmente em relação à deficiência de água no solo, é um desafio para o setor florestal (TUOMELA, 1997). Segundo Flexas e outros (2002), o estresse hídrico é a principal causa de perdas na produtividade agrônômica e florestal.

Trabalhos que envolvem o monitoramento de aspectos fisiológicos sob condições naturais são afetados pelas condições climáticas, mas dão uma oportunidade para melhor entender os fatores que mais influenciam o metabolismo das plantas (SANT' ANNA, 2009).

O efeito da deficiência hídrica sobre as plantas é complexo, não havendo um mecanismo universal de resistência à seca, pois as plantas respondem através de vários processos adaptativos à escassez de água como, por exemplo, através da capacidade de reduzir o potencial hídrico, aliada às adaptações morfológicas, anatômicas e fisiológicas (NOGUEIRA e outros, 2005).

Este estudo teve como objetivo avaliar características silviculturais e fisiológicas de clones de eucalipto, associados ao crescimento inicial, submetidos a um período de restrição hídrica.

## 2 - REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 - Cultivo de eucalipto no Brasil: principais espécies e importância econômica

A cultura do eucalipto assume uma grande importância econômica no Brasil devido à multiplicidade de seus usos e empregos de suas diferentes espécies e da expressiva área de florestas implantadas existentes. São conhecidas mais de 650 espécies diferentes de eucalipto. A maior parte das espécies e subespécies tem origem no continente Australiano e ilhas adjacentes, sendo que algumas espécies ocorrem naturalmente em Papua Nova, Timor, Sonda, Flores, Wetar (oeste do arquipélago da Indonésia) e nas Filipinas (SCHUMACHER e outros, 2005).

O ano de 2010 caracterizou-se como uma retomada de crescimento para o setor de florestas plantadas no Brasil, por ter apresentado um desempenho econômico correspondente a R\$ 51,8 bilhões, sendo o eucalipto a principal espécie cultivada. A maior concentração (75,2%) de plantios florestais (*Eucalyptus* e *Pinus*) ocorre nas regiões Sul e Sudeste do país, onde também estão localizadas as principais unidades industriais dos segmentos de celulose, papel, painéis de madeira industrializada e siderurgia a carvão vegetal. Contudo, uma tendência para o setor florestal, em longo prazo, será a estabilização e redução do crescimento da atividade florestal no Sul e Sudeste e crescimento no Centro-Oeste e Nordeste. A área ocupada por plantios florestais de eucalipto no Brasil, em 2010, atingiu cerca de 4.754.334 ha, dos quais 631.464 ha estão na Bahia, cuja área plantada é a terceira maior do país (ABRAF, 2011).

A espécie *Eucalyptus urophylla*, é nativa de algumas ilhas orientais do arquipélago de Sonda, situadas no norte da Austrália. É uma espécie rústica com forte dominância apical, que responde ao espaçamento e à adubação e possui resistência ao déficit hídrico, o que a tornou

significativamente importante para os programas de melhoramento genético (FERREIRA, 1992). O interesse por essa espécie surgiu no Brasil, após sua comprovada resistência ao cancro do eucalipto, sendo muito utilizada na produção de híbridos (MORA e GARCIA, 2000). Em relação à maioria das espécies de eucalipto introduzidas no Brasil, é a espécie que apresenta maior estabilidade genética em todas as áreas onde foi testada (BARROSO, 1999).

*Eucalyptus camaldulensis* é uma das espécies mais importantes de eucalipto por ser a mais adequada às zonas críticas, onde as deficiências hídricas e problemas ligados ao solo são fatores limitantes para outras espécies de eucalipto. Está presente em quase todo o continente australiano, onde ocupa os mais variados ambientes ecológicos, sendo tolerante a inundações temporárias e, ao mesmo tempo, resistente a temperaturas elevadas. No Brasil, é cultivada desde o Rio Grande do Sul até o Nordeste, fornecendo madeira de cor avermelhada, apta para serraria, postes, dormentes, lenha e carvão (DEL QUIQUI e outros, 2001).

*Eucalyptus grandis* é a espécie mais plantada no Brasil, sendo sua madeira boa para serraria e excelente para celulose. Apresenta grande aceitação e possui capacidade de desramar-se espontaneamente, o que dá origem a fustes lisos e retilíneos, além de superar outras espécies em incremento volumétrico. Quando plantada em regiões tropicais úmidas, torna-se sensível ao fungo *Cryphonectria cubensis*, agente causal do “cancro bacteriano”. Devido à sua plasticidade genética, é muito utilizada para a obtenção de híbridos e na clonagem de árvores selecionadas (MORA e GARCIA, 2000).

## **2.2 - Clonagem e hibridação de eucalipto**

Para que um programa de reflorestamento obtenha êxito, é essencial a utilização de mudas de qualidade, com características específicas, que visem maior uniformização de crescimento, tanto da altura como do sistema

radical, e promovam, após o plantio, maior resistência às condições adversas encontradas no campo (GOMES e outros, 2002).

Segundo Gonçalves e outros (2000), a produtividade das plantações florestais brasileiras está aquém de seu potencial, mas há amplas possibilidades de elevá-la, se for adotado o manejo silvicultural adequado e técnicas de melhoramento.

No início dos plantios de eucalipto em larga escala, as mudas eram produzidas por meio de sementes não melhoradas, o que muitas vezes resultava em má qualidade dos povoamentos, devido à desuniformidade do material (XAVIER e COMÉRCIO, 1996). A propagação vegetativa, a clonagem e a hibridação possibilitaram um grande impulso no setor florestal do país, que permitiu a formação de plantios homogêneos, resistentes a doenças e de alta produtividade (ALFENAS e outros, 2004).

Dentre as espécies de eucalipto, *E. urophylla* e *E. grandis* são as mais utilizadas em programas de hibridação controlada, que geram um genótipo comumente denominado de “urograndis”, o qual permite a união das boas características de ambas na geração segregante (MURO\_ABAD, 2000). Segundo Silva e Matos (2003), 11% dos plantios florestais de eucalipto são formados por híbridos de *E. urophylla* e *E. grandis*.

### **2.3 - Ecofisiologia e relações hídricas**

A produtividade das florestas plantadas varia consideravelmente e vários são os fatores que contribuem para isso. Para o entendimento básico da ecofisiologia da produção florestal e como os fatores ambientais interagem com a fisiologia das espécies, é importante o estudo contínuo dessas relações e o uso de material genético de eucalipto, capaz de se estabelecer e se desenvolver em condições de deficiência hídrica no solo, pode ser de relevância para o êxito de um povoamento florestal (TATAGIBA, 2006).

Alterações nos fatores abióticos, como alta irradiância e baixa disponibilidade hídrica ou nutricional, afetam sobremaneira a atividade fisiológica das plantas em suas diferentes fases de crescimento, e tornam mais difícil o sucesso do estabelecimento de plantas em sua fase juvenil (GONÇALVES e outros, 2009).

Segundo Chaves e outros (2009), a baixa disponibilidade de água é o principal fator ambiental que limita o crescimento da planta e o seu rendimento em todo o mundo. A deficiência hídrica provoca alterações no comportamento vegetal, cuja irreversibilidade vai depender do genótipo, da duração, da severidade e do estágio de desenvolvimento da planta (SANTOS e CARLESSO, 1998). As plantas podem apresentar tolerância, quando sobrevive às adversidades, ou suscetibilidade, quando sofre redução em seu crescimento, que pode chegar à morte, a depender da intensidade do estresse ao qual a planta é submetida (CAMBRAIA, 2005).

Todos os processos fisiológicos da célula são direta ou indiretamente afetados pelo fornecimento de água. As propriedades da água afetam diretamente as estruturas das proteínas, membranas, ácidos nucleicos e os outros constituintes das células, além de ser o reagente de numerosas reações químicas e bioquímicas como na fotossíntese e em reações hidrolíticas como a conversão da sacarose em hexoses (KRAMER e BOYER, 1995).

Segundo Pereira (2006), das inúmeras importâncias fisiológicas da água para o vegetal destacam-se: atua como reagentes e produtos da atividade fotossintética; fonte de elétrons, após a ativação da clorofila pela luz, para produzir energia química; meio de transporte de solutos e gases; afeta a divisão e o crescimento celular; influi na turgescência das raízes e, conseqüentemente, a sua penetração no solo; participa dos processos de abertura e de fechamento dos estômatos; afeta a viscosidade e a permeabilidade do protoplasma e a atividade das enzimas envolvidas; produto final da atividade respiratória; efeito resfriante, funcionando como tampão de temperatura; e afeta a translocação de assimilados.

O estresse por deficiência hídrica é produzido tanto pela limitação de água no solo quanto por perda excessiva pela transpiração em relação à absorção feita pelas raízes, sendo esses processos influenciados por fatores ambientais e por características da própria planta (SANT' ANNA, 2009). A primeira e mais sensível resposta à deficiência hídrica está na diminuição da turgescência, por meio da qual ocorre o fechamento dos estômatos, a redução na fotossíntese e a diminuição do alongamento celular, principalmente em extensão (LARCHER, 2006).

Algumas estratégias são utilizadas pelas plantas para auxiliar na tolerância contra a seca, como perda das folhas e ou diminuição da área foliar, reduzindo a transpiração (VILLAGRA e CAVAGNARO, 2006); perda das raízes superficiais e proliferação das profundas (REIS e outros, 2006) e ajustamento osmótico para manutenção do turgor celular (CARVALHO, 2005).

O transporte de água na planta pode ser visto como um sistema hidráulico contínuo, conectando a água do solo com o vapor de água da atmosfera, em resposta a um gradiente de potencial hídrico (REIS e REIS, 1997). Quando a água entra na célula, o volume vacuolar aumenta e exerce uma pressão de turgescência na parede celular. À medida que a célula perde água, o volume do vacúolo diminui com conseqüente queda da turgescência celular, caracterizado pelo murchamento foliar. É neste ponto que o metabolismo fotossintético começa a ser afetado. A elasticidade das paredes é que vai determinar o limite deste decréscimo de volume. Espécies com parede celular de maior elasticidade podem perder mais água sem atingirem o ponto de perda de turgescência, além de apresentarem maior capacidade de armazenamento de água (LAWLOR, 1995; NUNES, 2007).

Segundo Souza e outros (2004), o controle da perda de água pelo fechamento estomático consegue manter elevado o potencial hídrico e o conteúdo relativo de água nas folhas. Como conseqüência, há restrições na condutância estomática e trocas gasosas, que reduz a taxa de transpiração e assimilação de CO<sub>2</sub>.

O controle estomático é uma resposta bioquímica ao estresse hídrico, pois é resultante da produção de ácido abscísico (ABA) e compostos osmorreguladores. O ABA interfere na bomba de prótons da membrana plasmática, controlando o influxo e efluxo de  $K^+$  nas células-guarda, assim como os de  $Cl^-$  e de ácidos orgânicos. Como é sintetizado continuamente em taxas baixas nas células do mesófilo, o ABA tende a se acumular nos cloroplastos e, quando o mesófilo torna-se moderadamente desidratado, parte do ABA armazenado nos cloroplastos é liberada para os espaços intercelulares (apoplasto), sendo também sintetizado em taxas mais altas, acumulando-se no apoplasto foliar, que induz o fechamento estomático (MÜLLER-RÖBER e outros, 1998).

Um dos mecanismos de tolerância à seca que a planta desenvolve, ao nível celular, é a produção e/ou acúmulo de solutos osmoticamente ativos (prolina, glutamina, betaína, sorbitol e manitol), processo conhecido como ajustamento osmótico ou osmorregulação, a fim de manter o turgor e equilíbrio do potencial hídrico na célula (NUNES, 2007). Para Serraj e Sinclair (2002), o ajuste osmótico permite a sobrevivência da planta em deficiência hídrica, mas não mantém o crescimento e a produtividade da planta.

Para Lambers e outros (2008), a regulação estomática possui basicamente dois componentes, um ligado à pressão de turgor das células guarda, portanto um controle mecânico, e outro ligado à concentração de  $CO_2$  intercelular (bioquímico). Nesse último caso, uma redução na concentração interna de  $CO_2$  estimularia a abertura estomática.

A transpiração excessiva também pode comprometer a disponibilidade de água para os processos vitais da planta, principalmente quando se trabalha em situações em que a quantidade de água disponível é reduzida (CHAVES, 2001).

De acordo com Sant' Anna (2009), a limitação estomática à transpiração, devido à falta de água, é uma alternativa à manutenção do conteúdo hídrico foliar, porque evita a dessecação dos tecidos, mas, ao

mesmo tempo, pode levar a um aumento da temperatura foliar, que afeta a fotossíntese (TARDIEU, 2005). Segundo Pereira (2006), sob condições idênticas, diferenças na transpiração podem indicar um mecanismo estomático com maior ou menor eficiência, implicando economia de água pela planta.

Silva e outros (2004), trabalhando com dois manejos hídricos por subirrigação (-0,01 e -1,5 MPa), na fase de rustificação de mudas de *E. grandis*, verificaram que o estresse hídrico influenciou na transpiração, de maneira que as mudas mais adaptadas ao estresse (-1,5 MPa) fecharam rapidamente seus estômatos, enquanto as menos adaptadas ao estresse (-0,01 MPa) perderam bastante água por transpiração e apresentaram atraso em suas reações contra a desidratação.

Lemcoff e outros (1994) estudaram o comportamento de mudas de diferentes genótipos de eucalipto (*E. grandis*, *E. viminalis*, *E. tereticornis* e *E. camaldulensis*), associando-os à capacidade de se ajustarem osmoticamente, em resposta à deficiência hídrica. *E. camaldulensis* apresentou baixo ajustamento osmótico, levando os autores a atribuírem sua maior resistência à seca ao desenvolvimento de um sistema radicular profundo e ramificado, que possibilita absorver água de camadas mais profundas do solo.

A taxa fotossintética líquida da planta é resultante da assimilação de CO<sub>2</sub> após as perdas que ocorrem na respiração e fotorrespiração. A fotossíntese é muito sensível à disponibilidade de água, decrescendo tanto em solos secos quanto em solos encharcados. A deficiência hídrica reduz a fotossíntese pelo fechamento dos estômatos, diminuindo a eficiência do processo de fixação de carbono, suprimindo a formação e expansão foliar, podendo induzir a queda de folhas (PALLARDY, 2008). Segundo Zhu e outros (2010), mesmo em condições normais, a difusão lenta de CO<sub>2</sub> para o local da carboxilação no cloroplasto pode limitar significativamente a fotossíntese.

Estresse ambiental pode diminuir a taxa de fotossíntese não só por causa dos efeitos prejudiciais sobre a bioquímica celular, mas também por causa de mudanças na difusão de CO<sub>2</sub> da atmosfera para o local de carboxilação (FLEXAS e outros, 2008; WARREN, 2008). Em condições de seca, acredita-se que a principal causa de menores taxas de fotossíntese seja a limitada difusão de CO<sub>2</sub> (GRASSI e MAGNANI, 2005; KEENAN e outros, 2010).

De acordo com Hinckley e outros (1991), a inibição da fotossíntese em árvores estressadas, em curto prazo, se dá, principalmente, pela menor taxa de absorção de CO<sub>2</sub>, devido ao fechamento dos estômatos. Em longo prazo, a inibição não estomática da fotossíntese é muito importante e pode envolver diminuição na atividade de enzimas responsáveis pela carboxilação (carboxilases), capacidade para transferência de elétrons e teor de clorofila. Dentre esses efeitos, o transporte de elétrons parece ser o mais resistente à inibição sob estresse hídrico.

O controle estomático tem sido indicado como principal limitante da fotossíntese (CHAVES, 1991; CORNIC, 2000; PEEVA e CORNIC, 2009). Por outro lado, a falta de água pode afetar as taxas de fixação do CO<sub>2</sub> por redução da atividade ou síntese da Rubisco, regeneração da ribulose-1,5-bisfosfato (RuBP) ou redução na síntese de ATP (LAWLOR, 2002; LAWLOR & CORNIC, 2002; MEDRANO e outros, 2002; PARRY e outros, 2002).

A redução da capacidade fotossintética da folha não é só devido ao fechamento dos estômatos, mas também a uma redução da condutância do mesófilo para CO<sub>2</sub>, e tem-se sugerido que algumas aquaporinas estão envolvidos em sua regulamentação (HANBA e outros, 2004; FLEXAS e outros, 2006; FLEXAS e outros, 2008), especialmente sob estresse hídrico (MIYAZAWA e outros, 2008).

Sob condições de deficiência hídrica, tem sido demonstrada a relação direta entre a redução da concentração interna de CO<sub>2</sub>, em razão do fechamento estomático, que gera decréscimos na assimilação de CO<sub>2</sub> e no rendimento quântico do fotossistema II. Há evidências de que os efeitos do

estresse hídrico sobre o fotossistema II podem ser mediados pela produção e acumulação de espécies reativas de oxigênio, que provoca extensivos danos às membranas, desencadeando processos peroxidativos de lipídios, com perda de eletrólitos pela célula e consequente perda de turgescência (QUEIROZ e outros, 2002).

A determinação do potencial hídrico foliar antemanhã, comparado aos valores observados ao longo do dia, é uma importante ferramenta para se avaliar o seu “status” hídrico (KRAMER & BOYER, 1995). Para Pereira (2006), o potencial hídrico reflete as condições da dinâmica do processo do transporte da água no sistema solo-planta-atmosfera, constituindo o principal componente responsável pelo fluxo de água na planta. Segundo Perçanha (2008), em plantas arbóreas, condições atmosféricas que favorecem altas taxas de transpiração têm importante influência no potencial hídrico da folha, devido à baixa condutividade hidráulica do seu sistema radicular.

Ferreira (1999), estudando relações hídricas em mudas de *Corymbia citriodora*, em tubetes, observou que as mudas promoveram o fechamento rápido dos estômatos, em condições de altas taxas de déficit de pressão de vapor e radiação, fotossinteticamente ativa, porém mantiveram alto “status” hídrico do tecido foliar, sendo que o potencial hídrico apresentou-se como uma variável mais consistente para evidenciar as alterações fisiológicas.

Em árvores jovens de *Carapa guianensis*, a taxa de fotossíntese apresenta valores mais elevados no início da manhã, quando o potencial hídrico da folha é mais alto (COSTA & MARENCO, 2007).

Alvarenga (1994), estudando o efeito de dois níveis de umidade (um na capacidade de campo e outro com potencial de água no solo de -1,5 MPa) em *E. grandis*, encontrou crescimento superior a 65% nas plantas cultivadas em condições próximas à capacidade de campo.

Li e outros (2000) estudaram o efeito da deficiência hídrica no crescimento de mudas de diversas procedências de *E. microtheca* e encontraram redução da matéria seca total, altura das mudas e área foliar específica e aumento na relação raiz/parte aérea, quando se compararam

plantas plenamente irrigadas com aquelas sob deficiência hídrica. Respostas diferenciadas observadas no crescimento de plantas sob deficiência hídrica, às vezes, podem ser utilizadas na identificação de espécies, clones ou procedências mais resistentes à seca, segundo os autores.

Todos os aspectos de crescimento e desenvolvimento das plantas são afetados pela deficiência hídrica nos tecidos, causada pela excessiva demanda evaporativa ou limitado suprimento de água. Como consequência, ocorre a desidratação do protoplasto, resultando na diminuição do volume celular e aumento na concentração de solutos (MARTINS e outros, 2010).

A deficiência hídrica também afeta o desenvolvimento do sistema radicular. À medida que aumentam a deficiência hídrica no solo, as camadas superiores do solo vão secando e as raízes se aprofundam nas camadas mais úmidas, exigindo uma alocação de biomassa para suas extremidades (CORREIA e NOGUEIRA, 2004). A razão da biomassa de raízes para a parte aérea parece ser governada por um balanço funcional entre absorção de água pelas raízes e fotossíntese pela parte aérea. A parte aérea continuará crescendo até que a absorção de água pelas raízes torne-se limitante; inversamente, as raízes crescerão até que a demanda por fotossintatos da parte aérea iguale-se ao suprimento. Este balanço funcional é alterado, se o suprimento hídrico decrescer (CHAVES e outros, 2003; BLUM, 2005).

Gomes (1994) estudou a arquitetura radicular de três espécies de eucalipto, plantadas na região de cerrado, e constatou que *E. camaldulensis* e *E. urophylla* apresentaram raízes mais profundas e distribuídas em todas as camadas do perfil do solo, ao passo que *E. pellita* apresentou sistema radicular superficial. As duas primeiras espécies, também, foram mais eficientes no uso de água, sendo indicadas para o cultivo em regiões com reduzida disponibilidade de água.

O que vem sendo comprovado é que a produção de matéria seca total pelo eucalipto é linearmente proporcional à quantidade de água usada (ALVARENGA, 1994; SASSE e outros, 1996; ISMAEL, 2001; SILVA, 2003; LOPES, 2004; PEREIRA e outros, 2010).

### **3 - MATERIAL E MÉTODOS**

O experimento foi desenvolvido no *campus* experimental da Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia (UESB), em Vitória da Conquista - BA, em casa de vegetação, no período de 29 de novembro de 2010 a 18 de fevereiro de 2011.

#### **3.1 - Caracterização geral da área experimental**

##### ***3.1.1 – Clima e vegetação regional***

O município de Vitória da Conquista está situado a 14° 53' de latitude Sul e 40°48' de longitude Oeste, com altitude média de 928 m e clima tropical de altitude (CFC), de acordo com a classificação climática de Köppen. As médias de temperaturas máxima e mínima são, respectivamente, de 25,3°C e 16,1°C. A precipitação pluviométrica varia entre 700 e 1000 mm anuais, sendo o maior nível encontrado de novembro a março. A vegetação pertence à tipologia de Floresta Estacional Semidecidual Montana, também conhecida como Mata de Cipó.

##### ***3.1.2 – Substrato utilizado***

O substrato utilizado para o enchimento dos vasos foi constituído de solo retirado à profundidade de 30 a 40 cm de um Latossolo Vermelho-Amarelo. Foram realizadas análises granulométrica (Tabela 2.1) e química (Tabela 2.2).

Com base na análise de solo e, de acordo com as recomendações do Arquivo do Agrônomo da Potafos (SILVEIRA e outros, 2001), foi feita a

adubação no transplântio com fósforo (super fosfato simples – 4 kg de fósforo por m<sup>3</sup> de substrato) e de cobertura com nitrogênio e potássio (ureia e cloreto de potássio – 130 g de nitrogênio e 158 g de potássio por m<sup>3</sup> de substrato).

