

**FOTOSSÍNTESE E RELAÇÕES HÍDRICAS DE ESPÉCIES DE  
*Eucalyptus sp.* SUBMETIDAS A DIFERENTES REGIMES HÍDRICOS**

**BRIGIANE MARGONARI LONGUI**

**FOTOSSÍNTESE E RELAÇÕES HÍDRICAS DE ESPÉCIES DE  
*Eucalyptus sp.* SUBMETIDAS A DIFERENTES REGIMES HÍDRICOS**

**BRIGIANE MARGONARI LONGUI**

Dissertação apresentada a Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação, Universidade do Oeste Paulista, para obtenção do título de Mestre em Agronomia.

Área de Concentração: Produção Vegetal

Orientador: Prof. Dr. Gustavo Maia Souza.

634.973  
L858f

Longui, Brigiane Margonari.

Fotossíntese e relações hídricas de espécies de *Eucalyptus sp.* Submetidas a diferentes regimes de reposição hídrica/ Brigiane Margonari Longui. – Presidente Prudente: [s.n.], 2007.

34 f.

Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade do Oeste Paulista – UNOESTE: Presidente Prudente – SP, 2007.

Bibliografia

1. Eucalipto -- Deficiência hídrica. 2. Eucalipto -- Fotossíntese. I. Título.

**BRIGIANE MARGONARI LONGUI**

**FOTOSSÍNTESE E RELAÇÕES HÍDRICAS ESPÉCIES DE *Eucalyptus*  
*sp.* SUBMETIDAS A DIFERENTES REGIMES HÍDRICOS**

Dissertação apresentada a Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação, Universidade do Oeste Paulista, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Agronomia.

Presidente Prudente, 21 de Dezembro 2007.

**BANCA EXAMINADORA**

---

Prof. Dr. Gustavo Maia Souza  
UNOESTE – Universidade do Oeste Paulista

---

Prof. Dr. Nelson Barbosa Machado Neto  
UNOESTE – Universidade do Oeste Paulista

---

Dr. Rafael Vasconcelos Ribeiro  
(IAC) Instituto Agronômico de Campinas.

## **AGRADECIMENTOS**

*Ao Professor. Dr. Gustavo Maia Souza, professor e orientador com quem aprendi conceitos fundamentais para o desenvolvimento deste trabalho que desde a primeira aula de Fisiologia Vegetal me despertou o interesse em estudar e aprofundar os conhecimentos na área, e que rapidamente me abriu portas encaminhando para o tema a ser tratado nesta dissertação. Por sua dedicação e disponibilidade revelada ao longo deste 1 ano e 10 meses, por suas críticas e sugestões relevantes feitas durante essa orientação.*

*À Prof. Dr. Patrícia Angélica Alves Marques pelos seus valiosos esclarecimentos sobre o manejo da irrigação com o mini- tanque classe A, pela sua generosidade desde o nosso primeiro contato, bem como pela disponibilidade e amizade desde então demonstradas.*

*Ao Professor Dr. Nelson Barbosa Machado Neto pelas críticas e sugestões importantes feitas ao trabalho, além de incentivo, carinho e ensinamentos; meus especiais agradecimentos.*

*Ao amigo especial Agnaldo Massao Sato, por sua amizade e dedicação não medindo esforços e sempre se mostrando pronto a ajudar nos momentos de dificuldade.*

*Ao amigo Rérold Samuel Firmano, pela sinceridade de sua amizade que sempre compartilhou entusiasticamente de várias idéias e por estar sempre disposto a ajudar.*

*Aos colegas de laboratório, Maria Teresa Portes, Daniel Santa Cruz Damireli, Willyam Vieira, que estiveram sempre apoiando e ajudando para a*

*realização deste trabalho, pessoas sem as quais uma grande parte de meus trabalhos não seria possível.*

*Aos colegas de Mestrado Rita Nunes, Miléia Ricci Picolo, Lineu Bernadi Filho, Isa Luchini, Renato Tadeu Guerreiro, Leila Pavanelli, pela relação pessoal que criamos e que espero que não se perca, pelo apoio nos momentos bons e menos bons e por sua amizade.*

*Aos meus pais, pelo estímulo e apoio incondicional, desde a primeira hora, pela paciência com que sempre me ouviram e a sensatez que sempre me incentivaram, fazendo com que meus sonhos também se tornassem seus sonhos.*