**Tabela 2.1** - Granulometria e classificação textural do substrato.

Composição Granulométrica (tfsa g/kg)				Classe Textural
Areia grossa 2 – 0,20mm	Areia fina 0,20 – 0,05mm	Silte 0,05 – 0,002mm	Argila < 0,002mm	
480	180	60	280	Franco Argilo Arenosa

**Tabela 2.2** - Análise química de fertilidade do substrato.

pH	P (Mehlich) mg/dm <sup>3</sup>	M.O.	Cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> de solo						V
			H+Al	K <sup>+</sup>	Ca <sup>+2</sup>	Mg <sup>+2</sup>	SB	CTC	(%)
5,7	1	22	2,2	0,10	2,4	0,9	3,4	5,6	61

### 3.2 - Espécies utilizadas e obtenção das mudas

Foram utilizadas mudas de eucalipto provenientes de quatro clones dos seguintes genótipos: VM01 (híbrido de *E. urophylla* x *E. camaldulensis*), VCC0865 (híbrido de *E. urophylla* x *E. grandis*), AEC0144 (*E. urophylla*) e AEC0224 (*E. urophylla*). Os clones AEC0144 e VM01 já vêm sendo cultivados na região. Os clones foram adquiridos das empresas Tecno Plant e Plant Flora, procedentes dos municípios de Eunápolis e Itabela. As mudas foram produzidas em tubetes de modelo cônico, com secção circular contendo seis frisos internos longitudinais e equidistantes, dimensões de 12,5 cm de altura, 3 cm de diâmetro na parte interna superior e apresentando o fundo aberto de aproximadamente 1 cm, de capacidade

volumétrica de substrato para 54cm<sup>3</sup>. As mudas foram obtidas junto às empresas e transportadas ao local do experimento, quando as mesmas apresentavam idade de 90 dias.

### **3.3 - Preparo dos vasos e transplântio**

Para composição do substrato, inicialmente, o solo foi espalhado sobre uma lona plástica dentro da casa de vegetação, sendo submetido à constante revolvimento, passando por uma secagem ao ar. Foram utilizados vasos com perfurações na sua base, a fim de permitir o escoamento de eventual excesso de água. Os vasos foram revestidos internamente e externamente com lona plástica da cor preta, para evitar perda de água e interferência de luz.

Após a secagem, o substrato foi adubado e, em seguida, usado para o preenchimento dos vasos com uma massa de solo seco de 23 kg e, posteriormente, mantido com teor de umidade próximo à capacidade de campo, definida como a máxima retenção de água no substrato, após a drenagem do seu excesso (BERNARDO e outros, 2005).

O monitoramento do teor de umidade do solo foi realizado em quatro vasos à parte. Adicionou-se água ao solo até o mesmo atingir a capacidade de campo, registrando-se o seu peso. Esses vasos foram utilizados como referência para se estabelecer a quantidade de água a ser repostada aos demais, com base na verificação diária do seu peso, cuja variação corresponderia às perdas de água por evaporação.

Após preenchimento dos vasos, as mudas passaram por seleção quanto à uniformidade (25 a 30cm de altura, 2 mm de diâmetro, quatro a cinco pares de folhas) e foram transplântadas.

### **3.4 – Caracterização dos tratamentos e delineamento experimental**

Inicialmente, todas as mudas (uniformes) foram submetidas a um período de adaptação (60 dias) nos vasos, em casa de vegetação, para estabelecimento e sobrevivência das mudas, recebendo irrigação diária, suficiente para manter o solo em condições próximas à capacidade de campo.

Os tratamentos foram constituídos de dois regimes hídricos – irrigados e não irrigado – aplicados aos quatro clones. O manejo hídrico para o tratamento irrigado foi estabelecido de acordo com a capacidade de campo do solo, conforme descrito no item 3.3. No tratamento não irrigado, a irrigação foi totalmente suspensa, após o período de adaptação. Dessa forma, foram estabelecidos oito tratamentos, conforme descrição a seguir:

**T1:** plantas irrigadas e clone VM01

**T2:** plantas irrigadas e clone VCC0865

**T3:** plantas irrigadas e clone AEC0144

**T4:** plantas irrigadas e clone AEC0224

**T5:** plantas não irrigadas e clone VM01

**T6:** plantas não irrigadas e clone VCC0865

**T7:** plantas não irrigadas e clone AEC0144

**T8:** plantas não irrigadas e clone AEC0224

A unidade experimental foi composta por duas plantas. Inicialmente, foram determinados os pesos dos vasos, do solo seco, do solo túrgido, do solo na capacidade de campo e das mudas. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado (DIC), com quatro repetições, sendo os tratamentos arranjos segundo o esquema fatorial 4 x 2, com quatro clones de eucalipto - AEC0144, AEC0224, VM01 e VCC865 – e dois regimes hídricos (irrigado e não irrigado), considerando-se duas plantas por unidade experimental, totalizando 64 plantas.



**Figura 2.1** – Panorâmica da área experimental.

Para a análise estatística, os dados foram submetidos à análise de variância (ANAVA). As médias e os desdobramentos das interações ocorridas entre os tratamentos foram comparados pelo teste Tukey, a 5% de probabilidade, utilizando o programa estatístico SAEG. Para as variáveis que apresentaram efeito significativo do manejo hídrico, foi feito teste de comparação de médias pelo teste F e, para clones, pelo teste Tukey.

### **3.5 - Características avaliadas**

#### ***3.5.1 - Avaliações de características fitotécnicas***

A altura (H) e o diâmetro de colo (D) foram medidos a cada semana, por meio de trena e paquímetro, respectivamente. No final do experimento (20 dias após a suspensão da irrigação), determinou-se a área foliar total em uma das plantas da unidade experimental, utilizando-se um Medidor de Área Foliar LI-COR (modelo LI-310). As plantas foram submetidas à secagem em

estufa com circulação forçada de ar, à temperatura de  $65\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 3\text{ }^{\circ}\text{C}$ , durante 48 horas. Em seguida, verificaram-se, separadamente, as massas secas do material correspondente à parte aérea (MSPA) e às raízes (MSR), utilizando uma balança de precisão 0,001mg, para determinação da relação massa seca de raízes e parte aérea (MSR/PA).

### 3.5.2 - *Avaliações de características fisiológicas*

- Intensidade da coloração verde das folhas: avaliação realizada em uma folha fisiologicamente madura, da porção mediana da copa de cada planta da unidade experimental, com clorofilômetro marca Minolta, modelo SPAD/502, com leituras realizadas a cada três dias. Os resultados obtidos foram expressos em unidade SPAD (Figura 2.2);
- Fotossíntese líquida potencial: medida por meio da avaliação de trocas gasosas, com um medidor portátil de fotossíntese, do tipo analisador infravermelho de gases (Infrared Gas Analyser) (IRGA LI-6400, LI-COR®, Nebraska/USA). As plantas receberam, durante a mensuração, irradiância de  $900\text{ mmol de fótons.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ , valores determinados pela curva de saturação luminosa para o eucalipto, situando-se entre  $800\text{ e }1.000\text{ mmol de fótons.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$  (SILVA e outros, 1998). A concentração de  $\text{CO}_2$  no ar fornecido ao analisador (ar referencial) foi de  $340\text{ mmol.mol}^{-1}$ . As leituras foram realizadas a cada três dias, entre 9h e 10h e 30 min da manhã. A escolha desse horário deveu-se ao fato de que as plantas apresentam máxima fixação de carbono nessa hora do dia. Com esse mesmo equipamento, avaliaram-se, também, transpiração, condutância estomática e concentração interna de  $\text{CO}_2$ . Essas avaliações foram realizadas a cada três dias, em uma folha no terço médio de cada planta da unidade experimental (Figura 2.2);

- Potencial hídrico foliar ( $\Psi_w$ ): as avaliações de potencial hídrico foliar foram realizadas às 4:30h da manhã, a cada três dias. Foram selecionadas duas folhas, sendo uma de cada planta da unidade experimental, localizada na parte mediana da copa. Imediatamente, após serem coletadas, as folhas foram acondicionadas em envelopes de alumínio num isopor com gelo, objetivando reduzir ao mínimo os riscos de desidratação, e encaminhadas ao laboratório de Fisiologia Vegetal, para determinação do potencial hídrico (SCHOLANDER e outros, 1965);
- Teor relativo de água (TRA): com o uso de um perfurador, foram retirados 10 discos das mesmas folhas utilizadas nas avaliações de potencial hídrico, registrando-se o peso desse material fresco (PF) em uma balança de precisão. Em seguida, os discos foram transferidos para placas de Petri, onde foram submersos por 24 horas em água deionizada, a fim de se obter o peso do material túrgido (PT). Posteriormente, os discos foram submetidos à secagem em estufa de circulação forçada de ar, sob temperatura de 70°C, durante 48 horas, para se obter o peso do material seco (PS). O teor relativo de água foi determinado com base na seguinte fórmula:  $TRA = (PF - PS) / (PT - PS) \times 100$  (WEATHERLEY, 1950).



(a)



(b)

**Figura 2.2** – Avaliação da intensidade de coloração verde das folhas, índice SPAD (a) e leituras com o IRGA (b).

## 4 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 - Características fitotécnicas

A análise de variância referente às características fitotécnicas (altura de plantas, diâmetro de colo, área foliar e relação massa seca raiz/parte aérea) encontra-se no Apêndice 1A.

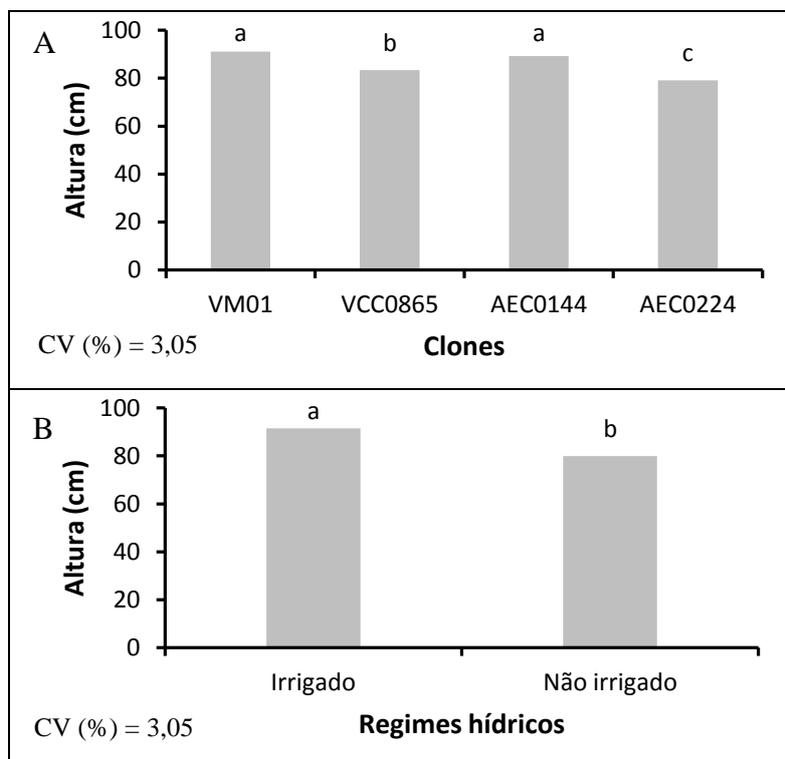
#### 4.1.1 - Altura de plantas e diâmetro de colo

Os resultados demonstraram que, em relação à altura das plantas, houve diferenças significativas (5%), entre clones e entre os regimes hídricos, sem interação significativa entre os tratamentos. Em relação ao diâmetro de colo, houve diferenças significativas (5%) apenas quando comparados os regimes hídricos (Tabela 1A).

Conforme a Figura 2.3, os clones VM01 e AEC0144 tiveram maior crescimento em altura, 91,14 cm e 89,30 cm respectivamente, enquanto o clone VCC0865 (83,35 cm), seguido do AEC0224 (79,08 cm), apresentaram menores valores, independentemente do regime hídrico.

Em relação aos regimes hídricos, observou-se que a deficiência hídrica causou prejuízo ao crescimento em altura de todas as plantas não irrigadas (altura média de 79,97 cm), as quais se mostraram significativamente menores que as plantas irrigadas (altura média de 91,47 cm).

Estes resultados acompanharam o comportamento das relações hídricas. Os maiores valores de teor relativo de água (Figura 2.7 – Página 49), independentemente do regime hídrico, proporcionaram maior crescimento em altura aos clones VM01 e AEC0144 e com a redução do teor relativo de água em função da deficiência hídrica, o crescimento em altura foi afetado (LARCHER, 2006).



Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de significância entre os clones e pelo teste F a 5% entre regimes hídricos.

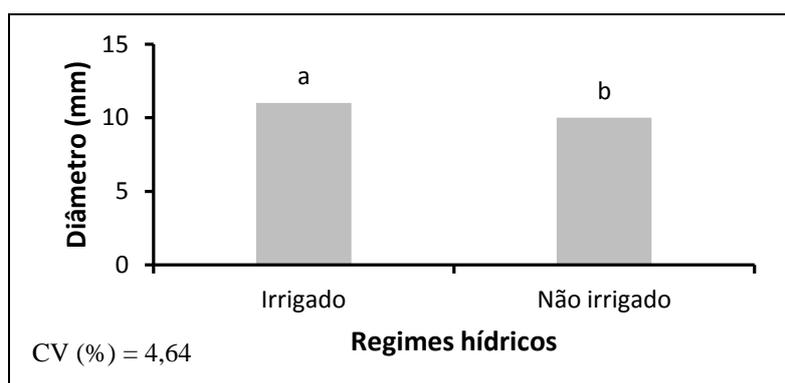
**Figura 2.3** – Altura de plantas jovens de quatro clones de eucalipto, sob dois regimes hídricos; comparação entre clones (A), comparação entre regimes hídricos (B).

Neste trabalho, todos os clones sob deficiência hídrica apresentaram reduções na condutância estomática (Figura 2.8 - Página 51), que causou diminuição do influxo de CO<sub>2</sub> às folhas e a consequente paralisação do crescimento (SILVA, 1998; TATAGIBA, 2006).

Na literatura, há registros controversos, no que se refere aos efeitos da restrição hídrica sobre o crescimento em altura de plantas de diferentes espécies. Osório e outros (1998) avaliaram a resistência à seca de *Eucalyptus* spp. e encontraram diferenças entre a altura de três clones de *E. globulus* (AR3, CN44 e MP11), sendo esta espécie caracterizada como bastante sensível à deficiência hídrica. Lopes (2007) observou que, em mudas de *E. grandis*, incrementos em altura foram proporcionais à maior quantidade de

água fornecida às plantas. Estudos realizados por Silva e outros (2010) em plantas jovens de *Erythrina velutina* revelaram que o crescimento em altura foi bastante afetado por variações nos regimes hídricos. Por outro lado, Lemcoff e outros (1997) constataram que, durante o primeiro período de restrição hídrica, o estresse hídrico não afetou significativamente a altura de clones de *E.camaldulensis*. Entretanto, um segundo período mais severo de estresse reduziu significativamente a altura em alguns clones.

O crescimento em diâmetro não variou significativamente entre os clones (Tabela 1A). Este resultado se assemelha ao encontrado por Pereira e outros (2006), que estudaram dois clones de eucalipto (433 e 105), e por Tatagiba (2006), que avaliou o crescimento inicial de seis clones de eucalipto.



Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste F a 5% de significância.

**Figura 2.4** – Diâmetro de plantas jovens de clones de eucalipto, sob dois regimes hídricos.

Comparando-se os regimes hídricos, os diâmetros de colo das plantas irrigadas se mostraram maiores que os das plantas não irrigadas, independentemente do clone utilizado (Figura 2.4). Isso mostrou que plantas de eucalipto apresentaram maior crescimento nas condições ótimas de umidade do solo.

Reis e outros (2006) avaliaram o crescimento de raízes e parte aérea de clones híbridos de *Eucalyptus* spp. em dois regimes de irrigação no campo e não encontraram diferença significativa para as características de altura e diâmetro entre tratamentos de irrigação, irrigado e não irrigado. Rodrigues (2007), analisando o uso da água em unidade de produção de mudas de eucalipto, verificou que o diâmetro de colo mostrou-se menos afetado pelo estresse hídrico que a altura de plantas.

Xavier e outros (2011) observaram que plantas de híbridos de *E. urophylla* x *E. grandis* (C1 e C2), crescendo em vasos sob diferentes níveis de déficit hídrico (30 e 60 dias), apresentaram maior crescimento sob maior disponibilidade hídrica e que o diâmetro foi o parâmetro que se mostrou mais dependente da disponibilidade de água. Tatagiba e outros (2009), estudando seis clones comerciais de *Eucalyptus* spp. em resposta à disponibilidade de água, verificaram que a deficiência hídrica restringiu o crescimento em altura e diâmetro dos clones estudados. Plantas de jatobá têm seu crescimento significativamente restringido sob níveis de água no solo abaixo de 50% de sua capacidade de campo (NASCIMENTO e outros, 2011).

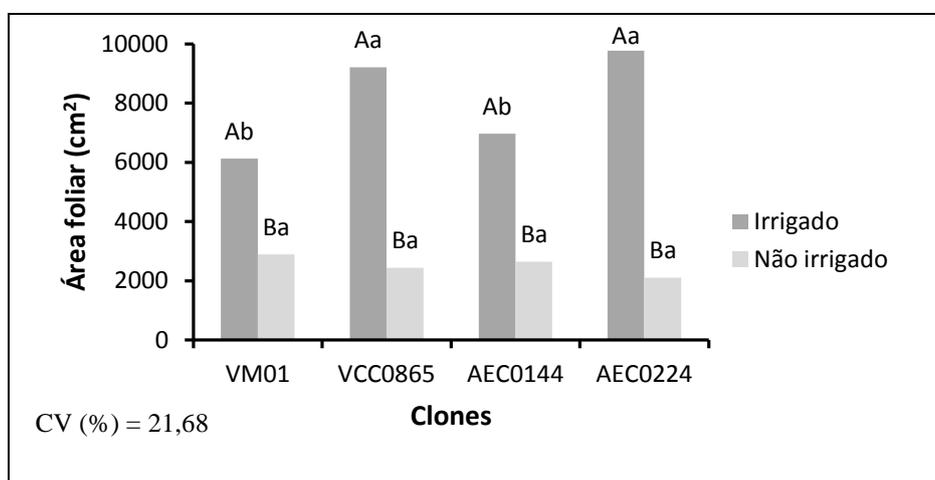
A primeira consequência fisiológica para as plantas submetidas ao estresse hídrico é a redução ou a interrupção dos ritmos de crescimento, devido à redução na diferenciação celular, influenciada pela deficiência hídrica (CAIRO, 1995).

Segundo Gonçalves (1992), o crescimento em altura e diâmetro é um dos principais parâmetros de produção em espécies lenhosas. A deficiência hídrica pode afetar diretamente o crescimento em altura e em diâmetro, porque reduz a expansão celular e a formação da parede celular e, indiretamente, reduz a disponibilidade de carboidratos ou influencia a produção de reguladores de crescimento (GONÇALVES e PASSOS, 2000). Chaves (2001) não encontrou redução de altura e diâmetro causado pela deficiência hídrica em diferentes clones de eucalipto, possivelmente, devido à curta duração do experimento. Este mesmo autor não considera estes

parâmetros eficientes na identificação de materiais genéticos para reflorestamento em áreas com limitação hídrica.

#### 4.1.2 - Área foliar e relação massa seca raiz / parte aérea

Para a área foliar, todos os efeitos foram significativos (Tabela 1A), resultando na necessidade de desmembrar a interação clone x regime hídrico. Os resultados obtidos podem ser observados na Figura 2.5.



Letras minúsculas diferentes indicam diferença significativa entre os clones em cada regime hídrico e letras maiúsculas diferentes indicam diferença significativa entre os regimes hídricos, dentro de cada clone, pelo teste Tukey a 5% de significância.

**Figura 2.5** – Área foliar de plantas jovens de quatro clones de eucalipto, sob dois regimes hídricos.

No tratamento irrigado, os clones VCC0865 e AEC0224 apresentaram maiores áreas foliares, 9210 e 9768 cm<sup>2</sup>, respectivamente, quando comparados aos clones VM01 (6119 cm<sup>2</sup>) e AEC0144 (6961 cm<sup>2</sup>). A restrição hídrica reduziu significativamente a área foliar de todos os clones, os quais não diferiram entre si e apresentaram áreas foliares pouco superiores a 2000 cm<sup>2</sup>. A redução da área foliar em plantas sob condições de estresse hídrico tem sido observada por diversos autores (OSÓRIO e outros,

1998; LI e outros 2000; CHAVES, 2001; PEREIRA, 2006; TATAGIBA, 2007a; MARTINS, 2010; BORTOLINI e outros, 2011) e tem por objetivo amenizar a perda de água pela transpiração, como estratégia de prevenção à seca. A queda de folhas é considerada reação comum das plantas em situação de deficiência hídrica, quando a abscisão foliar é estimulada pela síntese acentuada e maior sensibilidade ao etileno, sendo uma resposta precoce adaptativa a locais onde há limitação hídrica. A limitação da área foliar pode ser considerada a primeira linha de defesa contra a deficiência hídrica (CHAVES e outros, 2004).

Na avaliação dos regimes hídricos dentro de cada clone, todos os tratamentos irrigados produziram áreas foliares superiores, quando comparados aos não irrigados, nos quais ocorreram expressivas reduções de área foliar, como de 73,6% no clone VCC0865 e 78,5% no clone AEC0224, em razão da abscisão foliar.

Em plantas sob deficiência hídrica, a abscisão foliar pode ser desencadeada por processos de peroxidação de lipídios, resultante da formação de espécies reativas de oxigênio, durante a fase fotoquímica da fotossíntese (DAMATTA e RENA, 2001; LIMA e outros, 2002).

Osório e outros (1998) observaram que, em plantas de *E. globulus*, a redução da área foliar foi atribuída à menor expansão foliar e produção de haste e ramos nas plantas estressadas, que levou à redução de 50 e 65% da área foliar, no estresse moderado e severo, respectivamente. Gonçalves e Passos (2000), avaliando o crescimento de cinco espécies de eucalipto submetidas à deficiência hídrica, em dois níveis de fósforo, observaram que a indução da deficiência hídrica em *E. urophylla* promoveu senescência e abscisão das folhas inferiores, independentemente da adubação com P, porém, mesmo sob deficiência, apresentou lançamento de novas folhas com menores tamanhos. Ngugi e outros (2003) obtiveram maior área foliar e maior biomassa em mudas irrigadas de *E. cloeziana* e *E. argopholia*.

Chaves e outros (2004), trabalhando com mudas de cinco clones de *Eucalyptus* spp. (0063, 0321, 1250, 1260 e 1277) em tubetes (60 cm<sup>3</sup>), sob

diferentes regimes hídricos, verificaram que os clones 0321 e 1277 apresentaram maiores reduções em área foliar, indicando maior sensibilidade à deficiência hídrica.

Vellini e outros (2008), analisando respostas fisiológicas de 18 genótipos de eucalipto (*Eucalyptus saligna*, *E. grandis*, *E. urophylla* e *E. grandis* x *E. urophylla*) sob diferentes regimes de irrigação, verificaram que houve uma tendência de menor diferenciação entre os genótipos, à medida que a disponibilidade hídrica diminuiu. O clone de *E. saligna* mostrou-se mais afetado pela deficiência hídrica e dois clones de *E. grandis* x *E. urophylla* se destacaram em maior crescimento em área foliar, independentemente do regime hídrico, possibilitando-lhes bom crescimento, tanto em altura como em diâmetro e, conseqüentemente, boa produção de massa seca.

De acordo com os resultados apresentados no Apêndice 1A, verificou-se que não houve diferença significativa em relação aos efeitos dos clones e aos efeitos da interação clones x regimes hídricos sobre a proporção entre as massas secas da raiz e da parte aérea (MSR/PA).