*Ao meu namorado Eleandro pelo incentivo, pelo apoio, pela paciência e compreensão revelados ao longo desses meses.*

*Aos amigos das antigas, que deixei um pouco de lado, mas que estiveram constantemente em meus pensamentos.*

*Agradecimentos também a todos os professores da UNOESTE pela força ensinamentos e companheirismo prestados.*

## DEDICATÓRIA

*Dedico esta dissertação aos meus pais Eurides Camporezi Longui e Maria de Lourdes Margonari Longui, que são meus verdadeiros mestres, modelos de perseverança, paciência, dedicação, parceria e ética.*

*"Antes de sentirnos que somos bons mestres, estejamos  
seguros de que somos bons estudantes."*

PITÁGORAS



## RESUMO

### Fotossíntese e relações hídricas de espécies de *Eucalyptus* sp. submetidas a diferentes regimes hídricos

A crescente demanda de produtos florestais tem levado as empresas brasileiras que realizam reflorestamento com espécies do gênero *Eucalyptus* a uma busca por maior produtividade devido a sua utilização para celulose, papel e carvão. Um dos principais fatores limitante da produção agrícola é falta de água, que inibe vários processos fisiológicos nas plantas. Este trabalho teve por objetivo estudar os efeitos da deficiência hídrica sobre a fisiologia de plântulas de quatro espécies de *Eucalyptus*: *E. citriodora*, *E. pellita*, *E. urograndis* e *E. grandis*, visando obter informações sobre a susceptibilidade das plantas ao déficit hídrico na fase inicial de seu desenvolvimento que é um período crítico para a implantação de povoamentos florestais. As plântulas foram expostas a três regimes de irrigação, baseados na evaporação de um mini-tanque classe A com reposição de 100, 50 e 25 % da lâmina de água, das quais foram avaliadas em relação as trocas gasosas, fluorescência da clorofila *a*, conteúdo de clorofila e potencial de água foliar. Observou-se que as espécies de *E.pellita* e *E. citriodora* foram as mais tolerantes ao déficit hídrico imposto pelo regime de 50% de reposição da lâmina de água. Entretanto o regime com 25% afetou as espécies de forma similar.

**Palavras-chave:** Deficiência hídrica, eucalipto, fotossíntese.

## ABSTRACT

### Photosynthesis and water relations of *Eucalyptus* sp. different water regimes

The growing demand for forest products has led Brazilian reforestation companies that work out reforestation with Eucalyptus to a search for higher productivity due to their use for cellulose, paper and charcoal. One of the most limiting factors for agricultural production is the water deficit, which inhibits several physiological processes in plants. This work was aimed to study the effects of water deficit on the physiology of seedlings of four species *Eucalyptus*: *E. citriodora*, *E. pellita*, *E. urograndis* e *E. grandis*, looking for information about plants susceptibility at water deficit in the initial phase their of development with is a critical period for the installation of forest. The seedlings were exposed to three irrigation schemes, based on class A evaporation pan with replacement of 100, 50 and 25% of the water level, which were evaluated by gas exchange, chlorophyll fluorescence and content leaf water potential. It was observed that *E. pellita* and *E. citriodora* were more tolerant to level water imposed by the regime of 50% of replacement of the water depth. Meanwhile the regime with 25% effected the species so similar.

**Key-words:** Water depth, eucalyptus, photosynthesis.

## LISTA DE SIGLAS

A	- Assimilação de CO <sub>2</sub> ;
C <sub>i</sub>	- Concentração intercelular de CO <sub>2</sub> ;
EIUA	- Eficiência intrínseca do uso da água;
EUA	- Eficiência do uso da água;
ETR	- Taxa de transporte de elétrons;
(F <sub>v</sub> /F <sub>m</sub> )	- Eficiência quântica potencial do FSII;
(ΔF/F <sub>m</sub> ' )	- Eficiência quântica efetiva do FSII;
g <sub>s</sub>	- Condutância estomática;
NPQ	- Coeficiente de extinção não-fotoquímico da fluorescência.

## SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO .....	12
2 MATERIAL E MÉTODOS .....	18
3 RESULTADOS .....	21
4 DISCUSSÃO .....	27
5 CONCLUSÃO .....	29
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	30

## 1 INTRODUÇÃO

O eucalipto é natural da Austrália, pertencente à família Myrtaceae e são mais de 700 espécies arbóreas descritas. A distribuição das espécies pode variar em função das condições ambientais e climáticas, podendo ser encontradas desde regiões tropicais equatoriais até condições subtropicais e semi-áridas (LIMA, 1996). É um gênero de grande plasticidade e dispersão mundial, cresce satisfatoriamente em grande amplitude edafoclimática extrapolando as regiões de origem (BERNARDO et al., 1998).