Segundo Gonçalves e Passos (2000), a maior partição de carbono (massa seca) para as raízes (maior relação raiz/parte aérea), quase sempre associada ao aprofundamento do sistema radicular, possibilita captação de água em camadas mais inferiores de solo, onde há maior disponibilidade de água, devido ao fato de o potencial hídrico ser maior que na superfície. Moroni e outros (2003) confirmam que a relação raiz/parte aérea pode aumentar com a elevação da deficiência hídrica, conforme verificaram em *E. nitens* e *E. globulus*. Nascimento e outros (2011) analisaram o crescimento de mudas de jatobá cultivadas em vasos, em diferentes níveis de água no solo, e não encontraram diferença significativa na MSR/PA. Segundo estes autores, uma das razões para tal comportamento pode ser o equilíbrio no crescimento entre a raiz e a parte aérea.

O fato dos diferentes clones não ter diferido entre si para a característica MSR/PA, independente do regime hídrico, indica que os

clones não aumentaram a sua capacidade de enraizamento sob condições de estresse hídrico. Isso pode ter ocorrido devido ao curto período (menos de 1 mês) de estresse hídrico e pelo cultivo ter sido em vasos.

Tatagiba e outros (2007a), trabalhando com seis clones comerciais de *Eucalyptus* spp., cultivados em vasos, sob diferentes manejos de irrigação, constataram que os clones se dividiram em dois grupos no manejo hídrico irrigado, apresentando diferenças nos valores da relação raiz/parte aérea. Já no tratamento com deficiência hídrica de 45 dias, após a retomada da irrigação por mais 55 dias, nenhum clone diferiu estatisticamente e no tratamento com suspensão total da irrigação, durante 100 dias, os clones de eucalipto novamente se dividiram em grupos, com destaque para dois genótipos que apresentaram maior relação raiz/parte aérea. Segundo estes autores, um dos clones teve seu acúmulo total de massa seca reduzido, principalmente em relação à massa seca de raiz, não sendo recomendado para plantios em área com limitação de água no solo.

#### **4.2 - Características fisiológicas**

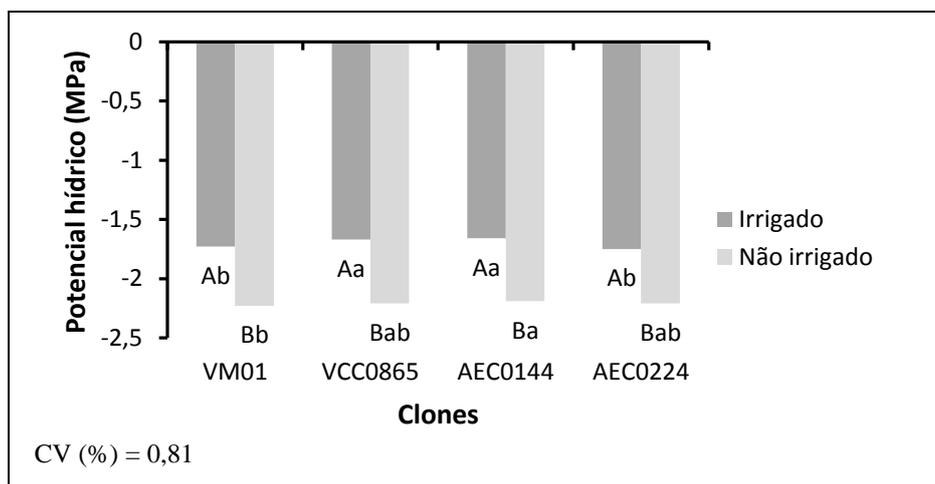
Os resultados da análise de variância referente às características fisiológicas encontram-se no Apêndice 2A (potencial hídrico foliar, teor relativo de água e SPAD) e no Apêndice 3A (fotossíntese, transpiração, condutância estomática e concentração interna de CO<sub>2</sub>).

Houve necessidade da transformação de dados para as características de fotossíntese líquida ( $A$ ), potencial hídrico ( $\Psi_w$ ) e concentração interna de CO<sub>2</sub> ( $C_i$ ), para atender aos princípios da homogeneidade (Teste de Cochran) e normalidade (Teste de Lilliefors), conforme recomendação de Banzatto e Kronka (2006). Assim, os valores de fotossíntese líquida foram transformados pela fórmula:  $A1 = \sqrt{A}$ ; potencial hídrico pela fórmula:  $\Psi_w1 =$

[ $\log(\Psi_w \times 100)$ ] e concentração interna de  $\text{CO}_2$  pela fórmula:  $C_i1 = [\log(C_i \times 100)]$ .

#### 4.2.1 - Potencial hídrico foliar ( $\Psi_w$ )

Para o potencial hídrico foliar, a análise de variância revelou efeito significativo tanto para clone, como para regime hídrico e sua interação (Tabela 2A). A Figura 2.6 ilustra os resultados obtidos para as avaliações de potencial hídrico foliar.



Letras minúsculas diferentes indicam diferença significativa entre os clones em cada regime hídrico e letras maiúsculas diferentes indicam diferença significativa entre os regimes hídricos, dentro de cada clone, pelo teste Tukey a 5% de significância.

**Figura 2.6** – Potencial hídrico foliar ( $\Psi_w$ ) em plantas jovens de quatro clones de eucalipto, sob dois regimes hídricos.

A análise dos valores de  $\Psi_w$  nas plantas irrigadas permitiu observar que os clones possuem, naturalmente, comportamentos diferentes em relação a esta característica, independentemente de experimentarem alguma condição de estresse ambiental. Contudo, apesar da variação observada nos valores de  $\Psi_w$  no tratamento irrigado, pode-se admitir que a diferença entre

os clones é pouco expressiva, com maiores valores para os clones VCC0865 e AEC0144, quando comparados aos clones VM01 e AEC0224.

Sob deficiência hídrica, o  $\Psi_w$  diminuiu em todos os clones. Antes de qualquer análise comparativa sobre esse efeito entre os tratamentos, cabe destacar que, em ambientes como o utilizado neste trabalho, em que as plantas foram cultivadas em vasos e em casa de vegetação, a suspensão da irrigação provoca, naturalmente, um declínio do  $\Psi_w$  com maior intensidade e velocidade que nos cultivos em campo. Isto ocorre, principalmente, por dois motivos: restrições ao crescimento das raízes e menor quantidade de água disponível, em função do limitado volume de solo (KRAMER & BOYER, 1995). Por isso, as plantas tendem a atingir o  $\Psi_w$  crítico muito mais rapidamente em vasos do que em campo e, muitas vezes, em experimentos nesses recipientes, as plantas não têm tempo hábil para expressar os seus mecanismos de adaptação à seca (PIMENTEL e outros, 1999a), o que permitiria discriminar melhor eventuais variações genotípicas. Apenas os clones VM01 e AEC0144 diferiram entre si, sob deficiência hídrica, com valores superiores para o clone AEC0144.

Reduções de  $\Psi_w$  foliar em condições de seca também foram observadas por Chaves e outros (2004) e Tatagiba e outros (2007b), em plantas de eucalipto, e por Silva e outros (2003), em outras três espécies lenhosas. Lima e outros (2003) não observaram diferenças para o potencial hídrico de cinco clones de eucalipto nas condições de seca. Em plantas jovens de andiroba, sob deficiência hídrica, o  $\Psi_w$  foliar chegou a reduzir quatro vezes, comparado às plantas irrigadas. Oliveira e outros (2002) verificaram, em pupunheiras submetidas à deficiência hídrica, que o  $\Psi_w$  foliar tornou-se menor, à medida que a umidade do solo decresceu.

O declínio do  $\Psi_w$  no tratamento não irrigado pode resultar de alterações bioquímicas que levem a mudanças na concentração do suco celular, mas também pode resultar da diminuição do volume das células das folhas, como consequência de restrições hídricas crescentes no solo, que inviabilizam o fornecimento de água às plantas, a fim de repor as perdas

diárias por transpiração. Quando ocorre desidratação do protoplasma celular, todos os processos vitais são comprometidos, com reflexos negativos sobre o crescimento da planta (LARCHER, 2006; PALLARDY, 2008).

Embora tenham sido detectadas diferenças estatísticas entre os valores de  $\Psi_w$  dos clones nessa condição, pode-se afirmar que o declínio do  $\Psi_w$  verificado nas plantas não irrigadas, em comparação com as plantas irrigadas, ocorreu com intensidade bastante similar, em todos os clones. Essa tendência à similaridade de respostas dos clones sob deficiência hídrica, em termos de  $\Psi_w$ , pode ser reforçada ao se observar a relação entre as massas secas da raiz e da parte aérea, em que não houve diferença entre os clones, no tratamento não irrigado, devido ao curto período (20 dias) de estresse hídrico e pelo cultivo ter sido em vasos.

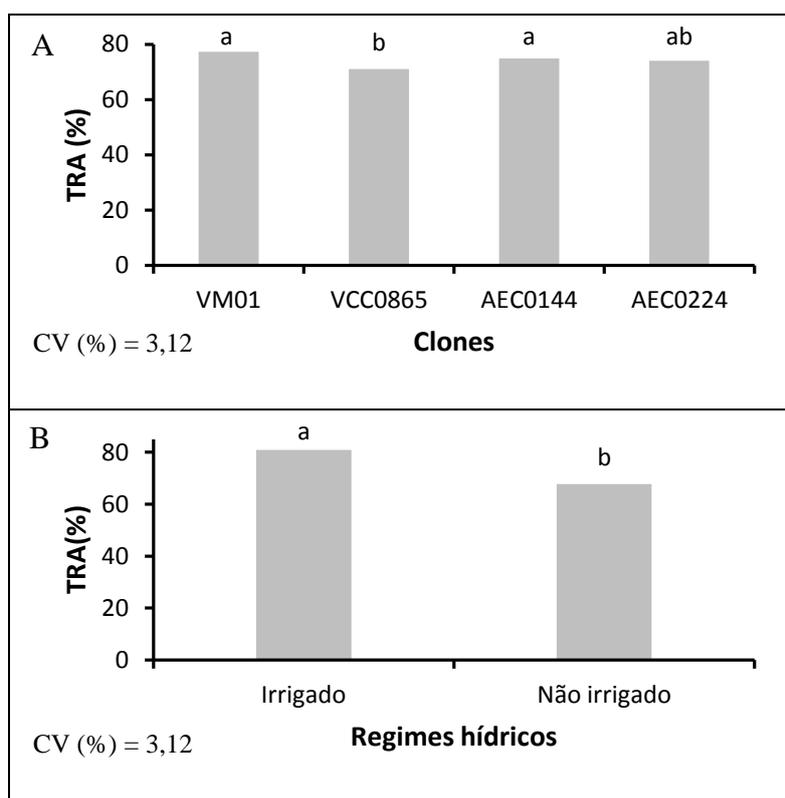
#### **4.2.2 - Teor relativo de água (TRA)**

Em relação ao teor relativo de água, não houve efeitos de interação entre clone x regime hídrico, sendo significativos os efeitos de clone e de regime hídrico separadamente (Tabela 2A). Os valores de TRA para os quatro clones avaliados são apresentados na Figura 2.7.

A análise dos valores de TRA nas plantas irrigadas permite observar que os clones possuem, naturalmente, comportamentos diferentes em relação a esta característica, independentemente de experimentarem alguma condição de estresse ambiental.

Os contrastes foram mais evidentes quando se compararam os valores de TRA dos clones VM01 e AEC0144, que foram significativamente mais elevados que o do clone VCC0865. Em todos os clones, a suspensão da irrigação provocou reduções significativas no TRA, cujo valor médio foi de 67,78%. Segundo Kaiser (1987), quando o TRA diminui para valores próximos a 70%, esse declínio já é suficiente para provocar reduções na fixação de CO<sub>2</sub>. Em condições extremas de estresse hídrico, quando o TRA

cai para 40%, diminuem os teores das proteínas D1 e D2 do Fotossistema II, possivelmente, como resultado de um aumento na sua degradação, que pode ser responsável pela redução na eficiência fotoquímica (HE e outros, 1995).



Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de significância entre os clones e pelo teste F a 5% entre regimes hídricos.

**Figura 2.7** – Teor relativo de água (TRA) em plantas jovens de quatro clones de eucalipto, sob dois regimes hídricos; comparação entre clones (A), comparação entre regimes hídricos (B).

O TRA é uma característica que, por se constituir em referência quantitativa do conteúdo de água na célula, é naturalmente associada ao seu volume e, conseqüentemente, à capacidade de alongamento e divisão celular. A manutenção do crescimento depende da pressão de turgor para expansão e divisão celular, que são afetadas pela deficiência hídrica. Assim, a redução no crescimento é considerada o principal efeito da deficiência hídrica em

plantas (LARCHER, 2006). Pode-se inferir que as variações no crescimento em altura dos clones, verificadas no presente trabalho, são reflexos das variações de TRA registradas entre os clones, independentemente do regime hídrico a que as plantas estiveram submetidas.

Embora o acúmulo de solutos orgânicos não tenha sido avaliado, o fato de a suspensão da irrigação ter causado reduções significativas, tanto em  $\Psi_w$  como em TRA, sugere que o ajustamento osmótico não é o mecanismo que os clones de eucalipto usam para manter o “status” hídrico, quando cultivados sob condições de deficiência hídrica. Sob condições naturais, a deficiência hídrica, geralmente, evolui de maneira gradual, enquanto em ensaios de plantas em vasos a imposição do déficit, geralmente, é muito rápida em razão da área de restrição radicial, motivo pelo qual alguns mecanismos adaptativos, como o acúmulo de substâncias osmoticamente ativas nas células e posterior redução do potencial osmótico, ou não ocorrem ou se manifestam com menor intensidade (CHAVES e outros, 2004; CARVALHO, 2005).

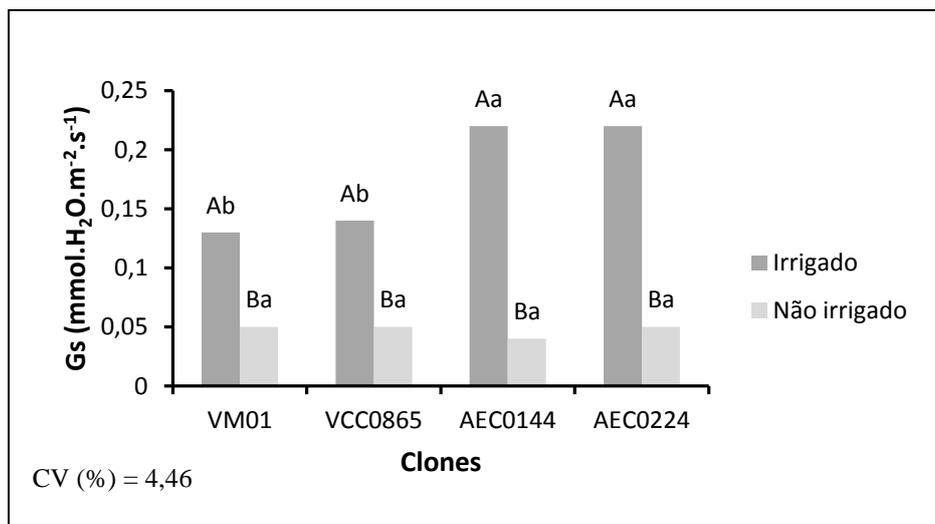
Em mudas de *E. grandis*, Lopes e outros (2005) verificaram que, à medida que aumenta a lâmina de irrigação, aumenta o teor relativo de água na folha, mesmo em diferentes substratos. Merchant e outros (2007) avaliaram plantas jovens de seis espécies de eucalipto cultivadas em vasos em condições de deficiência hídrica e constataram que as espécies que apresentaram melhor desenvolvimento foram as que tiveram menor redução de TRA.

A manutenção da turgescência em condições de deficiência hídrica pode permitir o funcionamento adequado das rotas metabólicas, abertura mínima dos estômatos, para permitir fotossíntese, além de outros mecanismos, como o crescimento e expansão do caule e das raízes (CARVALHO, 2005).

#### 4.2.3 - Condutância estomática e transpiração

Os resultados revelaram que todos os efeitos foram significativos, em relação à condutância estomática e transpiração (Tabela 3A), tornando-se necessário desmembrar a interação clone x regime hídrico.

A Figura 2.8 apresenta a variação da condutância estomática em quatro clones, sob dois regimes hídricos (irrigado e não irrigado). Observando-se exclusivamente as plantas sob regime irrigado, verifica-se que as condutâncias estomáticas dos clones AEC0144 e AEC0224 foram significativamente superiores às dos clones VM01 e VCC0865. Pelo fato de ser uma avaliação em plantas cultivadas na ausência de deficiência hídrica, este resultado, por si só, já se constitui em evidência de que os clones diferem naturalmente entre si, no que diz respeito à condutância estomática.



Letras minúsculas diferentes indicam diferença significativa entre os clones em cada regime hídrico e letras maiúsculas diferentes indicam diferença significativa entre os regimes hídricos, dentro de cada clone, pelo teste Tukey a 5% de significância.

**Figura 2.8** – Condutância estomática ( $G_s$ ) em plantas jovens de quatro clones de eucalipto, sob dois regimes hídricos.

Sob deficiência hídrica, as condutâncias estomáticas diminuiriam em relação às do tratamento irrigado, sem diferenças significativas entre os

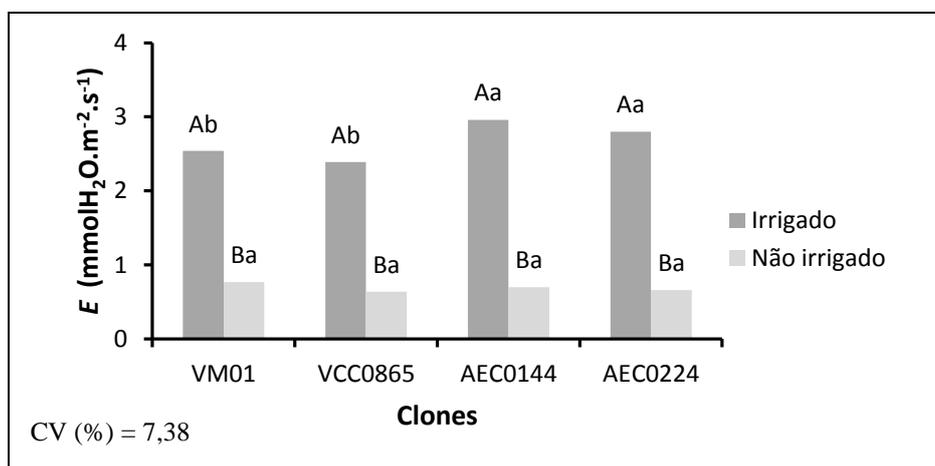
clones. A diminuição da condutância estomática dos clones de eucalipto coincide com o comportamento observado em plantas de jovens de aroeira, cultivadas em vasos sob deficiência hídrica (SILVA e outros, 2008) e em plantas irrigadas e não irrigadas de eucalipto em condições de campo, avaliadas por Carneiro e outros (2008). Isso demonstra que o eucalipto exerce controle estomático eficiente em condições de baixa disponibilidade de água no solo, que corrobora com os resultados encontrados por Almeida e Soares (2003) e por Tatagiba e outros (2007b). Em contraste, Chaves e outros (2004) não observaram diferença significativa entre clones de eucalipto plenamente irrigado e sob deficiência hídrica.

Segundo Lima (1996), o eucalipto pode tolerar uma amplitude de variação do potencial de água na folha sem alterar significativamente a condutância estomática. Porém, quando o valor crítico de potencial hídrico na folha é atingido, os estômatos começam a se fechar substancialmente, até quase o fechamento total.

A transpiração (Figura 2.9) seguiu a mesma tendência de comportamento da condutância estomática, concordando com os resultados de outros autores em estudos com plantas de eucalipto (CHAVES e outros, 2004; TATAGIBA, 2006). No tratamento irrigado, a transpiração registrada nos clones AEC0144 e a AEC0224 apresentou taxas similares e superiores às dos clones VM01 e VCC0865, sugerindo maior consumo de água. Sob restrição hídrica, a taxa de transpiração diminuiu, sem diferenças significativas entre os clones. A redução da transpiração em plantas sob deficiência hídrica tem sido observada por outros autores, em trabalhos com outras espécies de eucalipto (GOMES, 1994; MIELKE e outros, 1999).

Todos os clones de eucalipto, sob deficiência hídrica, apresentaram redução da transpiração devido à maior resistência estomática. O fechamento parcial dos estômatos é uma conhecida estratégia de tolerância das plantas à deficiência hídrica, porque diminui a taxa de transpiração, mantém o conteúdo hídrico foliar, reduz o risco de desidratação e eventual morte por dessecação (REIS e REIS, 1997; PEAK e outros, 2004; SANT'ANNA,

2009). Silva e outros (2003), avaliando o comportamento estomático e potencial da água na folha de três espécies lenhosas (*Mimosa caesalpiniiifolia*, *Enterolobium contortisiliquum* e *Tabebuia áurea*), sob deficiência hídrica, observaram valores de condutância estomática em diferentes magnitudes e constataram que as três espécies utilizam a redução do poro estomático como estratégia para minimizar a perda de água através da transpiração. Comportamento semelhante foi observado em plantas jovens de três espécies de eucalipto, *Eucalyptus pellita*, *E. urograndis* e *Corymbia citriodora*, sob o manejo hídrico de 25% de reposição da água evapotranspirada (LONGUI, 2007).



Letras minúsculas diferentes indicam diferença significativa entre os clones em cada regime hídrico e letras maiúsculas diferentes indicam diferença significativa entre os regimes hídricos, dentro de cada clone, pelo teste Tukey a 5% de significância.

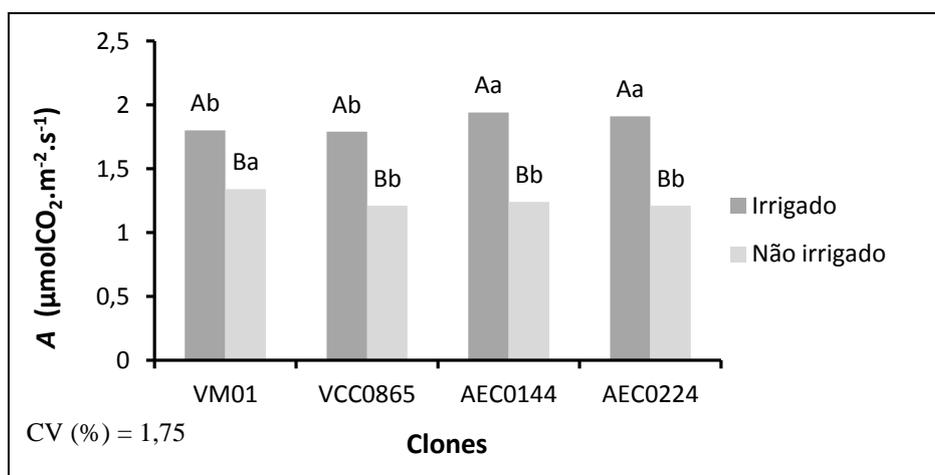
**Figura 2.9** – Transpiração ( $E$ ) em plantas jovens de quatro clones de eucalipto, sob dois regimes hídricos.

#### 4.2.4 - Fotossíntese líquida e concentração interna de $CO_2$

Para as características de fotossíntese e concentração interna de  $CO_2$  ( $C_i$ ), houve interação significativa entre clone e regime hídrico (Tabela 3A).

Os resultados revelam que, mesmo na ausência de deficiência hídrica, os clones apresentam diferenças em suas taxas de fotossíntese líquida (Figura 2.10). Nos clones AEC0144 e AEC0224, as taxas de fotossíntese líquida foram maiores que as dos clones VM01 e VCC0865.

A suspensão da irrigação causou declínio na fotossíntese líquida em todos os clones, atingindo valores próximos a zero. Contudo, sob restrições hídricas, esse declínio foi proporcionalmente menor no clone VM01, o qual registrou fotossíntese líquida superior às dos demais clones, os quais não diferiram estatisticamente entre si. Tatagiba (2006), estudando trocas gasosas e “status” hídrico de clones de eucalipto sob diferentes regimes de irrigação, verificou que a deficiência hídrica promoveu a redução dos valores da fotossíntese, condutância estomática e transpiração de todos os clones avaliados.



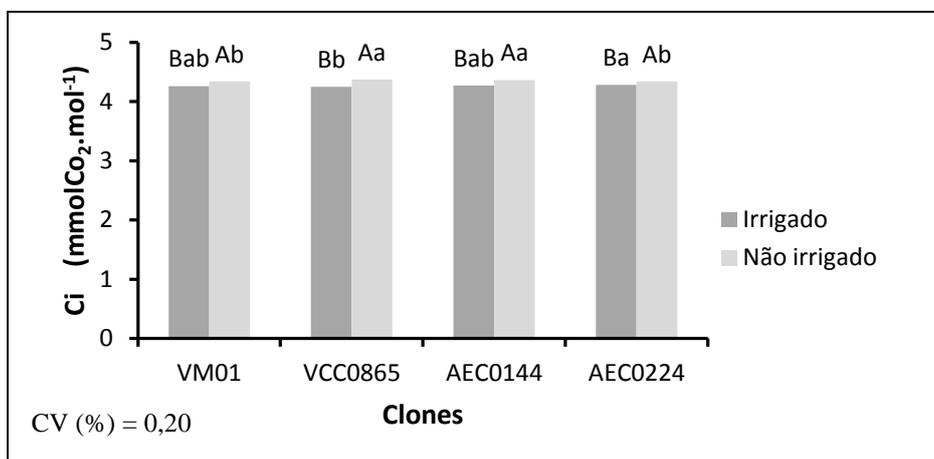
Letras minúsculas diferentes indicam diferença significativa entre os clones em cada regime hídrico e letras maiúsculas diferentes indicam diferença significativa entre os regimes hídricos, dentro de cada clone, pelo teste Tukey a 5% de significância.

**Figura 2.10** – Fotossíntese líquida (A) em plantas jovens de quatro clones de eucalipto, sob dois regimes hídricos.

Durante o estresse hídrico, o metabolismo fotossintético é mais sensível às mudanças no conteúdo de água celular em alguns tipos de plantas que em outras, embora as causas dessas diferenças ainda não sejam bem

entendidas. Algumas plantas apresentam decréscimos na taxa fotossintética de modo paralelo e linear ao decréscimo no conteúdo relativo de água, enquanto outras apresentam decréscimo na taxa fotossintética apenas quando o decréscimo no conteúdo de água ultrapassa 20 a 30% (LAWLOR, 2002).

Na Figura 2.11, são observados os valores da  $C_i$ . Considerando-se exclusivamente as plantas do tratamento irrigado, a avaliação da  $C_i$  revelou diferença significativa apenas entre os clones VCC0865 (maior) e AEC0224 (menor). Em todos os clones, a  $C_i$  das plantas sob deficiência hídrica foi maior que nas plantas irrigadas.



Letras minúsculas diferentes indicam diferença significativa entre os clones em cada regime hídrico e letras maiúsculas diferentes indicam diferença significativa entre os regimes hídricos, dentro de cada clone, pelo teste Tukey a 5% de significância.

**Figura 2.11** – Concentração interna de CO<sub>2</sub> ( $C_i$ ) em tecidos foliares de plantas jovens de quatro clones de eucalipto, sob dois regimes hídricos.

Longui (2007) observou que plantas jovens de eucalipto sob deficiência hídrica apresentaram maiores resistências estomáticas que, por sua vez, causou reduções na  $C_i$ . O aumento da concentração interna de CO<sub>2</sub>, sob baixos valores de potencial hídrico foliar, pode estar relacionado à queda na atividade de enzimas envolvidas no processo de fixação de CO<sub>2</sub> (MACHADO e outros, 1999). Os clones VM01 e AEC0224 tenderam a

apresentar menores valores de  $C_i$  sob baixa  $G_s$ , podendo indicar uma maior eficiência fotossintética sob deficiência hídrica.

Segundo Kaiser (1987), sob deficiência hídrica, parte da inibição da fotossíntese pode ser atribuída a fatores não estomáticos em nível dos cloroplastos, como problemas no transporte de elétrons e na fotofosforilação. Isso está embasado no fato de haver reduções nas taxas fotossintéticas de plantas sob deficiência hídrica, apesar das concentrações internas de  $CO_2$  não terem sido afetadas. Segundo Lawlor (2002), o aumento na  $C_i$ , quando associado a baixos potenciais hídricos, causa progressiva redução na taxa fotossintética, até que esta se torne nula. Este mesmo autor afirma que reduções na fotossíntese de plantas submetidas à deficiência hídrica podem estar relacionadas à limitação da regeneração de ribulose-1,5bi-fosfato e esta limitação, provavelmente, está ligada à redução na síntese de ATP, devido à progressiva inativação de fatores de acoplamento, resultante do aumento da contração iônica ( $Mg^{+2}$ ), e não à redução da capacidade do transporte de elétrons ou de prótons.

Atualmente, existem duas linhas de argumentos sobre as causas da diminuição da atividade fotossintética sob restrições hídricas. Ghannoum e outros (2003) afirmam que a limitação da atividade fotossintética é mais um efeito metabólico, e que a  $C_i$  se mantém alta, podendo até aumentar com a seca. Calbo & Moraes (1997) trabalharam com plantas de buriti e não observaram relação direta entre a  $C_i$  e a condutância estomática. Lauer & Boyer (1992) mediram a  $C_i$  em plantas sob restrições hídricas e não detectaram redução desta, sob condições de seca, o que mostra que a limitação da fotossíntese pode não ser associada, necessariamente, à condutância estomática. Segundo Ni & Pallardy (1992), alto valor de  $C_i$  associado à baixa condutância estomática indicaria um decréscimo na eficiência de carboxilação.

Por outro lado, Cornic (2000), Chaves e outros (2002) e Lawlor & Cornic (2002) preferem amenizar o impacto do efeito metabólico sobre a atividade fotossintética em plantas sob deficiência hídrica, que ocorreria só

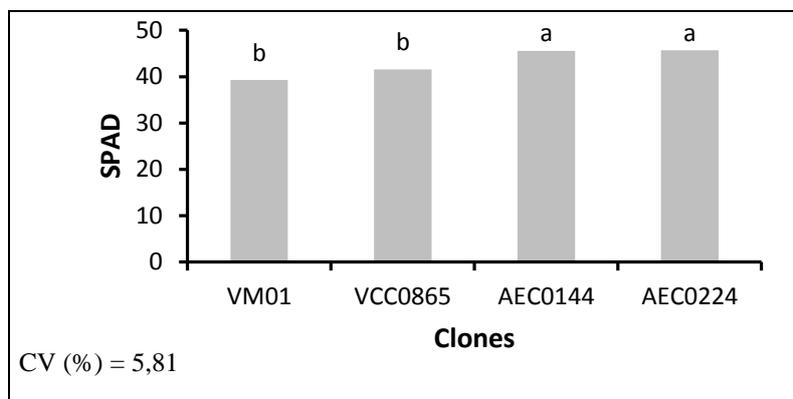
com o estresse severo. Assim, esses autores afirmam que a limitação da fotossíntese é, principalmente, devido à menor difusão de CO<sub>2</sub> (menor C<sub>i</sub> e disponibilidade de CO<sub>2</sub> para a Rubisco), causada pelo fechamento estomático. Neste trabalho, os resultados podem acatar essas duas linhas de argumentos, tendo em vista que, sob deficiência hídrica, as reduções das taxas de fotossíntese líquida ocorreram concomitantemente ao aumento da C<sub>i</sub> e à diminuição da condutância estomática.

#### ***4.2.5 - Intensidade de coloração verde das folhas (índice SPAD)***

No que se refere ao índice SPAD, houve diferença significativa a 5% apenas entre os clones (Tabela 2A), não havendo influência dos regimes hídricos.

Dentre os clones avaliados, o AEC0144 e o AC0224 apresentaram maiores valores de SPAD, seguidos pelo VM01 e VCC0865, que não diferiram estatisticamente entre si (Figura 2.12). Durante todo o experimento, observou-se que as folhas das plantas permaneceram sempre verdes, com perda de brilho e intensidade de cor, conforme prolongamento da deficiência hídrica, com manchas necróticas em folhas mais velhas.

Os valores de SPAD refletem os teores relativos de clorofila e nitrogênio, e são calculados a partir de certa quantidade de luz emitida pelo instrumento medidor e refletida pela folha. A determinação dos teores de clorofila da folha é importante porque a atividade fotossintética da planta depende, em parte, da capacidade da folha para absorver luz (SALLA e outros, 2007). Os maiores valores das leituras SPAD são encontrados em folhas novas, por possuírem maior capacidade de síntese de clorofila e maior intensidade de verde (REIS e outros, 2006).



Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de significância.

**Figura 2.12** – Intensidade de coloração verde das folhas (índice SPAD) em plantas jovens de quatro clones de eucalipto, sob dois regimes hídricos; comparação entre clones.

Segundo Souza e outros (2009), a análise da intensidade do verde das folhas também tem sido usada em várias espécies, como possibilidade de avaliar o teor de nitrogênio da planta, pelo fato de haver correlação significativa entre a intensidade do verde e o teor de clorofila com a concentração de N na folha. Estes mesmos autores encontraram relações significativas positivas entre os índices SPAD e os teores de nitrogênio em *Eucalyptus urograndis*. De acordo com Mendonça e outros (2010), o índice SPAD tem potencial para ser utilizado como indicador de estresse. Contudo, neste trabalho não houve influência dos regimes hídricos sobre esta característica.

## 5 - CONCLUSÕES

Os clones revelaram diferenças entre si, em relação às características associadas ao crescimento, independentemente do regime hídrico.

As plantas dos clones VM01 e AEC0144 registraram maior crescimento, ao passo que as do clone AEC0224 foram as de menor porte.

Sob deficiência hídrica, o crescimento, expresso em termos de altura de planta e diâmetro de colo, registrou decréscimos significativos em todos os clones.

Apesar da limitação hídrica, os clones não estimularam o aprofundamento do sistema radicular, já que a relação de matéria seca de raiz / parte aérea permaneceu inalterada.

No que se refere às características fisiológicas, o “status” hídrico das plantas, representado conjuntamente pelo potencial hídrico foliar e pelo teor relativo de água, foi bastante afetado pela restrição hídrica, que também promoveu reduções significativas na condutância estomática e na transpiração.

Sob deficiência hídrica, o clone VM01 apresentou redução da fotossíntese líquida proporcionalmente menor.

De forma geral, sob restrições hídricas, os clones apresentaram desempenhos similares entre si. Contudo, na ausência de restrições hídricas, os clones VM01 e AEC0144 se sobressaíram em relação aos demais, por apresentarem maior crescimento em altura, provavelmente, impulsionado pelo teor relativo de água mais elevado.

## **CAPÍTULO 3**

### **FOTOSSÍNTESE E CRESCIMENTO DE CLONES DE EUCALIPTO APÓS PERÍODO DE ESTRESSE HÍDRICO**

#### **1 - INTRODUÇÃO**

Em decorrência da crescente demanda por produtos florestais, como carvão e celulose, atualmente, as florestas plantadas com eucalipto estão se expandindo para áreas marginais, caracterizadas pela baixa disponibilidade de água e nutrientes. A região semiárida do Nordeste, particularmente o Sudoeste baiano, é uma região sujeita a períodos prolongados de seca, entre os meses de abril e outubro, mas essa estiagem pode se estender, devido à irregularidade das chuvas no período de verão (novembro a março). Essa característica climática pode tornar-se limitante à produtividade econômica – e até mesmo à sobrevivência – de algumas espécies que possam vir a ser introduzidas na região, o que aumenta os riscos para o sucesso da atividade florestal.

As estratégias das plantas para superar a deficiência hídrica envolvem ações complexas relacionadas à sensibilidade e à tolerância a outros estresses, o que pode variar entre os genótipos (CHAVES e outros, 2002). A compreensão desses processos fisiológicos, quanto às suas mudanças provocadas por essa situação de deficiência e dos mecanismos de adaptação e de aclimação das plantas submetidas à deficiência hídrica, são de grande importância para a agricultura (GRACIANO, 2009).

Para Sant'Anna (2009), tão importante quanto estudar a velocidade com que uma espécie entra em estado de deficiência hídrica é avaliar sua capacidade de recuperação. A capacidade de tolerar um estresse moderado é

importante para a propagação da espécie em ambientes diferentes do seu habitat natural. A manutenção da integridade do aparelho fotossintético, durante o estresse, é significante como característica de resistência, uma vez que permite a recuperação da fotossíntese após o estresse (LIU & DICKMANN,1993).

Quando plantas que passaram por um período de deficiência hídrica são irrigadas, a taxa de fotossíntese pode ou não retornar aos níveis anteriores, dependendo do material genético, severidade e duração da seca e umidade do ar. A planta que consegue recuperar-se e voltar a fotossintetizar como anteriormente ao estresse, possui, certamente, maior tolerância à deficiência hídrica. Os efeitos prejudiciais da seca no processo fotossintético podem durar semanas, ou até meses, e a capacidade de plantas estressadas recuperarem a sua capacidade fotossintética pode estar associada à capacidade dos estômatos reabrirem parcial ou totalmente e com as injúrias sofridas pelo aparelho fotossintético, como a síntese de proteínas (PALLARDY, 2008).

O desempenho do eucalipto, após um período de restrição hídrica, pode apresentar diferenças na capacidade de recuperação das plantas ao estresse hídrico, a depender das características de cada genótipo desta espécie. Este estudo teve como objetivo investigar o desempenho de clones de eucalipto após um período de restrição hídrica.

## 2 – REFERENCIAL TEÓRICO

A crescente demanda por produtos madeireiros no mercado consumidor nacional e internacional requer produção legal e constante de madeira, de forma que áreas florestais nativas sejam preservadas e a necessidade do consumidor suprida. O gênero *Eucalyptus* é uma alternativa viável para atender a esta demanda, pois apresenta rápido retorno e alta produtividade com custos reduzidos (VELLINI, 2007).

Grande parte da área cultivada com eucalipto e, ou disponível para expansão do seu cultivo apresenta limitações ao desenvolvimento das plantas, como baixa fertilidade natural, altos teores de alumínio e níveis variados de deficiência hídrica, entre outras (CARMO e outros, 1990). Destes, a água é o fator mais limitante para sustentabilidade dos sistemas agrícolas, pois, além de afetar as relações hídricas nas plantas, alterando-lhes o metabolismo, a limitação em sua disponibilidade é fenômeno que ocorre em grandes extensões de áreas cultiváveis, causando grandes prejuízos (PAIVA e outros, 2005).

### 2.1 – Efeito da deficiência hídrica e da reirrigação nas relações hídricas e trocas gasosas da planta

A deficiência hídrica ocorre quando as necessidades da planta por água não são satisfeitas pela quantidade de água disponível no meio, conduzindo à redução do estado hídrico da planta (BLUM, 2005; PASSIOURA, 2007). Em condições hídricas normais, a planta absorve grande quantidade de água, mas perde em torno de 98% através da transpiração e qualquer alteração no fluxo de água no sistema solo-planta-atmosfera prejudica a produção da cultura (CAVALCANTE e outros, 2001).

Na natureza, as plantas podem ser sujeitas a curtos (horas e dias) ou a longos períodos de deficiência hídrica (semanas e meses), com efeitos completamente diferentes em termos de respostas fisiológicas ou de adaptação. No estresse rápido, a estratégia é minimizar a perda de água e ativar mecanismos de proteção ao estresse oxidativo, enquanto que, no estresse lento, a estratégia é evitar, diminuindo o ciclo de vida ou otimizar o ganho dos recursos para facilitar a aclimatação. A importância do tempo no ajuste das respostas da planta altera-se completamente com o genótipo e o ambiente da planta (CHAVES e outros, 2003), porém, na prática, essas estratégias de tolerância não são mutuamente exclusivas e as plantas podem combinar diversas estratégias de resposta (VERSLUES, 2006).

Para Moraes e outros (2003), a grande importância da água para as plantas está na manutenção da hidratação do protoplasma, pois na ocorrência de deficiência hídrica, a atividade fotossintética declina paralelamente à diminuição do volume celular. Na maioria dos casos, o estresse provocado pela deficiência hídrica pode ser medida pela produtividade, crescimento ou o processo primário de assimilação de CO<sub>2</sub>, que estão relacionadas com o crescimento geral das plantas (TATAGIBA e outros, 2009).

De modo geral, as plantas submetidas à deficiência hídrica apresentam características como baixas taxas de crescimento e de fotossíntese, elevada razão raiz/parte aérea, menor capacidade de aquisição de recursos e de renovação de tecidos. Estes fatores juntos conferem às plantas maiores resistências para se desenvolverem em ambientes extremos (RAMOS e outros, 2004).

No início da deficiência hídrica, ocorre, normalmente, um decréscimo da condutância estomática antes da diminuição da fotossíntese. Este decréscimo sugere que, sob deficiência moderada, a inibição da fotossíntese pode ser explicada, principalmente, por uma restrição na difusão de CO<sub>2</sub> (NUNES, 2007). O fechamento parcial do poro estomático com a finalidade de amenizar a perda de água através da transpiração, além de limitar a difusão de CO<sub>2</sub> para a câmara subestomática, causa aumento da

temperatura foliar (PRADO e outros, 2001). Nessas circunstâncias, diminuições nas taxas de fotossíntese e de transpiração podem indicar um mecanismo estomático com maior ou menor eficiência de uso da água, implicando na economia de água pela planta (NASCIMENTO, 2009).

O decréscimo da taxa fotossintética, em plantas sob deficiência hídrica, pode ser também resultado da baixa difusão de CO<sub>2</sub> através do mesófilo da folha até ao local de carboxilação. A resistência do mesófilo ao CO<sub>2</sub> pode contribuir grandemente para a limitação da sua passagem dos espaços intercelulares para o local de carboxilação e, como tal, conduzir a estimativas elevadas da contribuição das limitações metabólicas na fotossíntese (CENTRITTO e outros, 2003).

A limitação da absorção de CO<sub>2</sub>, causada pela deficiência hídrica, pode aumentar a formação de espécies reativas de oxigênio e, conseqüentemente, aumentar seu potencial de danos ao aparato fotossintético (LAWLOR, 1995, GALMÉS e outros, 2007). As membranas têm um papel importante na manutenção da integridade e homeostasia celular e são essenciais na transdução de sinais e na regulação do transporte iônico. Esse papel adquire uma importância crucial durante o período de deficiência hídrica e, como tal, manter a sua integridade é fundamental (MUNDREE e outros, 2002).

A capacidade que as plantas possuem de fixar carbono sob deficiência hídrica ou de retomar a taxa fotossintética após um período de estresse, tem sido estudada em trabalhos que buscam verificar a resistência à seca em mudas de espécies florestais (RHODENBAUGH e PALLARDY, 1993; STONEMAN e outros, 1994; CHAVES, 2001; LONGUI, 2007; MARTINS e outros, 2010).

Segundo Kim e Lieth outros (2003), um aspecto muito importante nos estudos de estresse e recuperação do “status” hídrico foliar é a velocidade de imposição da deficiência hídrica e a duração da mesma, os quais podem implicar diferentes respostas em variedades da mesma espécie. A indução lenta da deficiência hídrica, com baixos valores de potencial

hídrico foliar, atingido antes da reidratação, pode possibilitar uma maior produção e acúmulo de ácido abscísico (ABA) nas folhas, permitindo a conservação do turgor celular por meio da manutenção de baixos valores de condutância estomática. Espécies com maior capacidade de manutenção da turgescência, sob condições de deficiência hídrica moderada, são mais aptas a suportar períodos de deficiência hídrica (NASCIMENTO, 2009).

Tatagiba e outros (2009) observaram o desempenho de clones comerciais de eucalipto em resposta à disponibilidade de água no substrato e verificaram que, após 45 dias de estresse hídrico, houve restrições ao crescimento e à fotossíntese líquida dos clones estudados. Com a retomada da irrigação, houve recuperação do crescimento e da fotossíntese.

Rocha (1994) obteve uma relação linear entre a fotossíntese e a concentração interna de CO<sub>2</sub> para a espécie *Stryphnodendron adstringens*, indicando somente a ocorrência de limitação estomática da fotossíntese sob estresse hídrico. Esta conclusão foi reforçada pela recuperação mais rápida desta espécie, após a reidratação (48h).

Em plantas jovens de *Azadirachta indica* sob diferentes regimes hídricos, níveis de água abaixo de 60% da capacidade de campo reduzem significativamente o crescimento e a produção de massa seca. A deficiência hídrica promove redução da massa seca das folhas e da área foliar, porém, quando reirrigadas, ocorre a recuperação, evidenciada por meio da emissão de novas folhas (MARTINS e outros, 2010).

Sanches e outros (2011), analisando a influência do déficit hídrico nas relações hídricas e fotossíntese, durante o crescimento inicial de *Bauhinia forficata* Link, observaram que as relações hídricas, a fotossíntese e o crescimento das plantas foram afetados pelos menores valores de umidade do solo e o retorno das regas diárias promoveu a recuperação da fotossíntese das plantas estressadas aos 90 dias, com valores semelhantes ou maiores que os observados nas plantas sem deficiência hídrica.

Plantas jovens de Castanha-da-Amazônia, submetidas à deficiência hídrica e reirrigação, apresentaram acúmulo de biomassa três vezes menor

no período de deficiência hídrica. As taxas de fotossíntese, condutância estomática e transpiração reduziram em 95, 98 e 87%, respectivamente, após 59 dias de supressão da irrigação. O potencial hídrico foliar, no período de deficiência hídrica, exibiu redução superior a duas vezes, comparado ao período irrigado. Após a reirrigação, aos 16 dias, observou-se completa recuperação das características fotossintéticas e do potencial hídrico foliar nas plantas não irrigadas inicialmente, indicando que plantas jovens de castanheira exibem alta plasticidade fisiológica em relação ao estresse resultante da deficiência hídrica (SCHIMPL e outros, 2011).

Nascimento e outros (2011), avaliando a recuperação fotossintética em mudas de *Hymenaea courbaril* L. sob deficiência hídrica e posterior reirrigação, verificaram que, após 11 dias de suspensão da irrigação, houve o fechamento estomático, afetando significativamente todas as variáveis estudadas. Dentre essas, as relações hídricas foram as que melhor expressaram as injúrias promovidas pela seca, destacando-se o potencial hídrico, que apresentou reduções consideráveis, juntamente com o teor relativo de água. O mesmo ocorreu em relação às trocas gasosas, fotossíntese, transpiração, condutância estomática, concentração interna de CO<sub>2</sub>, eficiência do uso da água e eficiência de carboxilação. A reirrigação das plantas não irrigadas promoveu a reabertura dos estômatos, após cinco dias, recuperando todas as variáveis.