Segundo Lima (1996), a primeira descrição deste gênero ocorreu em 1788 por L'Heriter, chegando a Europa por volta de 1774. No Brasil o gênero foi introduzido por volta do século XIX por Edmundo Navarro de Andrade, que trabalhou na Companhia Paulista de Estradas de Ferro, cujo objetivo era introduzir árvores para alimentar as caldeiras das locomotivas. Desde então, vários fatores fizeram com que o eucalipto fosse uma das espécies mais cultivadas em florestas e reflorestamentos e, com as leis dos incentivos fiscais no Brasil ao reflorestamento a partir de 1965, o plantio no Brasil aumentou de 500 mil para 3 milhões de hectares, a maior área plantada de eucalipto no mundo.

Segundo dados da SBS (2006), a área plantada de florestas para fins de produção em 2006 no Estado de São Paulo foi de 98.000 hectares, só ficando atrás do Estado de Minas Gerais com 145.000 hectares, gerando um total de 627.000 hectares em plantações no país todo.

O reflorestamento com espécies como eucalipto atinge a idade de corte entre 5 a 7 anos, assim com esse rápido crescimento e apresentando baixa exigência nutricional é de vital importância para garantir a preservação das matas nativas suprimindo a demanda crescente de matéria prima derivada dos recursos florestais (GOLFARI; CASER, 1977).

A crescente demanda de produtos florestais tem levado as empresas brasileiras que realizam reflorestamento com espécies do gênero eucalipto a uma busca por maior produtividade (GONÇALVES; PASSOS, 2000). O eucalipto no Brasil se destina basicamente a produção de celulose e papel, e ao carvão que abastece as siderúrgicas, exportando-se mais da metade de sua produção (MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA, 2003).

De acordo com o Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais, IPEF (2006), considera-se que a espécie *E. citriodora* apresenta susceptibilidade às geadas e boa resistência à deficiência hídrica. Já o *E. pellita* é uma espécie considerada apta para regiões onde não ocorrem geadas, no Brasil a espécie tem sido plantada intensivamente (BERTOLA, 2007). Na área de ocorrência natural a madeira da espécie *E. grandis* é utilizada para construções e estruturas que demandem alta resistência, apresenta relativa resistência a deficiência hídrica (IPEF, 2006). O seu híbrido com *E. urophylla*, conhecido como *E. urograndis*, é recomendado para celulose, aglomerados e chapas de fibras. Desenvolve-se melhor em solos profundos, úmidos e bem drenados, utilizados na formação de florestas clonais na região tropical do Brasil (Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel, 2006)

De acordo com Lima (1996) as críticas no que diz respeito ao eucalipto se fazem pelo fato de ser uma planta exótica, mas tal como o eucalipto, produtos de toda a nossa base alimentícia é constituído de espécies exóticas como o arroz, feijão, milho, trigo, soja, abacaxi, café entre outros. Essas críticas provêm tanto de leigos quanto de cientistas, devido ao seu grande consumo de água, mais especificamente ao seu “poder ressecador da terra”.

Existem diferentes estudos tratando o consumo de água pelo eucalipto, que por ser uma espécie de rápido crescimento, apresenta um gasto energético muito alto tendo necessidade de se hidratar, podendo consumir cerca de 360 litros de água por dia. Em solos úmidos o consumo e o crescimento florestal tendem a ser maior, onde o sistema radicular pode atingir grandes profundidades em busca de água. Por outro lado, estudos têm comprovado não haver muita diferença entre o consumo de água de diversas espécies florestais e o eucalipto. Segundo a Sociedade Brasileira de Silvicultura (SBS), o eucalipto apresenta consumo parecido com o café e menor do que o da cana de açúcar. Foi constatado ainda, que quando cultivado em condições extremas, especialmente com longos períodos de déficit hídrico no solo, algumas espécies são extraordinariamente bem sucedidas na captação de água (DOUROJEAMI, 2001).