Nascimento (2009), avaliando o crescimento e assimilação em plantas jovens de *Attalea funifera*, cultivadas em vasos e submetidas ao sombreamento e ao estresse hídrico, verificaram que o estresse não afetou, de forma irreversível, as trocas gasosas de plantas de *A. funifera*, uma vez que, após 48 h da reirrigação, as plantas exibiram recuperação total do aparato fotossintético. Plantas jovens *A. funifera* apresentaram boa tolerância à deficiência hídrica no solo e boa capacidade de recuperação do desempenho fisiológico relativo ao potencial hídrico e às trocas gasosas sob condições de estresse hídrico, sugerindo substancial plasticidade fisiológica durante sua fase juvenil.

### **3 - MATERIAL E MÉTODOS**

O experimento foi desenvolvido no *campus* experimental da Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia (UESB), em Vitória da Conquista - BA, em casa de vegetação, no período de 29 de novembro de 2010 a 09 de março de 2011.

#### **3.1 - Caracterização geral da área experimental**

##### ***3.1.1 – Clima e vegetação regional***

O município de Vitória da Conquista está situado a 14° 53' de latitude Sul e 40°48' de longitude Oeste, com altitude média de 928 m e clima tropical de altitude (CFC), de acordo com a classificação climática de Köppen. As médias de temperatura máxima e mínima são, respectivamente, de 25,3°C e 16,1°C. A precipitação pluviométrica varia entre 700 e 1000 mm anuais, sendo o maior nível encontrado de novembro a março. A vegetação pertence à tipologia de Floresta Estacional Semidecidual Montana, também conhecida como Mata de Cipó.

##### ***3.1.2 – Substrato utilizado***

O substrato utilizado para o enchimento dos vasos foi constituído de solo extraído à profundidade de 30 a 40 cm de um Latossolo Vermelho-Amarelo. Foram realizadas análises granulométrica (Tabela 3.1) e química (Tabela 3.2).

Com base na análise de solo e, de acordo com as recomendações do Arquivo do Agrônomo da Potafos (SILVEIRA e outros, 2001), foi feita a

adubação no transplântio com fósforo (super fosfato simples – 4 kg de fósforo por m<sup>3</sup> de substrato) e de cobertura com nitrogênio e potássio (ureia e cloreto de potássio – 130 mg de nitrogênio e 158 mg de potássio por m<sup>3</sup> de substrato).

**Tabela 3.1** - Granulometria e classificação textural do substrato.

Composição Granulométrica (tfsa g/kg)				Classe Textural
Areia grossa 2 – 0,20mm	Areia fina 0,20 – 0,05mm	Silte 0,05 – 0,002mm	Argila < 0,002mm	
480	180	60	280	Franco Argilo Arenosa

**Tabela 3.2** - Análise química de fertilidade do substrato.

pH	P (Mehlich) mg/dm <sup>3</sup>	M.O.	Cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> de solo						V
			H+Al	K <sup>+</sup>	Ca <sup>+2</sup>	Mg <sup>+2</sup>	SB	CTC	(%)
5,7	1	22	2,2	0,10	2,4	0,9	3,4	5,6	61

### 3.2 - Espécies utilizadas e obtenção das mudas

Foram utilizadas mudas de eucalipto provenientes de quatro clones dos seguintes genótipos: VM01 (híbrido de *E. urophylla* x *E. camaldulensis*), VCC0865 (híbrido de *E. urophylla* x *E. grandis*), AEC0144 (*E. urophylla*) e AEC0224 (*E. urophylla*). Os clones AEC0144 e VM01 já vêm sendo cultivados na região. Os clones foram adquiridos das empresas Tecno Plant e Plant Flora, procedentes dos municípios de Eunápolis e Itabela. As mudas foram produzidas em tubetes de modelo cônico, com secção circular contendo seis frisos internos longitudinais e equidistantes, dimensões de 12,5 cm de altura, 3 cm de diâmetro na parte interna superior e apresentando o fundo aberto de aproximadamente 1 cm, de capacidade

volumétrica de substrato para 54cm<sup>3</sup>. As mudas foram obtidas junto às empresas e transportadas ao local do experimento, quando as mesmas apresentavam idade de 90 dias.

### **3.3 - Preparo dos vasos e transplântio**

Para composição do substrato, inicialmente, o solo foi espalhado sobre uma lona plástica dentro da casa de vegetação sendo submetido à constante revolvimento, passando por uma secagem ao ar. Foram utilizados vasos com perfurações na sua base, a fim de permitir o escoamento de eventual excesso de água. Os vasos foram revestidos internamente e externamente com lona plástica da cor preta, para evitar perda de água e interferência de luz.

Após a secagem, o substrato foi adubado e, em seguida, usado para o preenchimento dos vasos com uma massa de solo seco de 23 kg e, posteriormente, mantido com teor de umidade próximo à capacidade de campo, definida como a máxima retenção de água no substrato, após a drenagem do seu excesso (BERNARDO e outros, 2005).

O monitoramento do teor de umidade do solo foi realizado em quatro vasos à parte. Adicionou-se água ao solo até o mesmo atingir a capacidade de campo, registrando-se o seu peso. Esses vasos foram utilizados como referência para se estabelecer a quantidade de água a ser repostada aos demais, com base na verificação diária do seu peso, cuja variação corresponderia às perdas de água por evaporação.

Após preenchimento dos vasos, as mudas passaram por seleção quanto à uniformidade (25 a 30 cm de altura, 2 mm de diâmetro, quatro a cinco pares de folhas) e foram transplântadas.

### **3.4 - Caracterização dos tratamentos e delineamento experimental**

Inicialmente, todas as mudas (uniformes) foram submetidas a um período de adaptação (60 dias) nos vasos, em casa de vegetação, para estabelecimento e sobrevivência das mudas, recebendo irrigação diária, suficiente para manter o solo em condições próximas à capacidade de campo.

Após o período de adaptação, as plantas foram separadas em dois grupos, cada um deles contendo representações de todos os clones. Num desses grupos, a irrigação foi mantida, permitindo que o solo permanecesse próximo à capacidade de campo. No outro grupo, a irrigação foi suspensa e as plantas permaneceram nessa condição durante 20 dias, até atingirem estresse hídrico crítico, caracterizado pelo teor relativo de água nas folhas entre 40 e 60% e taxas de fotossíntese próximas de zero, quando a restrição hídrica tornou-se limitante à sobrevivência das plantas. Constatado essas características, retomou-se o fornecimento de água e os tratamentos foram constituídos de dois regimes hídricos – irrigado e reirrigado – aplicados aos quatro clones. Dessa forma, foram estabelecidos oito tratamentos, conforme descrição a seguir:

**T1:** plantas permanentemente irrigadas e clone VM01

**T2:** plantas permanentemente irrigadas e clone VCC0865

**T3:** plantas permanentemente irrigadas e clone AEC0144

**T4:** plantas permanentemente irrigadas e clone AEC0224

**T5:** plantas reirrigadas após restrição hídrica e clone VM01

**T6:** plantas reirrigadas após restrição hídrica e clone VCC0865

**T7:** plantas reirrigadas após restrição hídrica e clone AEC0144

**T8:** plantas reirrigadas após restrição hídrica e clone AEC0224

A unidade experimental foi composta por uma planta. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado (DIC), com quatro repetições, sendo os tratamentos arranjos segundo o esquema fatorial 4 x

2, com quatro clones de eucalipto – AEC0144, AEC0224, VM01 e VCC865 – e dois regimes hídricos (irrigação permanente e reirrigação após restrição hídrica), considerando-se uma planta por unidade experimental, totalizando 32 plantas.

O período compreendido do experimento correspondeu a 100 dias, sendo 60 dias para aclimação das plantas, 20 dias de restrição hídrica e 20 dias de reirrigação, o qual se iniciou no 80º dia. Após quatro dias da retomada da irrigação das plantas não irrigadas, período em que se observou pequena recuperação visual do estado hídrico, iniciou-se as avaliações fitotécnicas e fisiológicas. O final do experimento foi caracterizado pela recuperação visual e das relações hídricas das plantas, com valores de TRA superiores a 80%, observados aos 20 dias da retomada da irrigação.

Para a análise estatística, os dados foram submetidos à análise de variância (ANAVA). As médias e os desdobramentos das interações ocorridos entre os tratamentos foram comparados pelo teste Tukey, a 5% de probabilidade, utilizando o programa estatístico SAEG. Para as variáveis que apresentaram efeito significativo do manejo hídrico, foi feito teste de comparação de médias pelo teste F e, para clones, teste Tukey.

### **3.5 - Características avaliadas**

#### ***3.5.1 - Avaliações de características fitotécnicas***

A altura (H) e o diâmetro de colo (D) foram medidos a partir do 4º dia, após a retomada da irrigação, com intervalo de 8 dias, por meio de trena e paquímetro, respectivamente. No final do experimento (20 dias após a retomada da irrigação), verificou-se a área foliar total, utilizando-se um Medidor de Área Foliar LI-COR (modelo LI-310). As plantas foram submetidas à secagem em estufa com circulação forçada de ar, à temperatura de  $65^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}\text{C}$ , durante 48 horas. Em seguida, verificaram-se,

separadamente, as massas secas do material correspondente à parte aérea (MSPA) e às raízes (MSR), utilizando uma balança de precisão 0,001mg, para determinação da relação massa seca de raízes e parte aérea (MSR/PA).

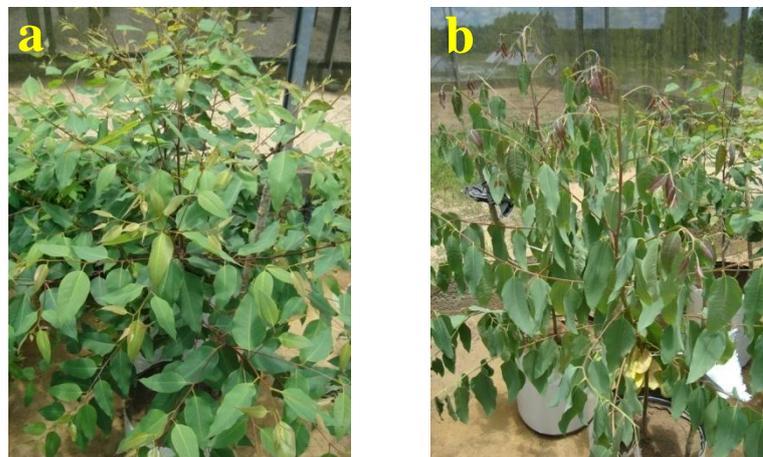
### 3.5.2 - Avaliações de características fisiológicas

As avaliações fisiológicas se iniciaram após quatro dias da retomada da irrigação das plantas não irrigadas, período em que se observou pequena recuperação visual do estado hídrico.

- Fotossíntese líquida potencial: medida por meio da avaliação de trocas gasosas, com um medidor portátil de fotossíntese do tipo analisador infravermelho de gases (Infrared Gas Analyser) (IRGA LI-6400, LI-COR®, Nebraska/USA). As plantas receberam, durante a mensuração, irradiância de 900  $\mu\text{mol de fótons}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ , valores determinados pela curva de saturação luminosa para o eucalipto, situando-se entre 800 e 1.000  $\mu\text{mol de fótons}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  (SILVA e outros, 1998). A concentração de  $\text{CO}_2$  no ar, fornecido ao analisador (ar referencial), foi de 340  $\mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$ . As leituras foram realizadas a cada três dias entre 9 e 10h:30 da manhã. A escolha desse horário deveu-se ao fato de que as plantas apresentam máxima fixação de carbono nessa hora do dia. Com esse mesmo equipamento, avaliaram-se, também, transpiração, condutância estomática e concentração interna de  $\text{CO}_2$ . Essas avaliações foram realizadas a cada três dias, em uma folha no terço médio de cada planta da unidade experimental.
- Potencial hídrico foliar ( $\Psi_w$ ): as avaliações de potencial hídrico foliar foram realizadas às 4:30h da manhã, a cada três dias. Foram selecionadas duas folhas, localizadas na parte mediana da copa. Imediatamente, após serem coletadas, as folhas foram

aconditionadas em envelopes de alumínio num isopor com gelo, objetivando reduzir ao mínimo os riscos de desidratação, e encaminhadas ao laboratório de Fisiologia Vegetal para determinação do potencial hídrico (SCHOLANDER e outros, 1965);

- Teor relativo de água (TRA): com o uso de um perfurador, foram retirados 10 discos das mesmas folhas utilizadas nas avaliações de potencial hídrico, registrando-se o peso desse material fresco (PF) em uma balança de precisão. Em seguida, os discos foram transferidos para placas de Petri, onde foram submersos por 24 horas em água deionizada, a fim de obter o peso do material túrgido (PT). Posteriormente, os discos foram submetidos à secagem em estufa de circulação forçada de ar, sob temperatura de 70°C, durante 48 horas, para se obter o peso do material seco (PS). O teor relativo de água foi determinado com base na seguinte fórmula:  $TRA = (PF - PS) / (PT - PS) \times 100$  (WEATHERLEY, 1950).



**Figura 3.1** – (a) Planta irrigada; (b) Planta estressada.

## **4 - RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **4.1 - Características fitotécnicas**

No Apêndice 1B estão apresentados os resultados da análise de variância para as características fitotécnicas das plantas jovens de quatro clones de eucalipto, avaliadas sob irrigação e reirrigação.

#### ***4.1.2 - Altura de plantas e diâmetro de colo***

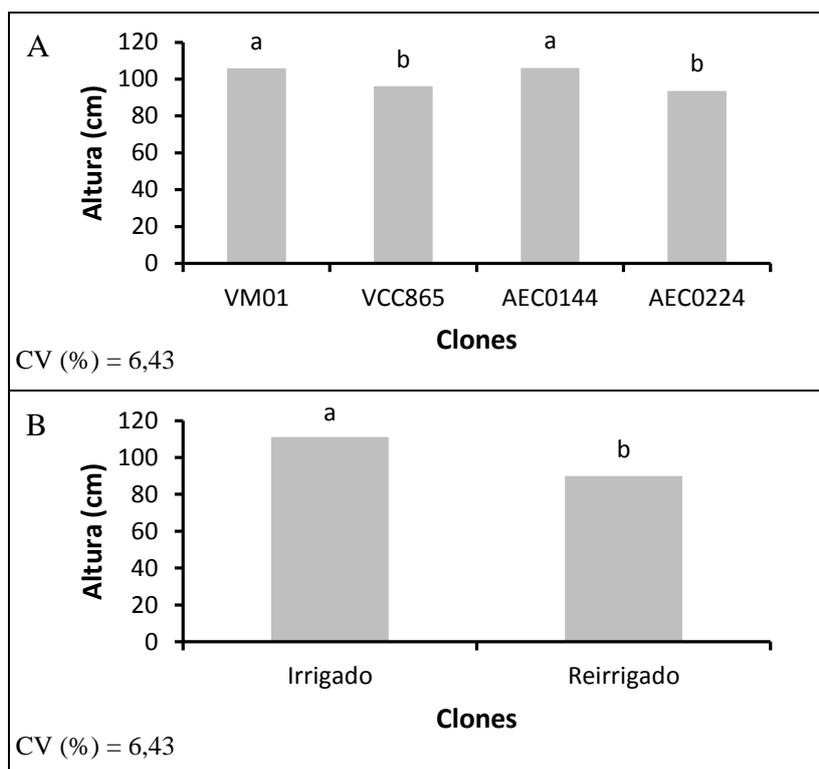
Em relação às características de altura de plantas e diâmetro de colo, não houve interação dos tratamentos clone e regime hídrico (Tabela 1B).

Os resultados mostraram que, independentemente do regime hídrico, os clones diferiram entre si para a característica altura. Os clones VM01 e AEC0144, com alturas de 105,97cm e 106,12cm, respectivamente, mostraram-se superiores aos clones VCC0865 (96,16cm) e AEC0224 (93,56cm) (Figura 3.2). Este resultado deve-se à maior capacidade dos clones VM01 e AEC0144 em manter teores de água mais elevado em suas células.

Em relação aos regimes hídricos, observou-se que o período de estresse comprometeu o desenvolvimento em altura dos clones de eucalipto e que a reirrigação não foi suficiente para que estas atingissem a altura das plantas, que não experimentaram deficiência hídrica, com altura de 90 cm e 111cm, respectivamente. Segundo Larcher (2006), as plantas são afetadas pelo declínio do potencial hídrico e tendem a se desenvolver melhor, quando se encontram em condições hídricas adequadas.

Observando os dados das relações hídricas, expressos em termos de potencial hídrico foliar e teor relativo de água (Tabela 2B), não houve diferença entre os tratamentos (irrigado e reirrigado). Dessa forma, as

plantas reirrigadas atingiram ótimo “status” hídrico e mesmo grau de turgescência celular das plantas irrigadas, durante todo período experimental.



Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de significância entre os clones e pelo teste F a 5% entre regimes hídricos.

**Figura 3.2** – Altura de plantas jovens de quatro clones de eucalipto, sob dois regimes hídricos; comparação entre clones (A), comparação entre regimes hídricos (B).

Segundo Pimentel (1999b), o crescimento depende da turgescência celular, mas também do módulo de elasticidade da parede celular e, conseqüentemente, do coeficiente de elasticidade desta. Outro fenômeno envolvido na tolerância à seca é o endurecimento da parede celular, principalmente em plantas que já tenham sido submetidas a um período de deficiência hídrica. O endurecimento permite à planta um maior ajustamento osmótico, pois os solutos acumulados no período de deficiência hídrica não

são prontamente assimilados e irão favorecer um maior acúmulo e ajuste osmótico em um próximo período de estresse (KRAMER & BOYER, 1995).

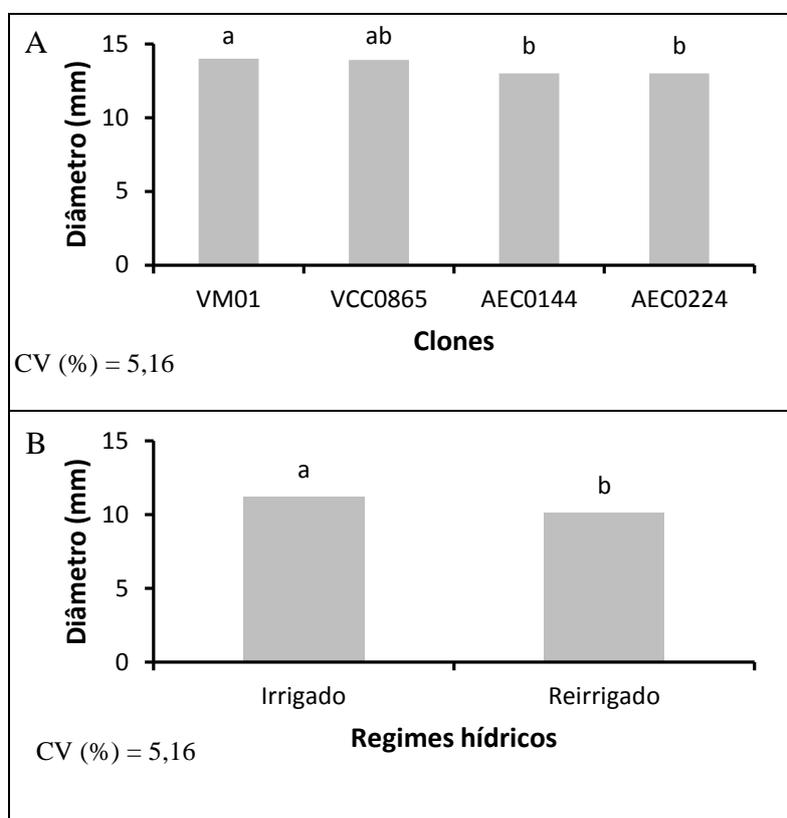
De acordo com Chaves (2001), quando se consideram plantas jovens, a altura pode não indicar de forma eficiente a capacidade de recuperação, uma vez que as plantas podem não estar crescendo em altura, mas, por outro lado, podem estar crescendo em área foliar e matéria seca, através da emissão de ramos.

A retomada da irrigação não foi suficiente para promover alterações significativas no diâmetro de colo, o qual se manteve menor nas plantas que haviam experimentado deficiência hídrica, em comparação com as plantas irrigadas, independentemente do clone analisado (Figura 3.3). As plantas do clone VM01 apresentaram tendência de possuir maior diâmetro de colo, embora esse diâmetro tenha sido estatisticamente igual ao das plantas do clone VCC0865, independentemente do regime hídrico a que estiveram submetidas. As plantas dos clones AEC0144 e AEC0224 foram as que apresentaram menor diâmetro, se comparadas às plantas do clone VM01. Tatagiba (2006) não encontrou diferenças significativas entre os clones de eucalipto, avaliados após a retomada de irrigação, por 55 dias. Plantas de *Juglans nigra*, árvore nativa da França, mostraram grande recuperação no crescimento do diâmetro do caule, quando reirrigadas, após serem submetidas à deficiência hídrica, por 10 dias (DAUDET e outros, 2005).

Reis e outros (1991) não encontraram diferenças na capacidade de retomada de crescimento em mudas de *E. grandis* e *E. camaldulensis*, submetidas a déficit hídrico (até o aparecimento de sintomas de murcha foliar e de sintomas drásticos) em tubetes, e transplantadas para recipientes de maior volume.

Martins e outros (2010) verificaram que a reirrigação promoveu recuperação do crescimento de plantas jovens de nim-indiano, cultivadas em vasos em casa de vegetação, após passarem por 30 dias de restrição hídrica, com avaliações de crescimento semanais. Tatagiba e outros (2009) encontraram resultados semelhantes em plantas jovens de eucalipto,

crescendo em vasos com capacidade de 100dm<sup>3</sup>. Aos 150 dias de idade, as plantas passaram por um período de restrição hídrica de 45 dias com retomada da irrigação por mais 55 dias, quando foram feitas as avaliações de crescimento. Revelando que a retomada da irrigação contribuiu para a recuperação do crescimento de clones de eucalipto em resposta à disponibilidade de água no substrato, comparando com os demais tratamentos (sem déficit e suspensão da irrigação até o final do experimento).



Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de significância entre os clones e pelo teste F a 5% entre regimes hídricos.

**Figura 3.3** – Diâmetro de colo de plantas jovens de quatro clones de eucalipto, sob dois regimes hídricos; comparação entre clones (A), comparação entre regimes hídricos (B).

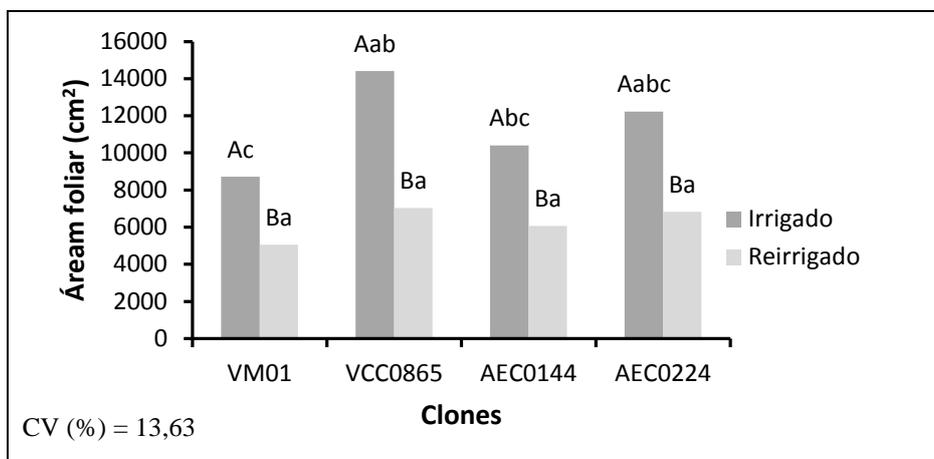
O crescimento depende da divisão celular, do alongamento e da diferenciação, e todos estes processos são afetados pela deficiência hídrica, devido à perda da turgescência (TEZARA e outros, 2002). Como o alongamento celular cessa antes da interrupção da fotossíntese, alguns autores sugerem que metabólitos osmoprotetores, que possam ter sido acumulados durante o período em que o alongamento foi inibido pela falta de turgescência, sejam depois utilizados para a síntese da parede celular e para outros processos associados com o crescimento, após a turgescência ter sido restabelecida (CHAVES e outros, 2002).

#### **4.1.3 - Área foliar**

A Figura 3.4 ilustra o desdobramento da interação entre os efeitos de clone e regime hídrico para a área foliar total dos quatro clones de eucalipto, com a retomada da irrigação, após as plantas terem experimentado os dois regimes hídricos. As plantas que haviam sido submetidas à deficiência hídrica apresentaram recuperação da área foliar. Algumas folhas remanescentes, que já apresentavam sinais de necrose, se recuperaram e recompuseram o tecido foliar. Entretanto, a retomada da irrigação não resultou em diferenças entre os clones, no que se refere à área foliar. Além disso, nessas plantas, a área foliar permaneceu inferior à das plantas, que não experimentaram deficiência hídrica, mesmo após a retomada da irrigação, independentemente do clone analisado.

Segundo Chaves (2001) o lançamento de novas folhas após período de deficiência hídrica indica grande capacidade de recuperação e que a abscisão foliar pode ser uma estratégia de adaptação ao estresse hídrico.

Na ausência de restrições hídricas, os clones apresentaram desempenhos distintos, em termos de área foliar, com valores mais elevados para os clones VCC0865 e AEC0224 e valores menores para os clones VM01 e AEC0144 (Figura 3.4).



Letras minúsculas diferentes indicam diferença significativa entre os clones em cada regime hídrico e letras maiúsculas diferentes indicam diferença significativa entre os regimes hídricos, dentro de cada clone, pelo teste Tukey a 5% de significância.

**Figura 3.4** – Área foliar de plantas jovens de quatro clones de eucalipto sob dois regimes hídricos.

Durante um período de 55 dias, após a reirrigação, Tatagiba e outros (2009) verificaram que a retomada da irrigação contribuiu para crescimentos significativos na área foliar dos clones de eucalipto, avaliados em resposta à disponibilidade de água no substrato. A área foliar pode ser usada para avaliar o efeito da deficiência hídrica sobre o crescimento das plantas. A perda de folhas contribui de forma efetiva na redução da superfície transpiratória das plantas lenhosas (LARCHER, 2006). A diminuição em área foliar de plantas mantidas sob estresse hídrico é uma resposta precoce adaptativa ao déficit hídrico e pode constituir-se em um mecanismo para limitar a transpiração (TARDIEU, 1997).

Segundo Osório e outros (1998), as diferenças na capacidade de recuperação da área foliar entre genótipos, após período de deficiência hídrica, podem estar associadas às diferenças no ajustamento osmótico. Plantas jovens de nim-indiano reirrigadas não demonstraram recuperação na área foliar (MARTINS e outros, 2010).

Em plantas jovens de eucalipto submetidos à deficiência hídrica em tubetes e posterior transplantio para vasos de 17,67 dm<sup>3</sup> com a retomada da

irrigação, Chaves (2001) observou que clones de eucalipto demonstraram capacidade de recuperação do crescimento, reduzindo a diferença entre os tratamentos de irrigação, já aos 45 dias após o transplante e aos 80 dias após a reirrigação, a diferença entre as áreas foliares das plantas, provenientes dos dois tratamentos de irrigação em tubetes, foi reduzida para todos os clones avaliados.

## **4.2 - Características fisiológicas**

Os resultados da análise de variância referente às características fisiológicas encontram-se no Apêndice 2B (potencial hídrico foliar e teor relativo de água) e no Apêndice 3B (fotossíntese, transpiração, condutância estomática e concentração interna de CO<sub>2</sub>).

### ***4.2.1 - Potencial hídrico foliar e teor relativo de água***

Para a característica de potencial hídrico foliar, não houve significância para os efeitos de clone, regime hídrico e sua interação (Tabela 2B). Independente do regime hídrico, os clones avaliados apresentaram comportamento semelhante e a retomada da irrigação promoveu recuperação do estado hídrico das plantas não irrigadas, indicando rápida recuperação das plantas de eucalipto após reirrigação, com valores de  $\Psi_w$  foliar em torno de -0,4 a -0,5 MPa.

Em relação ao teor relativo de água, houve apenas diferença entre os clones, independente do regime hídrico (Tabela 2B).

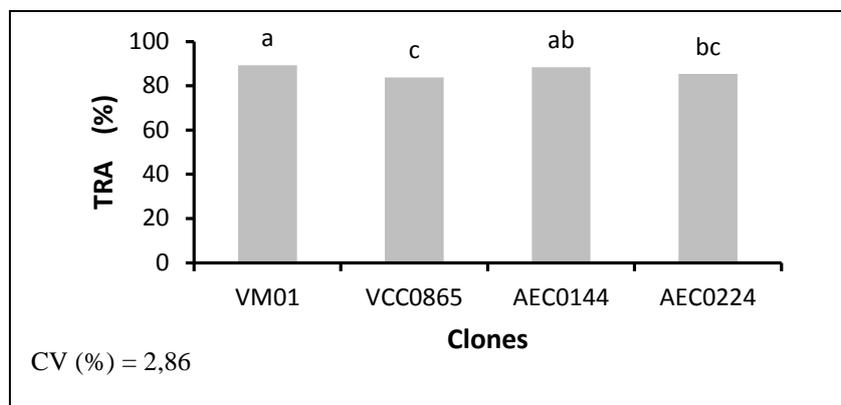
Analisando o teor relativo de água (TRA), na Figura 3.5 observa-se que os clones apresentaram pequenas diferenças no comportamento, sendo que o clone VM01 apresentou capacidade de manter maiores valores de conteúdo de água nas células (89,3%), superando os clones de VCC0865

(83,71%) e AEC0224 (85,31%). Apesar das diferenças estatísticas, todos os clones atingiram TRA superior a 80%, após serem submetidos à reirrigação.

O TRA reflete a dinâmica do balanço de água da folha, resultado entre a água que entra na folha e a que sai por transpiração (MACHADO e outros, 1999). Segundo Kramer e Boyer (1995), os fatores fisiológicos são mais responsivos ao TRA, pois este é um indicador quantitativo do grau de turgescência celular. Neste trabalho, os clones que apresentaram maiores valores de TRA tenderam a maiores valores de fotossíntese; para as demais características ( $G_s$ ,  $E$ ,  $C_i$ ) não foi constatado diferenças.

Entre os tratamentos de irrigação e reirrigação, não houve diferença significativa, mostrando a capacidade que as plantas de eucalipto têm de recuperar suas condições hídricas, depois de retomada da irrigação, mesmo passando por um período de severa limitação hídrica que correspondeu a 20 dias. Clones de eucalipto (97, 11, 75 e 84) cultivados em vasos, submetidos a 45 dias de deficiência hídrica e posterior retomada da irrigação por 55 dias, recuperaram a turgescência, com valores semelhantes aos encontrados no manejo hídrico irrigado (TATAGIBA e outros, 2008).

As plantas jovens de eucalipto podem ter apresentado o mesmo comportamento que plantas jovens de aroeira-do-sertão, submetidas a estresse hídrico de 14 dias, estudadas por Queiroz e outros (2002). Esses autores observaram queda acentuada no teor relativo de água foliar, próximo a 60%, acompanhado pela diminuição na  $G_s$  e na taxa aparente de transporte de elétrons e extensivos danos às membranas, evidenciados por aumentos na peroxidação de lipídios, mas não foi observados alterações nos valores do rendimento quântico potencial do fotossistema II em consequência do estresse hídrico. Valores de TRA de cerca de 60 % nas folhas, não causou danos irreversíveis, com rápida recuperação da atividade fotossintética e do nível de peroxidação das membranas, após a reirrigação das plantas, sugerindo que, provavelmente, o sistema de defesa antioxidante foi ativado após o estresse hídrico.



Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de significância.

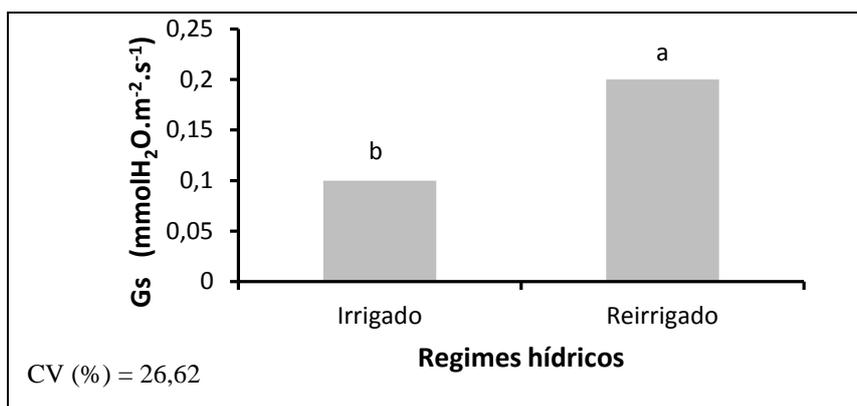
**Figura 3.5** – Teor relativo de água (TRA) em quatro clones de eucalipto, sob dois regimes hídricos; comparação entre clones.

#### 4.2.2 - Condutância estomática e transpiração

De acordo com a Tabela 3B, observou-se que, independente do regime hídrico, os clones estudados não apresentaram diferença em condutância estomática ( $G_s$ ), devido à reposição da umidade do solo e, conseqüentemente, à rápida reidratação das plantas, que permitiu uniformidade na abertura dos estômatos.

Entre os regimes hídricos, houve diferença significativa (Figura 3.6). No tratamento de retomada da irrigação, as plantas de eucalipto alcançaram maiores valores de  $G_s$  em relação às plantas que estavam sendo irrigadas desde o início do experimento. Verifica-se que a reirrigação proporcionou total recuperação da condutância estomática. As plantas que passaram por estresse hídrico mantiveram os estômatos mais abertos após a reirrigação, que favoreceu o influxo de  $CO_2$  para dentro das células e aumentou a taxa fotossintética, retomando o crescimento e, conseqüentemente, maior perda de água por transpiração. Essa diferença entre os tratamentos irrigado e reirrigado, também, pode ter sido em razão de uma maior disponibilidade de água encontrada no substrato do tratamento reirrigado, em função da menor área foliar das plantas que passaram por deficiência hídrica, que reduziu a

superfície transpirante e, conseqüentemente, manteve o substrato úmido por um período maior de tempo (CHAVES, 2004), o que pode ter ocasionado a maior abertura estomática para os clones reirrigados.



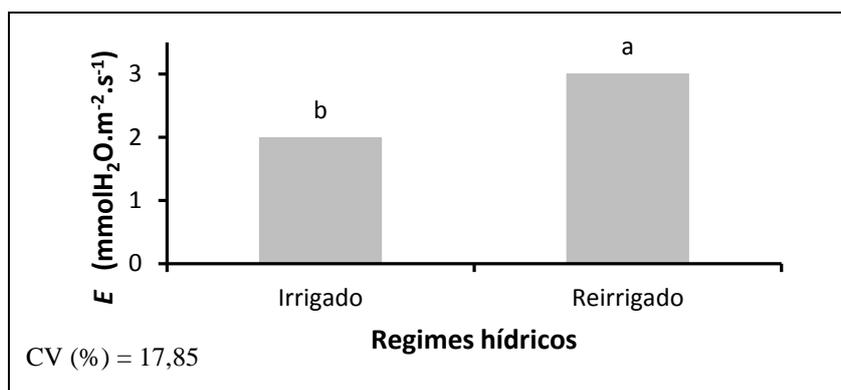
Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste F a 5% de significância.

**Figura 3.6** – Condutância estomática (*G<sub>s</sub>*) em plantas jovens de clones de eucalipto, sob dois regimes hídricos; comparação entre regimes hídricos.

O efeito do estresse hídrico foi elástico nas plantas de eucalipto, assim como encontrado em plantas de buriti (CALBO e MORAES, 1997), pois elas voltaram a apresentar altas taxas de fotossíntese, superando até mesmo as plantas plenamente irrigadas. Oliveira e outros (2002), trabalhando com mudas de pupunheira com dois manejos hídricos (suspensão da irrigação e irrigado), verificaram que as plantas, após a reirrigação, recuperam apenas 50% da *G<sub>s</sub>*, porém, após três dias, a fotossíntese, transpiração e potencial de água da folha recuperaram-se totalmente.

O comportamento observado nos clones de eucalipto, fechando os estômatos quando cultivados sob restrição hídrica e mantendo-os abertos após a reirrigação e reidratação dos tecidos, evidencia um possível ajustamento da espécie à condição de seca.

Os resultados da transpiração foliar (Figura 3.7) seguiram a mesma tendência da condutância estomática, uma vez que a perda de água se dá através dos estômatos, não havendo interação entre clone e regime hídrico.



Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste F a 5% de significância.

**Figura 3.7** – Transpiração ( $E$ ) em plantas jovens de clones de eucalipto, sob dois regimes hídricos; comparação entre regimes hídricos.

Não houve diferença de comportamento entre os clones para a transpiração. Isso demonstra o mesmo consumo de água entre os clones avaliados, porém, o VM01 alcançou maior taxa fotossintética, consequentemente maior eficiência no uso da água, que é a relação entre a fotossíntese e a transpiração, demonstrando a capacidade que os vegetais têm de absorver e assimilar CO<sub>2</sub> em detrimento da perda de água através de vapor (SANT'ANNA, 2009) e, observando-se os resultados da área foliar, nota-se que este clone apresentou menor área transpirante, consequentemente maior fotossíntese líquida.

As plantas reirrigadas apresentaram recuperação da transpiração, alcançando valores superiores às plantas irrigadas durante todo o período experimental, reflexo da maior abertura estomática. Este resultado pode ter sido em consequência de restrições ao desenvolvimento do sistema radicular das plantas irrigadas, devido ao longo tempo (100 dias) que as plantas cresceram livremente em vasos ou a baixa reserva hídrica no substrato

(TATAGIBA e outros, 2008). Chaves e outros (2002) salientam que, em muitos experimentos, as respostas estomáticas são mais estreitamente relacionadas ao conteúdo de água no solo do que ao “status” hídrico da planta, sugerindo que os estômatos respondem a sinais químicos (p. ex. ABA), produzido pela desidratação da raiz, enquanto o “status” hídrico da folha se mantém constante.

Em plantas de açaí sob deficiência hídrica, a taxa transpiratória aumentou gradativamente após a retomada da irrigação, alcançando os valores das plantas plenamente irrigadas após quatorze dias (CALBO e MORAES, 2000).

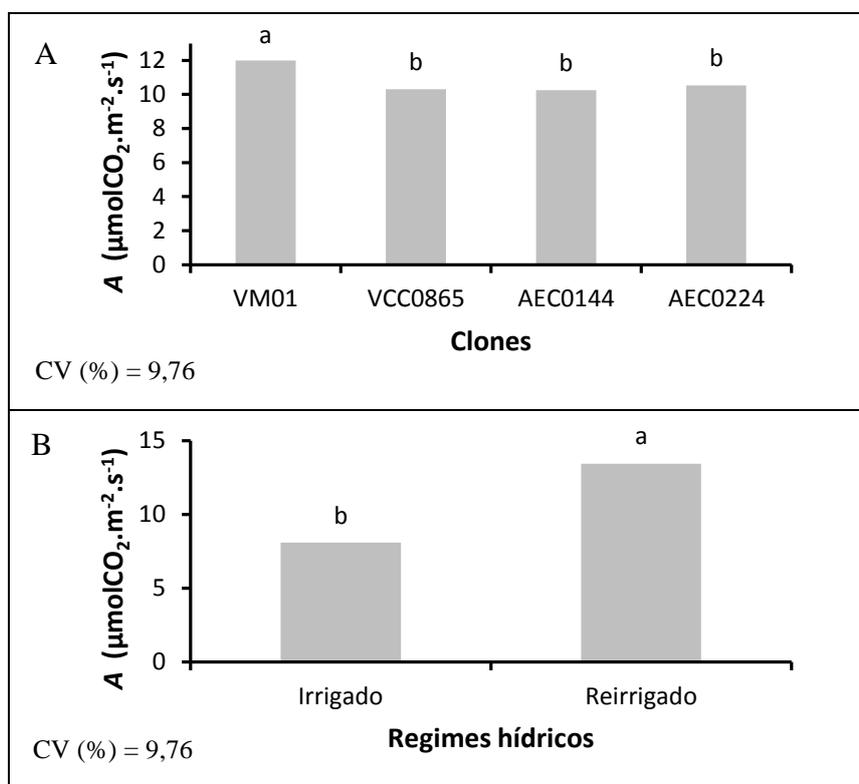
Sob condições ótimas de disponibilidade de água e com radiação solar incidente nas folhas que favorece a atividade fotossintética, cresce a demanda por CO<sub>2</sub> e os estômatos se abrem, favorecendo a difusão de CO<sub>2</sub> e a perda de água por transpiração. Uma vez que o suprimento hídrico é abundante, é vantajoso para a planta intercambiar a água por produtos da fotossíntese, essenciais para o crescimento e reprodução (TAIZ & ZEIGER, 2009). Tatagiba e outros (2007b), estudando o comportamento fisiológico de dois clones de eucalipto na época seca e chuvosa, verificaram que o clone que apresentou alto potencial fotossintético foi também o que alcançou a maior taxa de transpiração.

#### **4.2.3 - Fotossíntese líquida e concentração interna de CO<sub>2</sub>**

A Figura 3.8 representa os resultados da taxa de fotossíntese de quatro clones de eucalipto submetidos a dois regimes hídricos. Não houve interação entre os tratamentos, havendo significância entre os diferentes clones e entre os regimes hídricos (Tabela 3B).

Observa-se que, dentre os clones avaliados, o VM01, que é um híbrido de *E. camaldulensis*, apresentou o maior valor de fotossíntese (12  $\mu\text{molCO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ) e os clones VCC0865 (10,30  $\mu\text{molCO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ), AEC0144

(10,26  $\mu\text{molCO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ) e AEC0224 (10,54  $\mu\text{molCO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ) os menores valores, que não diferiram estatisticamente. A maior taxa fotossintética do clone VM01 refletiu em um maior crescimento em altura e diâmetro, que podem estar relacionados com os maiores valores de  $G_s$  encontrado. Este resultado demonstra que o clone VM01 apresentou boa capacidade de recuperação fisiológica e uma maior tolerância à deficiência hídrica.



Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de significância entre os clones e pelo teste F a 5% entre regimes hídricos.

**Figura 3.8** – Fotossíntese (A) em plantas jovens de quatro clones de eucalipto, sob dois regimes hídricos; comparação entre clones (A), comparação entre regimes hídricos (B).

Segundo Chaves (2001), quando plantas que passaram por um período de deficiência hídrica são irrigadas, a taxa de fotossíntese pode ou não retornar aos níveis anteriores, dependendo do material genético,

severidade e duração da seca e umidade do ar. Aquela planta que consegue recuperar-se e voltar a fotossintetizar, como anteriormente ao estresse, possui, certamente, uma maior tolerância à deficiência hídrica.

Dentro dos regimes hídricos (irrigado e reirrigado), as plantas de eucalipto reirrigadas apresentaram maior fotossíntese. A recuperação da fotossíntese iniciou logo que se retomou a irrigação, atingindo valores superiores às plantas continuamente irrigadas ao final do período de 20 dias. Percebe-se que a reirrigação estimulou uma maior abertura estomática, o que pode ter favorecido maiores valores de fotossíntese. Observa-se que as plantas reirrigadas apresentaram menor área foliar e com a retomada da irrigação houve aumento da taxa fotossintética por unidade de área foliar. Este resultado concorda com o encontrado por Chaves e outros (2004), avaliando clones de eucalipto em ambientes com disponibilidade de água diferenciada. Ainda segundo este mesmo autor, em plantas de eucalipto após a retomada da irrigação, não se observou danos da deficiência hídrica sobre o aparelho fotossintético e que o intervalo (4 dias) entre o fim do déficit e a medição da fotossíntese foi suficiente para que as plantas recuperassem sua capacidade fotossintética. A capacidade das plantas de recuperar a sua capacidade fotossintética está associada a sua resistência à seca, que pode demandar vários dias, dependendo da severidade e duração da deficiência hídrica (PALLARDY, 2008).

Os baixos valores de fotossíntese nas plantas que não passaram por estresse hídrico, com valores menores que as plantas reirrigadas, pode ter sido em consequência do longo tempo (100 dias) de crescimento livre em vasos, que deve ter criado certa restrição ao desenvolvimento do sistema radicular ou em função da menor área foliar das plantas, que passaram por deficiência hídrica, que reduziram a superfície transpirante e, conseqüentemente, manteve o substrato úmido por um período maior de tempo (CHAVES, 2004).

Stoneman e outros (1994) constataram que, cinco dias após a retomada da irrigação, plantas de *Eucalyptus marginata* recuperaram sua

capacidade fotossintética, não existindo diferenças entre plantas irrigadas e sob deficiência. Calbo e Moraes (2000) verificaram que plantas de *Euterpe oleracea*, submetidas a estresse hídrico por 61 dias, deram início à recuperação de sua taxa fotossintética, condutância estomática e transpiração um dia após a reirrigação, atingindo valores semelhantes ao do controle após 14 dias. Vellini e outros (2008) verificaram em clones de eucalipto sob diferentes regimes de irrigação (diária, a cada dois, quatro e seis dias) que, após a irrigação, houve uma tendência de todos os clones, nos quatro regimes hídricos, apresentarem taxa de fotossíntese semelhante, evidenciando a recuperação do “status” hídrico dos mesmos; observaram ainda boa recuperação dos materiais genéticos no regime de irrigação menos frequente após a irrigação e que, de uma forma geral, essa recuperação foi mais intensa para a taxa de transpiração do que para fotossíntese e condutância estomática.

Todos os clones de eucalipto avaliados neste trabalho recuperaram o potencial hídrico foliar e suas características fotossintéticas, que atingiram valores superiores às irrigadas, o que indica que as plantas jovens de eucalipto apresentaram alta plasticidade fisiológica em relação à deficiência hídrica. Essa plasticidade também foi encontrada por Gonçalves e outros (2009) em plantas de andiroba submetidas a 21 dias de estresse e posterior reirrigação.

Os efeitos prejudiciais da seca no processo fotossintético podem durar semanas ou até meses e a capacidade de plantas estressadas em recuperar a sua capacidade fotossintética pode estar associada à capacidade dos estômatos reabrirem parcial ou totalmente e com as injúrias sofridas pelo aparelho fotossintético (PALLARDY, 2008).