A crescente pressão para a produção de mudas com alta qualidade exige um entendimento melhor da fisiologia, do crescimento e das relações hídricas das mudas de espécies florestais. Um aspecto de importância nesse sentido diz respeito ao conhecimento das respostas fisiológicas das mudas à diminuição da

água disponível e ao aumento do déficit de saturação de vapor atmosférico, o qual tem sido observado em muitas mudas de espécies florestais, e inclusive em mudas do gênero *Eucalyptus* (FERREIRA et al., 1999).

De acordo com Lima (1996) espécies do gênero *Eucalyptus* podem desenvolver diferentes mecanismos de resistência a seca. As espécies tolerantes à seca apresentam uma tolerância plasmática a baixos potenciais de água. Por outro lado, espécies com características de fuga à seca apresentam a capacidade de ultrapassar períodos críticos de déficit hídrico sem necessariamente reduzir significativamente seu potencial de água, e isso se deve a diversos mecanismos como sistema radicular profundo, eficiente controle estomático da transpiração, desrama das folhas etc. Essa tolerância ao estresse hídrico, varia com as diferentes espécies de eucalipto. Algumas espécies simplesmente não desenvolveram nenhuma capacidade, ou desenvolveram apenas uma capacidade limitada de controle da transpiração, sendo por isso, bastante vulneráveis ao déficit hídrico.

Plantas que se desenvolveram em solos com baixa disponibilidade de água, em geral apresentam potenciais hídricos mais baixos, o que pode afetar vários processos metabólicos como a movimentação dos estômatos, o que limita a perda de água e conseqüentemente a fixação do CO<sub>2</sub> (SCHIVALEVA et al., 2006).

Esses mecanismos eficientes visam evitar que a planta sofra desidratações letais e para isso são desenvolvidas adaptações morfológicas, rápidas respostas fisiológicas ou bioquímicas, como por exemplo o fechamento dos estômatos alterando a transpiração, um dos mecanismos de perda de calor latente, e conseqüentemente o balanço térmico da folha é influenciado, aprofundamento do sistema radicular, controle da transpiração, abscisão foliar, inibição do crescimento (KAISER, 1987; REIS; REIS, 1997; PEAK et al., 2004, SCHVALEVA, 2006).

Vários processos metabólicos nas plantas podem ser influenciados pela baixa disponibilidade de água nos solos, alguns são capazes de suportar deficiências hídricas acentuadas, sem que haja fechamento total dos estômatos, permitindo que a fixação do CO<sub>2</sub>, ocorra mesmo sob variações acentuadas no conteúdo hídrico da folha, outras promovendo o fechamento parcial ou total dos estômatos limitando a perda de água, e como conseqüência a fixação do CO<sub>2</sub>, (LEVITT, 1991; SILVA et al., 2000; CORNIC, 2000).

Déficits hídricos são os fatores que mais limitam o crescimento e a fotossíntese das plantas (SCHVALEVA et al., 2006).

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 do déficit hídrico na folha é atingido, os estômatos começam a se fechar substancialmente até quase o fechamento total. Isso tem sido observado em espécies florestais (SOUZA et al., 2004), e em diferentes condições, assim como no eucalipto.

O fechamento dos estômatos contribui notavelmente para reduzir as perdas de água durante os períodos de déficit hídrico (REIS; REIS, 1997; SILVA et al., 2000; PEAK et al., 2004). Dessa forma o funcionamento dos estômatos constitui um processo fisiológico que quando abertos permitem a assimilação de gás carbônico, e quando fechados conservam água e reduzem o risco de desidratação (CHAVES, 1991; REIS; REIS, 1997; GONÇALVES; PASSOS, 2000; SILVA et al., 2000; PEAK et al., 2004).

O valor crítico do potencial de água na folha abaixo do qual os estômatos se fecham varia de espécie para espécie (LIMA, 1996; PEAK et al., 2004). Assim à medida que a disponibilidade de água no solo diminui, a taxa de transpiração decresce como resultado do fechamento estomático, sendo um importante mecanismo de defesa que as plantas apresentam contra as perdas exageradas de água e assim, eventual morte e dessecação (KAISER, 1987; SILVA et al., 2000; TAIZ; ZEIGER, 2004).