Para a concentração interna de CO<sub>2</sub> (Tabela 3B), não houve significância da interação e dos efeitos, independentes de clone e regime hídrico.

Conforto (2008), estudando as respostas fisiológicas de duas cultivares enxertadas de seringueira (“RRIM 600” e “GT 1”), sob déficit

hídrico, verificou que, após a suspensão do estresse, houve uma queda acentuada na concentração de CO<sub>2</sub> e retomada das trocas gasosas, associados à abertura estomática.

Neste trabalho, a reirrigação permitiu rápida recuperação dos clones de eucalipto, demonstrando boa plasticidade fisiológica, quando submetidos à deficiência hídrica. Este resultado indica a importância de um eficiente controle estomático, a fim de manter elevada a concentração de CO<sub>2</sub> intercelular.

## 5 - CONCLUSÕES

Os clones apresentaram diferenças entre si, em relação à altura e diâmetro de colo, independentemente do regime hídrico, destacando-se as plantas do clone VM01 com maior taxa de crescimento.

As plantas reirrigadas apresentaram recuperação em todas as características avaliadas e a reirrigação promoveu retomada de crescimento, expresso em termos de altura, diâmetro e área foliar.

Em relação às características fisiológicas, os clones de eucalipto demonstraram boa plasticidade fisiológica.

A retomada da irrigação permitiu rápida recuperação das condições hídricas das plantas, no que se refere ao potencial hídrico foliar e ao teor relativo de água, bem como recuperação das trocas gasosas.

Independente do regime hídrico, os clones apresentaram desempenhos similares entre si. Contudo, o clone VM01 (*E. urophylla* x *E. camaldulensis*) se sobressaiu em relação aos demais, por apresentar maior crescimento em altura e diâmetro e maiores taxas fotossintéticas.

## REFERÊNCIAS

ABRAF, **Anuário Estatístico da ABRAF**: ano base 2010/ABRAF. Brasília: DF, 2011.

ALFENAS, A. C.; ZAUZA, E. A. V.; MAFIA, R. G.; ASSIS, T. F. de. **Clonagem e doenças do eucalipto**. Viçosa: UFV, 442 p. 2004.

ALMEIDA, A. C.; SOARES, J. V. Comparação entre uso de água em plantações de *Eucalyptus grandis* e floresta ombrófila densa (Mata Atlântica) na costa leste do Brasil. **Revista Árvore**, v. 27, n. 2, p. 159-170, 2003.

ALVARENGA, R. C. BARROS, N. F., SOUZA DANTAS, C. E., LOBÃO, D. E. V. P. Efeitos do conteúdo de água no solo e da poda de raízes sobre o crescimento de mudas de eucalipto. **Revista Árvore**, v. 18, n. 2, p. 107-114, 1994.

BANZATTO, D. A.; KRONKA, S. N. **Experimentação agrícola**. Jaboticabal: Funep, 4 ed. 2006.

BARROSO, D. G. **Qualidade de mudas de *Eucalyptus camaldulensis* e *E. urophylla* produzidas em tubetes e em blocos prensados com diferentes substratos**. 1999. 77p. Universidade Estadual do Norte Fluminense, Tese (Doutorado em Produção Vegetal), Universidade Estadual do Norte Fluminense, Campo de Goytacases, Rio de Janeiro - RJ.

BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de irrigação**. 7. Ed. Viçosa: UFV, 2005, 611 p.

BLUM, A. Drought resistance, water-use efficiency, and yield potential – are they compatible, dissonant, or mutually exclusive? **Australian Journal of Agricultural Research**, v. 56, p. 1159-1168, 2005.

BORTOLINI, F.; DALL'AGNOL, M.; BISSANI, C. A. Características morfofisiológicas associadas à tolerância à seca em sete genótipos da coleção nuclear de trevo branco. **Ciência Rural**, v. 31, n. 9, p. 1632-1638, 2011.

CAIRO, P. A. R. **Curso básico de relações hídricas de plantas**. Vitória da Conquista: Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, 32 p. 1995.

CALBO, M. E. R.; MORAES, J. A. P. V. Efeitos da deficiência de água em plantas de *Euterpe oleracea* (açai). **Revista Brasileira de Botânica**, v. 23, n. 3, p. 225-230, 2000.

\_\_\_\_\_; \_\_\_\_\_. Fotossíntese, condutância estomática, transpiração e ajustamento osmótico de plantas de buriti submetidas a estresse hídrico. **Revista brasileira de Fisiologia Vegetal**, v. 9, p. 117-123, 1997.

CAMBRAIA, J. Aspectos bioquímicos, celulares e fisiológicos dos estresses nutricionais em plantas. In: NOGUEIRA, R. J. M. C. et al. (Eds.). **Estresses ambientais: danos e benefícios em plantas**. Recife: UFRPE, 2005. cap. 2, p. 95-104.

CARMO, D. N.; RESENDE, M.; SILVA, T. C. A. Avaliação da aptidão das terras para eucalipto. In: BARROS, N. F.; NOVAIS, R. F. **Relação solo-eucalipto**. Viçosa: editora Folha de Viçosa, 1990. p. 187-235.

CARNEIRO, R. L. C.; RIBEIRO, A.; HUAMAN, C. A. M.; LEITE, F. P.; SEDIYAMA, G. C.; BASTOS, N. F. Consumo de água em plantios de eucalipto: Parte 1 Determinação da condutância estomática em tratamentos irrigado e não-irrigado. **Revista Árvore**, v. 32, n. 1, p. 1-10, 2008.

CARVALHO, C. J. R. Respostas de plantas de *Schizolobium amazonicum* (*S. parahyba* var. *amazonicum*) e *Schizolobium parahyba* (*Schizolobium parahybum*) à deficiência hídrica. **Revista Árvore**, v. 29, n. 6, p. 907-914, 2005.

CAVALCANTE, U. M. T.; MAIA, L. C.; NOGUEIRA, R. J. M. C.; SANTOS, V. F. Respostas fisiológicas em mudas de maracujazeiro-amarelo (*Passiflora edulis*. Sims f. *flavicarpa* Deg) inoculados com fungos micorrízicos arbusculares e submetidos a estresse hídrico. **Acta Botanica Brasilica**, v. 3, p.379-390, 2001.

CENTRITTO, M.; LORETO, F.; CHARTZOULAKIS, K. The use of low [CO<sub>2</sub>] to estimate diffusional and nondiffusional limitations of photosynthetic capacity of salt-stressed olive saplings. **Plant, Cell and Environment**, v. 26, p. 585-594, 2003.

CHAVES, J. H.; REIS, G. G.; REIS, M. G. F.; NEVES, J. C. L.; PEZZOPANE, J. E. M.; POLLI, H. Q. Seleção precoce de clones de eucalipto para ambientes com disponibilidade diferenciada de água no solo. Relações hídricas de plantas em tubetes. **Revista Árvore**, v. 28, n. 3, p. 333-341, 2004.

\_\_\_\_\_; **Crescimento, fotossíntese e relações hídricas de clones de eucalipto sob diferentes regimes hídricos**. 2001. 125p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal), Universidade Federal de Viçosa, Viçosa - MG.

CHAVES, M. M. Effects of water deficits on carbon assimilation. **Journal of Experimental Botany**, v. 42, p. 1-16, 1991.

\_\_\_\_\_; FLEXAS, J.; PINHEIRO, C. Photosynthesis under drought and salt stress: regulation mechanisms from whole plant to cell. **Annals of Botany**, v. 103, p. 551-560, 2009.

\_\_\_\_\_; MAROCO, J. P.; PEREIRA, J. S. Understanding plant responses to drought - from genes to the whole plant. **Functional Plant Biology**, v. 30, p. 239-264, 2003.

\_\_\_\_\_; PEREIRA, J. S.; MAROCO, J.; RODRIGUES, M. L.; RICARDO, C. P. P.; OSÓRIO, M. L.; CARVALHO, I.; FARIA, T.; PINHEIRO, C. How plants cope with water stress in the field. Photosynthesis and growth. **Annals of Botany**, v. 89, p. 907-916, 2002.

CONFORTO, E. C. Respostas fisiológicas ao déficit hídrico em duas cultivares enxertadas de seringueira (“RRIM600” e “GT1”) crescidas em campo. **Ciência Rural**, v. 38, n. 3, p. 679-684, 2008.

CORNIC, G. Drought stress inhibits photosynthesis by decreasing stomatal aperture-not by affecting ATP synthesis. **Trends Plant Science**, v. 5, p. 187-188, 2000.

CORREIA, K. G.; NOGUEIRA, R. J. M. C. Avaliação do crescimento do amendoim (*Arachis hypogaea* L.) submetido a déficit hídrico. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, v. 4, n. 2, 2004.

COSTA, G. F.; MARENCO, R. A. Fotossíntese, condutância estomática e potencial hídrico foliar em árvores jovens de andiroba (*Carapa guianensis*). **Acta Amazônica**, v. 37, n. 2, p. 229-234, 2007.

DAMATTA, F.M.; RENA, A.B. Tolerância do café à seca. In: ZAMBOLIM, L. (Ed.). **Tecnologias de Produção de Café com Qualidade**. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa. p. 65-100, 2001.

DAUDET, F.; AMÉGLIO, T.; COCHARD, H.; ARCHILLA, O.; LACOINTE, A. Experimental analysis of the role of water and carbon in tree stem diameter variations. **Journal of Experimental Botany**, v. 56, n. 409, p. 135-144, 2005.

DEL QUIQUI, E.; MARTINS, S. S; SHIMIZU, J. Y. Avaliação de espécies e procedência de *Eucalyptus* spp. Para o Noroeste do Estado do Paraná. **Acta Scientiarum**, v. 23, n. 5, p. 1173-1177, 2001.

FERREIRA, M. Melhoramento e silvicultura clonal. **IPEF**, Piracicaba, n. 45, p. 22-30, 1992.

FERREIRA, C. A. G.; DAVIDE, A. C.; CARVALHO, L. R. Relações hídricas em mudas de *Eucalyptus citriodora* Hook., em tubetes, aclimatadas por tratamentos hídricos. **Revista Cerne**, Lavras, v. 5, n. 2, p. 95-104, 1999.

FLEXAS, J.; BOTA, J.; ESCALONA, J.M.; SAMPOL, B.; MEDRANO, H. Effects of drought on photosynthesis in grapevines under field conditions. **Functional Plant Biology**, v. 29, p. 461-471, 2002.

\_\_\_\_\_; RIBAS-CARBO, M.; HANSON, D.T.; BOTA, J., OTTO, B.; CIFRE, J.; MCDOWELL, N.; MEDRANO, H.; KALDENHOFF, R. Tobacco aquaporin NtAQP1 is involved in mesophyll conductance to CO<sub>2</sub> in vivo. **The Plant Journal**, v. 48, p. 427-439, 2006.

\_\_\_\_\_; RIBAS-CARBO M.; DIAZ-ESPEJO, A.; GALMÉS, J.; MEDRANO, H. Mesophyll conductance to CO<sub>2</sub>: current knowledge and future prospects. **Plant, Cell and Environment**, v. 31, p. 602-621, 2008.

GALMÉS, J.; MEDRANO, H.; FLEXAS, J. Photosynthesis and photoinhibition in response to drought in a pubescent (var. *minor*) and a glabrous (var. *palaui*) variety of *Digitalis minor*. **Environmental and Experimental Botany**, v. 60, p. 105-111, 2007.

GHANNOUM, O.; CONROY, J. P.; DRISCOLL, S. P.; PAUL, M. J.; FOYER, C. H.; LAWLOR, D. W. Nonstomatal limitations are responsible

for drought-induced photosynthetic inhibition in four C<sub>4</sub> species. **New Phytologist**, v. 159, p. 599-608, 2003.

GOMES, J. M.; COUTO, L.; LEITE, H. G.; XAVIER, A.; GARCIA, S. L. R. Parâmetros morfofisiológicos na avaliação da qualidade de mudas de *Eucalyptus grandis*. **Revista Árvore**, v. 26, n. 6, p. 665 – 664, 2002.

GOMES, R. T. **Efeito do espaçamento no crescimento e nas relações hídricas de *Eucalyptus* spp. na região de cerrado de Minas Gerais**. 1994. 85p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal), Universidade Federal de Viçosa, Viçosa - MG.

GONÇALVES, J. F. C.; SILVA, C. E. M.; GUIMARÃES, D. G. Fotossíntese e potencial hídrico foliar de plantas jovens de andiroba submetidas à deficiência hídrica e à reidratação. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 44, n. 1, p. 8-14, 2009.

GONÇALVES, M. R. **Crescimento, acúmulo de nutrientes e temperatura da copa de cinco espécies de *Eucalyptus* spp. Sob dois regimes hídricos**. 1992. 84p. Dissertação (Mestrado em fisiologia Vegetal), Universidade Federal de Viçosa, Viçosa - MG.

\_\_\_\_\_; PASSOS, C. A. M. Crescimento de cinco espécies de eucalipto submetidas a déficit hídrico em dois níveis de fósforo. **Ciência Florestal**, v. 10, n. 2, p. 145-161, 2000.

GRACIANO, E. S. A. **Estudos fisiológicos e bioquímicos de cultivares de amendoim (*Arachis hypogaea* L.) submetidas à deficiência hídrica**. 2009. 66p. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Botânica), Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife – PE.

GRASSI, G.; MAGNANI, F. Stomatal, mesophyll conductance and biochemical limitations to photosynthesis as affected by drought and leaf ontogeny in ash and oak trees. **Plant, Cell and Environment**, v. 28, p. 834–849, 2005.

HANBA, Y.T.; SHIBASAKA, M.; HAYASHI, Y.; HAYAKAWA, T.; KASAMO, K.; TERASHIMA, I.; KATSUHARA, M. Overexpression of the barley aquaporin HvPIP2;1 increases internal CO<sub>2</sub> conductance and CO<sub>2</sub> assimilation in the leaves of transgenic rice plants. **Plant and Cell Physiology**, v. 45, p. 521–529, 2004.

HE, J. X.; WANG, J.; LIANG, H. G. Effects of water stress on photochemical function and protein metabolism of photosystem II in wheat leaves. **Physiology Plantarum**, v. 93, p. 771-777, 1995.

HINCKLEY, T. M., RICHTER, H., SCHULTE, P. J. Water relations. In: RAGHAVENDRA, A. S. **Physiology of trees**, New York, p.137-162. 1991.

ISMAEL, J.J. **Efeitos da fertilização nitrogenada e da umidade do substrato na aclimação e na adaptação no campo de mudas de *Eucalyptus* spp. W.(Hill ex Maiden)**. 2001. 108p. Tese (Doutorado) – Universidade Estadual Paulista – faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias. Jaboticabal-SP.

KAISER, W. M. Effects of water deficit on photosynthetic capacity. **Physiologia Plantarum**, v. 71, p. 142-149, 1987.

KEENAN, T.; SABATE, S.; GRACIA, C. The importance of mesophyll conductance in regulating forest ecosystem productivity during drought periods. **Global Change Biology**, v. 16, p. 1019–1034, 2010.

KIM, S. H.; LIETH, J. H.; A coupled model of photosynthesis, stomatal conductance and transpiration for a rose leaf (*Rosa hybrida* L.). **Annals of Botany**. v. 91, p. 771-781, 2003.

KRAMER, P. J.; BOYER, J. S. **Water relations of plants and soils**. Academic Press, New York, 1995. 495 p.

LAMBERS, H.; CHAPIN, III F. S; PONS, T. L. **Plant physiological ecology**. Ed. 2, 2008, 610 p.

LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**. Tradução: Prado, C. H. B. A. São Carlos: Ed. Rima, 2006, p. 531.

LAUER, M. J.; BOYER, J. S. Internal CO<sub>2</sub> measured directly in leaves. Abscisic acid and low leaf water potential cause opposing effects. **Plant Physiology**, v. 98, p. 1310-1316, 1992.

LAWLOR, D. W. Limitation to photosynthesis in Water – stressed Leaves: Stomata vs. Metabolism and the Role of ATP. **Annals of Botany**, v. 89, p. 871-885, 2002.

\_\_\_\_\_; The effects of water deficit on photosynthesis. In: Smirnoff N (ed), **Environmental and plant metabolism-flexibility and acclimation**, Bios Scientific Publisher, Oxford, p.129-160, 1995.

\_\_\_\_\_; CORNIC, G. Photosynthetic carbon assimilation and associated metabolism in relation to water deficits in higher plants. **Plant, Cell and Environment**, v. 25, p. 275-294, 2002.

LEMCOFF, J. H.; GARAU, A.; GUARNASCHELLI, A.; PRYSTUPA, P. Water stress in seedlings of *Eucalyptus camaldulensis* clones and its effects on growth characteristics. In: **Iufro conference on siculture and improvement of eucalypt**, 1997, Salvador. Proceedings. Colombo: EMBRAPA – Centro Nacional de Pesquisa de Florestas, 1997.

\_\_\_\_\_; GUARNASCHELLI, A. B.; GARAU, A. M.; BASCIALI, M. E.; GUERSA, C. M. Osmotic adjustment and its use as a selection in *Eucalyptus* seedlings. **Canadian Journal of Forest Research**, Ottawa, v. 24, n. 12, p. 2404-2408. 1994.

LI, C.; BERNINGER, F.; KOSKELA, J.; SONNINEN, E. Drought responses of *Eucalyptus microtheca* provenances depend on seasonality of rainfall in their place of. **Australian Journal of Plant Physiology**, Victoria, v. 27, n. 3, p. 231-238, 2000.

LIMA, A. L. S.; DAMATTA, F. M.; PINHEIRO, H. A.; TOTOLA, M. R.; LOUREIRO, M. E. Photochemical responses and oxidative stress in two clones of *Coffea canephora* under water deficit conditions. **Environmental and Experimental Botany**, v. 47, p. 239-247, 2002.

LIMA, W. P. **Impacto ambiental do eucalipto**. São Paulo: Universidade de São Paulo, 1996, 301p.

\_\_\_\_\_; JARVIS, P.; RHIZOPOULOU, S. Stomatal responses of *Eucalyptus* species to elevated CO<sub>2</sub> concentration and drought stress. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 60, n. 2, p. 231-238, 2003.

LIU, C. H.; DICKMANN, D. I. Responses of two hybrid clones to flooding, drought, and nitrogen availability. II. Gas exchange and water relations. **Canadian Journal of Botany**, v. 71, p. 927-938, 1993.

LONGUI, B. M. **Fotossíntese e relações hídricas de espécies de *Eucalyptus* sp. submetidas a diferentes regimes hídricos.** 2007. 37p. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal), Pós-Graduação Mestrado em Agronomia, Universidade do Oeste Paulista, Presidente Prudente – SP.

LOPES, J. L. W. Irrigação em viveiros de espécies florestais. **Anais do Seminário Técnico-Científico Sobre Viveiros Florestais**, 2, Piracicaba, setembro de 2007. IPEF. Piracicaba, 2007. CD-ROM.

\_\_\_\_\_; GUERRINI, I. A.; SAAD, J. C. C.; SILVA, M. R. Efeitos da irrigação na sobrevivência, transpiração e no teor relativo de água na folha em mudas de *Eucalyptus grandis* em diferentes substratos. **Scientia Forestalis**, n. 68, p. 97-106, 2005.

\_\_\_\_\_; **Produção de mudas de *Eucalyptus grandis* W. (Hill ex. Maiden) em diferentes substratos e lâminas de irrigação.** 2004. 100p. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu-SP.

MACHADO, E. C.; MEDINA, C. L.; GOMES, M. M. A. Teor de água no substrato de crescimento e fotossíntese em laranjeira ‘Valência’. **Bragantia**, v. 58, p. 217-226, 1999.

MARTINS, M. O.; NOGUEIRA, R. J. M. C.; NETO, A. D. A.; SANTOS, M. G. Crescimento de plantas jovens de nim-indiano (*Azadirachta indica* A. Juss. – MELIACEAE) sob diferentes regimes hídricos. **Revista Árvore**, v. 34, n. 5, p. 771-779, 2010.

MEDRANO, H.; ESCALONA, J. M.; BOTA, J.; GULIAS, J.; FLEXAS, J. Regulation of photosynthesis of C3 plants in response to progressive drought: stomatal conductance as a reference parameter. **Annals of Botany**, v. 89, p. 895-905, 2002.

MENDONÇA, A. V. R.; CARNEIRO, J. G. A.; FREITAS, T. A. S.; BARROSO, D. G. Características fisiológicas de mudas de *Eucalyptus* spp submetidas a estresse salino. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 20, n. 2, p. 255-267, 2010.

MERCHANT, A.; CALLISTER, A. ARNDT, S.; TAUSZ, M.; ADAMS, M. Contrasting physiological response of six *Eucalyptus* species to water deficit. **Annals of Botany**, v. 100, n. 7, p. 1507-1515, 2007.

MIELKE, M. S., OLIVA, M. A., BARROS, N. F., PENCHEL, R. M., MARTINEZ, C. A., ALMEIDA, A. C. Stomatal control of transpiration in the canopy of a clonal *Eucalyptus grandis* plantation. **Trees: Structure and Function**, Berlin, v.13, p.152-160. 1999.

MIYAZAWA, S. I., YOSHIMURA, S., SHINZAKI, Y., MAESHIMA, M., MIYAKE, C. Deactivation of aquaporins decreases internal conductance to CO<sub>2</sub> diffusion in tobacco leaves grown under long term drought. **Functional Plant Biology**, v. 35, p. 553–564, 2008.

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

MORAIS, H.; MARUR, C.J.; CARAMORI, P.H.; RIBEIRO, A.M.A.; GOMES, J.C. Características fisiológicas e de crescimento de cafeeiro sombreado com guandu e cultivado a pleno sol. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 38, n. 10, p. 1131-1137, 2003.

MORONI, M. T.; WORLEDGE, D; BEADLE, C. L. Root distribution of *Eucalyptus nitens* and *E. globulus* in irrigated and droughted soil. **Forest Ecology and Management**, v. 177, p. 399-407, 2003.

MÜLLER-RÖBER, B.; EHRHART, T.; PLESCH, G. Molecular features of stomatal guard cells. **Journal of Experimental Botany**, v. 49, p. 293-304, 1998.

MUNDREE, S. G.; BAKER, B.; MOWLA, S.; PETERS, S.; MARAIS, S.; WILLIGEN, C. V.; GOVENDER, K.; MAREDZA, A.; MUYANGA, S.; FARRANT, J. M.; THOMSON, J. A. Physiological and molecular insights into drought tolerance. **African Journal of Biotechnology**, v. 1, p. 28-38, 2002.

MURO\_ABAD, J.I. **Método de melhoramento, assistido por marcadores moleculares, visando à obtenção de híbridos de *Eucalyptus* spp.** 2000. 74p. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento), Universidade Federal de Viçosa. Viçosa-MG.

NASCIMENTO, H. H. C.; NOGUEIRA, R. J. M. C.; SILVA, E. C.; SILVA, M. A. Análise do crescimento de mudas de jatobá (*Hymenaea courba* L.) em diferentes níveis de água no solo. **Revista Árvore**, v. 35, n. 3, p. 617-626, 2011.

NASCIMENTO, J. L. **Crescimento e assimilação de carbono em plantas jovens de *Attalea funifera* Mart. submetidas ao sombreamento e ao estresse hídrico.** 2009. 97p. Dissertação (Produção Vegetal), Universidade Estadual de Santa Cruz, Ilhéus – BA.

NGUGI, M. R.; DOLEY, D.; HUNT, M. A.; DART, P.; RYAN, P. Leaf water relations of *Eucalyptus cloeziana* and *Eucalyptus argophloia* in response to water deficit. **Tree Physiology**, v. 23, p. 335-343, 2003.

NI, B.; PALLARDY, S. G. Stomatal and non stomatal limitation to net photosynthesis in seedlings of woody angiosperms. **Plant Physiology**, v. 99, p. 1502-1508, 1992.

NOGUEIRA, R. J. M. C.; ALBUQUERQUE, M. B. de; SILVA, E. C. da. Aspectos ecofisiológicos da tolerância à seca em plantas da caatinga. In: NOGUEIRA, R. J. M. C.; ARAÚJO, E. DE L.; WILLADINO, L. G.; CAVALCANTE, U. M. T.; (Ed.). **Estresses ambientais: danos e benefícios em plantas.** Recife: UFRPE, Imprensa Universitária, 2005. p.22-31.

NUNES, C. M. J. **Caracterização da resposta ao déficit hídrico de linhas transgênicas de *Medicago trunculata* cv. Jemalong.** 2007. 64p. Dissertação (Mestrado em Biologia Celular e Biotecnologia), Universidade de Lisboa, Lisboa – Portugal.

OLIVEIRA, M. A. J. O, BOVI, M. L. A.; MACHADO, E. C.; GOMES, M. M. A. G.; HEBERMANN, G.; RODRIGUES, J. D. Fotossíntese, condutância estomática e transpiração em pupunheira sob deficiência hídrica. **Scientia Agricola**, v. 59, p. 59-63, 2002.

OMETTO, J.C. Bioclimatologia Vegetal. São Paulo: **Ceres**, 1981. 400 p.

OSÓRIO, J.; OSÓRIO, M. L.; CHAVES, M. M.; PEREIRA, J. S. Water deficits are more important in delaying growth than in changing patterns of carbon allocation in *Eucalyptus globulus*. **Tree Physiology**, Victoria, v.18, n. 6, p. 363-373, 1998.

PAIVA, A. S.; FERNANDES, E. J.; RODRIGUES, T. J. D.; TURCO, J. E. P. Condutância estomática em folhas de feijoeiro submetido a diferentes regimes de irrigação. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 25, n. 1, p. 161-169, 2005.

PALLARDY, S. G. **Physiology of woody plants**. 3 ed. San Diego, Elsevier / Academic Press, 2008. 454 p.

PARRY, M. A. J.; ANDRALOJC, P. J.; KHAN, S. LEA, P. J.; KEYS, A. J. Rubisco Activity: Effects of Drought Stress. **Annals of Botany**, v. 89, p. 833-839, 2002.

PASSIOURA, J. The drought environment: physical, biological and agricultural perspectives. **Journal of Experimental Botany**, v. 58, p. 113-117, 2007.

PEAK, D.; WEST, J. D.; MESSINGER, S. M.; MOTT, K. A. Evidence for complex, collective dynamics and emergent, distributed computation in plants. **PNAS**, v. 101, n. 4, p. 918-922, 2004.

PEEVA, V., CORNIC, G. 2009. Leaf photosynthesis of *Haberlea rhodopensis* before and during drought. **Environmental and Experimental Botany**, v. 65, n. 2-3, 2009.

PERÇANHA, A. L. **Biometria, relações hídricas e trocas gasosas do coqueiro anão verde em função da compactação, lâmina de irrigação e classe de solo**. 2008. 78p. Dissertação (Mestrado em Produção vegetal) - Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Rio de Janeiro.

PEREIRA, M. R. R. **Comportamento fisiológico e morfológico de clones de *Eucalyptus* sp. w. (hill ex. maiden) submetidos a diferentes níveis de água no solo**. 2006. 69p. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem), Faculdade de Ciências Agrônomicas, Botucatu – SP.

\_\_\_\_\_; KLAR, A. E.; SILVA, M. R.; SOUZA, R. A.; FONSECA, N. R. Comportamento fisiológico e morfológico de clones de *Eucalyptus urograndis* submetidos a diferentes níveis de água no solo. **Irriga**, v. 11, n. 4, p. 518-531, 2006.

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

PIMENTEL, C. Relações hídricas em dois híbridos de milho sob dois ciclos de deficiência hídrica, **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 34, n. 11, p. 2021-2027, 1999a.

\_\_\_\_\_; SARR, B.; DIOUF, O.; ABBOUD, A. C. de S.; MACAULEY, H. R. Effects of irrigation regimes on the water status of cowpea cultivated in the field. **Physiology and Molecular Biology of Plants**, v. 5, p. 153-159, 1999b.

PRADO, C. H. B. A; PASSOS, E. E. M.; MORAES, J. A. P. V. Photosynthesis and water relations of six tall genotypes of *Cocos nucifera* in wet and dry seasons. **South African Journal of Botany**, v. 67, p.169-176, 2001.

PRYOR, L. D.; WILLIAMS, E. R.; GUNN, B. V. A morphometric analysis of *Eucalyptus urophylla* and related taxa with descriptions of two new species. **Australian Systematic Botany**, v. 8, p. 57-70, 1995.

QUEIROZ, C. G. S.; GARCIA, Q. S.; LEMOS FILHO, J. P. Atividade fotossintética e peroxidação de lipídios de membrana em plantas de aroeira-do-sertão sob estresse hídrico e após reidratação. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, v. 14, p. 59-63, 2002.

RAMOS, A.; BOVI, M. L. A.; FOLEGATTI, M. V.; DIOTTO, A. V. Efeitos da irrigação sobre a produção de palmito da pupunheira. **Horticultura Brasileira**, v.22, p.734-739, 2004.

REIS, A. R.; FURLANI JUNIOR, E.; BUZETTI, D.; ANDREOTTI, M. Metodologia e técnicas experimentais diagnóstico da exigência do cafeeiro em nitrogênio pela utilização do medidor portátil de clorofila. **Bragantia**, v. 65, n. 1, p. 163-171, 2006.

REIS, G. G.; REIS, M. G. F. Fisiologia da brotação do eucalipto com ênfase nas suas relações hídricas. **Série Técnica IPEF**, v. 11, n. 30, p. 9-22, 1997.

\_\_\_\_\_; REIS, M. G. F.; BERNARDO, A. L.; MAESTRI, M.; REGAZZI, A. J. GARCIA, N. C. P. Efeito do tempo de estocagem de mudas de *Eucalyptus* produzidas em tubetes sobre a produção de biomassa após o transplante. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 15, n. 2, p. 103-111. 1991.

\_\_\_\_\_; REIS, M. G. F.; FONTAN, I. C. I.; MONTE, M. A.; GOMES, A. N.; OLIVEIRA, C. H. R. Crescimento de raízes e da parte aérea de clones de híbridos de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* e de *Eucalyptus camaldulensis* x *Eucalyptus* spp submetidos a dois regimes de irrigação no campo. **Revista Árvore**, v. 30, n. 6, p. 921-931, 2006.

RHODENBAUGH, E. G., PALLARDY, S. G. Water stress, photosynthesis and early growth patterns of cuttings of three *Populus* clones. **Tree Physiology**, Victoria, v.13, n.3, p.213-226. 1993.

ROCHA, A. M. S. **Estresse hídrico e trocas de CO<sub>2</sub> gasoso e vapor d'água em plantas jovens envasadas de *Stryphnodendron adstringens*** (Mart.) **coville**. 1994. 112p. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de São Carlos, São Carlos-SP.

RODRIGUES, S. B. S. **Análise do uso de água em unidades de produção de mudas de eucalipto**. 2007. 106p. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola), Universidade Federal de Viçosa. Minas Gerais-MG.

SALLA, L.; RODRIGUES, J. C.; MARENCO, R. A. Teores de clorofila em árvores tropicais determinados com o SPAD-502. **Revista Brasileira de Biociências**, Porto Alegre, v. 5, n. 2, p. 159-161, 2007.

SANCHES, R.F.E.; CARVALHO, M.A.M; SILVA, E.A. Influência do déficit hídrico nas relações hídricas, fotossíntese e no crescimento inicial de *Bauhinia forficata* Link. In: 18º Reunião Anual do Instituto de Botânica. **Anais...2011**.

SANT' ANNA, H. L. S. **Aspectos fisiológicos de variedades de citros submetidas à deficiência hídrica progressiva**. 2009. 84p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Curso de Pós-Graduação em Ciências Agrárias, Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Cruz das Almas - BA.

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.

SASSE, J. R., SANDS, R., WHITEHEAD, D., KELLIHER, F. M. Comparative responses of cuttings and seedlings of *Eucalyptus globulus* to water stress. **Tree Physiology**, v. 16, p. 287- 294, 1996.

SCHIMPL, F. C.; FERREIRA, M. J.; JUSTINO, G. C.; VERA, S. A. A.; SOUZA, C. S. R.; GONÇALVES, J. F. C. Crescimento, características fotossintéticas e potencial hídrico foliar de plantas jovens de castanha-da-Amazônia submetidas à deficiência hídrica e reidratação. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE FISILOGIA, **Anais...**Búzios-RJ, 2011.

SCHOLANDER, P. F.; HAMMEL, H. T.; HEMINGSSEN, E. A.; BRADSTREET, E. D. Hydrostatic pressure and osmotic potentials in leaves of mangroves and some other plants. **Proceedings of the National Academy Science**, v. 51, p. 119-125, 1965.

SCHUMACHER, M. V.; CALIL, F. N.; VOGEL, H. L. M. **Silvicultura Aplicada**. Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, 2005. 120p.

SERRAJ, R.; SINCLAIR, T. R. Osmolyte accumulation: can it really help increase crop yield under drought conditions?. **Plant, Cell and Environment**, v. 25, p. 333-341, 2002.

SILVA, E. C.; NOGUEIRA, R. J. M. C.; AZEVEDO NETO, A. D.; SANTOS, V. F. Comportamento estomático e potencial da água da folha em três espécies lenhosas cultivadas sob estresse hídrico. **Acta Botanica Brasilica**, v. 17, p. 231-246, 2003.

SILVA, J. C.; MATOS, J. L. M. A madeira de eucalipto na indústria moveleira. **Revista da Madeira**, Curitiba, n. 70, p. 36-40, 2003.

SILVA, W.; SEDIYAMA, T.; SILVA, A. A.; FERREIRA, F. A. Condutância estomática de *Eucalyptus citriodora* e *E. grandis*, em resposta a diferentes níveis de água no solo e de convivência com *Brachiaria brizantha* Stapf. **Bragantia**, v. 57, n. 2, 1998.

SILVA, M. A. V.; NOGUEIRA, R. J. M. C.; OLIVEIRA, A. F. M.; SANTOS, V. F. Resposta estomática e produção de matéria seca em plantas jovens de aroeira submetidas a diferentes regimes hídricos. **Revista Árvore**, v. 32, n. 2, p. 335-344, 2008.

SILVA, E. C.; SILVA, M. F. A.; NOGUEIRA, R. J. M. C.; ALBUQUERQUE, M. B. Growth evaluation and water relations of *Erythrina velutina* seedlings in response to drought stress. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, v. 22, n. 4, p. 225-233, 2010.

SILVA, M. R. **Caracterização morfológica, fisiológica e nutricional de mudas de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden submetidas a diferentes níveis de estresse hídrico durante a fase de rustificação.** 1998. 105 f. Dissertação (Mestrado e Silvicultura) - Universidade do Federal do Paraná, Curitiba, 1998.

\_\_\_\_\_, **Efeitos do Manejo Hídrico e da Aplicação de Potássio na Qualidade de Mudas de *Eucalyptus grandis* W. (Hill ex. Maiden).** 2003. 116 p. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Estadual de São Paulo (UNESP), Campus Botucatu-SP.

\_\_\_\_\_; KLAR, A. E.; PASSOS, J. R. Efeitos do manejo hídrico e da aplicação de potássio nas características morfofisiológicas de mudas de *Eucalyptus grandis* W. (Hill ex. Maiden). **Irriga**, v.9, n.1, p.31–40, 2004.

SILVEIRA, R. L. V. A.; HIGASHI, E. N.; SGARBI, F.; MUNIZ, M. R. A. **Seja o doutor do seu Eucalipto**, Arquivo do agrônomo da Potafos, n°12. N° 93, 2001.

SOUZA, A. F.; ROCHA JÚNIOR, E. O.; LAURA, V. A. Índice SPAD para a estimativa do nitrogênio foliar em mudas de oito espécies florestais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE FISILOGIA, **Anais...**Fortaleza, 2009.

SOUZA, C. R.; SOARES, A. M.; REGINA, M. A. Trocas gasosas de mudas de videira, obtidas por dois porta-enxertos, submetidas à deficiência hídrica. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 36, n. 10, p. 1221-1230, 2001.

SOUZA, R. P.; MACHADO, E. C.; SILVA, J. A. B.; LAGO, A. M. M. A.; SILVEIRA, J. A. G. Photosynthetic gas exchange, chlorophyll fluorescence and some associated metabolic changes in cowpea (*Vigna unguiculata*) during water stress and recovery. **Environmental and Experimental Botany**, n. 51, p. 45-56, 2004.

STAPE, J. L. A pesquisa silvicultural e a visão socioambiental são imprescindíveis para os novos clusters florestais. **Revista Opiniões**, Ribeirão Preto, p. 37, 2008.

STONEMAN, G. L., TURNER, N. C., DELL, B. Leaf growth, photosynthesis and tissue water relations of greenhouse-grown *Eucalyptus marginata* seedlings in response to water deficits. **Tree Physiology**, Victoria v. 14, n. 6, p. 633-646, 1994.

STRECK, N. A. A generalized nonlinear air temperature response function for node appearance rate in muskmelon (*Cucumis melo* L.) **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 10, n. 1, p. 105–111, 2002.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**. 4 ed. Porto Alegre: Artmed, 2009, p. 719.

TARDIEU, F. Plant tolerance to water deficit: physical limits and possibilities for progress. **Comptes Rendus Geoscience**. Paris, v. 337, n. 1-2, p. 57-67, 2005.

\_\_\_\_\_; Drought perception by plants. Do cells of droughted plants experience water stress? In: Belhassen E (Ed.). **Drought Tolerance in Higher Plants: Genetical, Physiological and Molecular Biological Analysis**. Dordrecht, Kluwer Academic Publishers. p. 15-26, 1997.

TATAGIBA, S. D. **Crescimento inicial, trocas gasosas e status hídrico de clones de eucalipto sob diferentes regimes de irrigação**. Universidade Federal do Espírito Santo. 2006. 128p. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal), Universidade Federal do Espírito Santo, Espírito Santo - ES.

\_\_\_\_\_; PEZZOPANE, J. E. M.; REIS, E. F. Avaliação do crescimento e produção de clones de *Eucalyptus* submetidos a diferentes manejos de irrigação. **Cerne**, v. 13, n. 1, p. 1-9, 2007a.

\_\_\_\_\_; PEZZOPANE, J. E. M.; REIS, E. F.; DARDENGO, M. C. J. D.; EFFGEN, T. A. M. Comportamento fisiológico de dois clones de *Eucalyptus* na época seca e chuvosa. **Cerne**, v. 13, p. 149-159, 2007b.

\_\_\_\_\_; PEZZOPANE, J. E. M.; REIS, E. F. Relações hídricas e trocas gasosas na seleção precoce de clones de eucalipto para ambientes com diferenciada disponibilidade de água no solo. **Floresta**, v. 38, p. 387-400, n. 2, 2008.

\_\_\_\_\_; PEZZOPANE, J. E. M.; REIS, E. F.; PENCHEL, R. M. Desempenho de clones de eucalipto em resposta a disponibilidade de água no substrato. **Revista Engenharia na agricultura**, v. 17, n. 3, p. 179-189, 2009.

TEZARA, W.; MITCHELL, V.; DRISCOLL, S. P.; LAWLOR, D. W. Effects of water deficit and its interaction with CO<sub>2</sub> supply on the

biochemistry and physiology of photosynthesis in sunflower. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 53, n. 375, p. 1781-1791, 2002.

TUOMELA, K. Leaf water relations in six provenances of *Eucalyptus microtheca*: a greenhouse experiment. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 92, n. 1-3, p. 1-10, 1997.

VELLINI, A. L. T. T.; PAULA, N. F.; ALVES, P. L. C. A.; PAVANI, L. C.; BONINE, C. A. V.; SCARPINATI, E. A.; PAULA, R. C. Respostas fisiológicas de diferentes clones de eucalipto sob diferentes regimes de irrigação. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 32, n. 4, p. 651-663, 2008.

\_\_\_\_\_; **Desempenho e divergência genética entre clones de *Eucalyptus* spp. em diferentes regimes de irrigação em casa de vegetação**. 2007. 95 p.. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento de Plantas), UNESP, Campus de Jaboticabal. Jaboticabal-SP.

VERSLUES, P. E.; AGARWAL, M.; KATIAR-AGARWAL, S.; ZHU, J.; ZHU, J-K. Methods and concepts in quantifying resistance to drought, salt and freezing, abiotic stresses that affect plant water status. **The Plant Journal**, v. 45, p. 523-539, 2006.

VILLAGRA, P. E.; CAVAGNARO, J. B. Water stress effects on the seedling growth of *Prosopis argentina* and *Prosopis alata*. **Journal of Arid Environments**, v. 64, p. 390-400, 2006.

WARREN, C. R. Soil water deficits decrease the internal conductance to CO<sub>2</sub> transfer but atmospheric water deficits do not. **Journal of Experimental Botany**, v. 59, p. 327-334, 2008.

WEATHERLEY, P. E. Studies in the water relations of the cotton plant. I. The field measurement of water deficit in leaves. **New Phytologist**, v. 49, p. 81-97, 1950.

XAVIER, A.; COMÉRIO, J. Microestaquia: uma maximização da micropropagação de *Eucalyptus*. **Revista Árvore**, v. 20, n. 1, p. 9-16, 1996.

XAVIER, T. M. T.; PEZZOPANE, J. E. M.; PENCHEL, R. M.; CALDEIRA, M. V. W.; KLIPPEL, V. H.; TOLEDO, J. V.; SILVA, M. R. Crescimento do eucalipto sob diferentes níveis de déficit hídrico. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE FISILOGIA, **Anais...**Búzios-RJ, 2011.

ZHU, X. G.; LONG, S. P.; ORT, D. R. Improving photosynthetic efficiency for greater yield. **Annu Review Plant Biology**, v. 61, p. 235–261, 2010.

## **APÊNDICE**

## APÊNDICE A – Tabelas de 1 a 3

**Tabela 1A** – Resumo da análise de variância para altura de plantas (H), diâmetro de colo (D), área foliar (AF) e relação de massa seca de raiz/parte aérea (MSR/PA) de plantas jovens de quatro clones de eucalipto, sob dois regimes hídricos.

FV	GL	QUADRADOS MÉDIOS			
		H	D	AF	MSR/PA
Regime hídrico (RH)	1	1059,150*	0,09570312*	241819000*	0,0009031250
Clone (CL)	3	245,1402*	0,006361458	4123828*	0,00000312500
RH*CL	3	16,34244	0,001244792	8606094*	0,00000312500
Resíduo	24	6,861692	0,002434375	1303690	0,00002187500
CV (%)		3,05	4,64	21,68	0,47

\*Significativo pelo teste F, a 5% de probabilidade.

**Tabela 2A** – Resumo da análise de variância para potencial hídrico ( $\Psi_w$ ), teor relativo de água (TRA) e intensidade da coloração verde (índice SPAD) de plantas jovens de quatro clones de eucalipto, sob dois regimes hídricos.

FV	GL	QUADRADOS MÉDIOS		
		$\Psi_w$	TRA	SPAD
Regime Hídrico (RH)	1	2,053333*	1362,942*	0,0264500
Clone (CL)	3	0,00507912*	53,25143*	80,18869*
RH*CL	3	0,00285261*	8,865333	2,933058
Resíduo	24	0,000254286	5,382825	6,270910
CV (%)		0,81	3,12	5,81

\*Significativo pelo teste F, a 5% de probabilidade.

**Tabela 3A** – Resumo da análise de variância para fotossíntese líquida (*A*), transpiração (*E*), condutância estomática (*G<sub>s</sub>*) e concentração interna de CO<sub>2</sub> (*C<sub>i</sub>*) de plantas jovens de quatro clones de eucalipto, sob dois regimes hídricos.

FV	GL	QUADRADOS MÉDIOS			
		<i>A</i>	<i>E</i>	<i>G<sub>s</sub></i>	<i>C<sub>i</sub></i>
Regime hídrico (RH)	1	2,987015*	31,32361*	0,1326125*	0,0579233*
Clone (CL)	3	0,0119372*	0,1413250*	0,00457916*	0,0579233
RH*CL	3	0,0246936*	0,1334542*	0,00457916*	0,00129530*
Resíduo	24	0,0007415	0,0154354	0,000025	0,00007585
CV (%)		1,75	7,38	4,46	0,20

\*Significativo pelo teste F, a 5% de probabilidade.

## APÊNDICE B – Tabelas de 1 a 3

**Tabela 1B** – Resumo da análise de variância para altura (*H*), diâmetro de colo (*D*) e área foliar (*AF*) de plantas jovens de quatro clones de eucalipto, sob irrigação permanente e reirrigação, após período de estresse de 20 dias.

FV	GL	QUADRADO MÉDIO		
		<i>H</i>	<i>D</i>	<i>AF</i>
Regime Hídrico (RH)	1	3806,281*	0,8320500*	222742200*
Clone (CL)	3	342,7630*	0,02325833*	21293070*
RH*CL	3	32,25521	0,01030833	4959656*
Resíduo	24	41,72786	0,004883333	1468462
CV (%)		6,43	5,16	13,63

\*Significativo pelo teste F, a 5% de probabilidade.

**Tabela 2B** – Resumo da análise de variância para potencial hídrico ( $\Psi_w$ ) e teor relativo de água (TRA) de plantas jovens de quatro clones de eucalipto, sob irrigação permanente e reirrigação, após período de estresse de 20 dias.

FV	GL	QUADRADO MÉDIO	
		$\Psi_w$	TRA
Regime Hídrico (RH)	1	0,06125000	8,914753
Clone (CL)	3	0,5020833	53,91891*
RH*CL	3	0,06541667	7,981570
Resíduo	24	0,1922917	6,183168
CV (%)		9,98	2,86

\*Significativo pelo teste F, a 5% de probabilidade.

**Tabela 3B** – Resumo da análise de variância para fotossíntese ( $A$ ), transpiração ( $E$ ), condutância estomática ( $G_s$ ) e concentração interna de  $CO_2$  ( $C_i$ ) de plantas jovens de quatro clones de eucalipto, sob irrigação permanente e reirrigação, após período de estresse de 20 dias.

FV	GL	QUADRADO MÉDIO			
		$A$	$E$	$G_s$	$C_i$
Regime Hídrico (RH)	1	229,4618*	8,967613*	0,07801250*	8,00000
Clone (CL)	3	5,533728*	0,4871208	0,003604167	244,5417
RH*CL	3	2,131470	0,1901542	0,001387500	207,7500
Resíduo	24	1,104736	0,1970229	0,001529167	82,00000
CV (%)		9,76	17,85	26,62	5,18

\*Significativo pelo teste F, a 5% de probabilidade.