O estresse hídrico pode causar severa inibição da fotossíntese, tanto como consequência do fechamento estomático quanto em razão de danos na estrutura do cloroplasto. O controle estomático tem sido indicado como o principal limitante da fotossíntese (KAISER, 1987; TAIZ; ZEIGER, 2004; CHAVES, 1991; CORNIC, 2000). Reduções do potencial de água foliar diminuem a abertura estomática que limita a entrada de CO<sub>2</sub> na folha, reduzindo os valores de C<sub>i</sub>, o que limita a eficiência de carboxilação da Rubisco (CORNIC, 2000). 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 RuBP ou redução na síntese de ATP (KAISER, 1987; LAWLOR, 2002; MEDRANO et al., 2002; PARRY et al., 2002).

Alterações na condutância estomática podem ser entendidas como um poderoso mecanismo fisiológico que as plantas terrestres vasculares possuem para o controle da transpiração, uma vez que as plantas perdem água principalmente quando os estômatos estão abertos. O *E. camaldulensis* é a espécie do gênero



*Eucalyptus* de controle estomático mais eficiente e mais adaptada em regiões com deficiência hídrica (LIMA,1996; REIS; REIS, 1997).

O potencial de água da folha descreve o estado energético dela, cujos gradientes explicam os fluxos da água no sistema solo-planta-atmosfera. Embora haja variação ao longo do dia, mesmo em plantas irrigadas, esse parâmetro descreve o estado hídrico da planta, e tem sido muito utilizado em estudos das relações hídricas dos vegetais (BERGONCI et al., 2000).

O potencial da água foliar de base – ou simplesmente potencial de base– corresponde à medição feita pela manhã, antes do sol nascer. Assim, essa medida deve ser tomada num horário em que o comportamento iso-hídrico (em que o potencial da água na planta permanece elevado) ou aniso-hídrico (em que diminui acentuadamente nas horas mais quentes do dia) da cultura ou planta ainda não se manifestou (BERGONCI et al., 2000).

O valor do potencial de base depende do estado hídrico do solo e da densidade e profundidade do sistema radicular. Para Ansley et al. (1992), a relação entre condutância estomática, e potencial de base sugere que a água perdida através dos estômatos durante o dia depende, primeiramente, da reidratação noturna dos tecidos vegetais.

De acordo com Lima (1996) a retirada de água do solo pelas plantas depende em primeiro lugar da configuração do sistema radicular, à medida que o solo vai se tornando mais seco o fluxo de água começa a se tornar mais difícil e a retirada da água pela transpiração tende a diminuir. Algumas espécies de eucalipto são dotadas de sistema radicular superficial, enquanto outras espécies apresentam um sistema radicular dotado de raiz pivotante e profunda. Como acontece com outras espécies florestais, a maior parte do sistema radicular de espécies de eucalipto concentram-se nas camadas superficiais do solo.

Em *E. urophylla* há uma grande variedade na arquitetura das raízes com alguns indivíduos apresentando raízes profundas e bem ramificadas e outros com raízes superficiais e deformadas. A raiz pivotante de *E. urograndis* e de *E. pellita* aumenta com a idade e com o aumento do espaçamento. (BERNARDO et al., 1998).

Estudos tiveram por objetivo estudar os efeitos da deficiência hídrica sobre a fisiologia de plântulas de quatro espécies de eucalipto: *E. citriodora*, *E. pellita*, *E. urograndis* e *E. grandis*.

Estudos visam obter informações sobre a susceptibilidade das plantas ao déficit hídrico na fase inicial de seu desenvolvimento, que é um período crítico para a implantação de povoamentos florestais. Tais resultados podem fornecer informações importantes para otimizar e estimular a silvicultura ainda insipiente do eucalipto no oeste do Estado de São Paulo que, recentemente, tem despertado o interesse de produtores rurais e empresas do setor florestal por ser uma região que oferece condições restritas às culturas agrícolas tradicionais, mas onde algumas espécies de eucalipto podem encontrar condições propícias para atingir níveis satisfatórios de produtividade.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

O material estudado neste projeto foi composto por quatro espécies de eucalipto (*Eucalyptus citriodora*, *Eucalyptus pellita*, *Eucalyptus urograndis* e *Eucalyptus grandis*) cultivados sob deficiência hídrica.

O experimento foi realizado na casa de vegetação climatizada do Campus II da UNOESTE em Presidente Prudente, SP.

Mudas de eucalipto com aproximadamente três meses de idade, obtidas como doação do viveiro comercial Pontal Flora foram transplantadas dos tubetes para vasos contendo 12 kg de solo tipo argissolo corrigido com calcário. Após 30 dias em que as plantas passaram por um período de adaptação sob irrigação constante, foi iniciado o processo de indução de deficiência hídrica. Foram utilizados três regimes de reposição hídrica baseados na evaporação de um mini tanque Classe A, onde se mede o efeito integrado da radiação solar, vento, temperatura e umidade relativa sobre a evaporação de uma superfície livre de água, onde as plantas respondem as mesmas variáveis climáticas (KLAR, 1991; DOOREMBOS; PRUITT, 1997). No primeiro regime, considerado como o controle, houve 100% de reposição da lâmina de água, outro com 50% e o último com 25% de reposição da lâmina de água, representando os tratamentos sob deficiência hídrica.

As leituras do mini tanque Classe A, foram realizadas diariamente e a partir destas são calculadas as lâminas diárias de irrigação para reposição de água (equação 1) baseadas em frações de evaporação do Tanque Classe A (ECA) sendo:

$$hi = \frac{ECA \cdot kp \cdot kc \cdot S}{ef} \quad (01)$$

Sendo hi- lâmina de irrigação (L); ECA- evaporação do tanque Classe A (mm); Kp- coeficiente do tanque Classe A (0,80), Kc- coeficiente da cultura (1,0); S- área do vaso (706,8cm<sup>2</sup>), ef- eficiência da irrigação.

O experimento foi conduzido em um arranjo inteiramente casualizado, num esquema fatorial 4 x 3, com 12 tratamentos em 3 repetições. Duas vezes por

semana os vasos foram re-arranjados aleatoriamente para diminuir o efeito de fatores ambientais não considerados neste estudo.

As plantas foram avaliadas considerando parâmetros de trocas gasosas e fluorescência da clorofila *a*, conteúdo de clorofila e potencial de água foliar. Estas avaliações foram realizadas após 60 dias de cultivo nas diferentes reposição de lâmina de água.

Medidas da fluorescência da clorofila foram feitas das 9:00 as 11:00 horas com um fluorômetro portátil de luz modulada (modelo FMS-2, Hansatech, UK). Os parâmetros determinados foram: eficiência quântica potencial ( $F_v/F_m$ ) e efetiva ( $\Delta F/F_m'$ ) do FSII (GENTY et al., 1989), coeficiente de extinção não-fotoquímico [NPQ =  $(F_m - F_m')/F_m'$ ] da fluorescência (BILGER et al., 1995), e a taxa de transporte de elétrons ( $ETR = DFFF * \Delta F/F_m' * 0,5 * 0,84$ , onde DFFF é a densidade de fluxo de fótons fotossintéticos) (KRALL; EDWARDS, 1992). Os valores de  $F_m$  e  $F_v$  indicam, respectivamente, as fluorescências máxima e variável, determinadas a pós 30 minutos de adaptação ao escuro,  $F_m'$  e  $F_s$  são, respectivamente, a fluorescência máxima e no estado de equilíbrio dinâmico na presença de luz, e  $F_0'$  representa a fluorescência basal após a excitação do FSI.

As trocas gasosas (assimilação de  $CO_2$ ,  $A$ , condutância estomática,  $g_s$ , transpiração,  $E$ , e concentração intercelular de  $CO_2$ ,  $C_i$ ) foram avaliadas entre as 9:30 e 14:30 h em dias sem ou com pouca presença de nuvens. As medidas de trocas gasosas foram feitas com um medidor portátil de trocas gasosas por infravermelho (modelo CIRAS-2, PPSsystem, UK). A eficiência intrínseca do uso da água (EIUA) foi calculada como  $A/g_s$ . As medidas foram feitas com irradiância de 1400  $\mu\text{mol}$  de fótons  $\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$  e temperatura de 28°C ajustados na câmara de amostragem do CIRAS- 2.

A eficiência de dissipação de calor latente ( $\Delta T$ ) foi calculada com a diferença entre a temperatura foliar e a temperatura do ar, indicando a eficiência de manutenção da temperatura foliar adequada aos processos fisiológicos (SOUZA et al., 2004).

O potencial de água foliar foi avaliado com uma câmara de pressão (modelo 1000, PMS Instruments, USA) antes das medidas de trocas gasosas, antes do amanhecer.

Medidas do teor de clorofila total foram obtidas com um clorofilômetro (modelo CCM-200, OptSciences, UK)

Todas as medidas fisiológicas foram realizadas em folhas visualmente saudáveis e totalmente expandidas desenvolvidas durante a imposição dos diferentes regimes de irrigação, nas três repetições por tratamento.

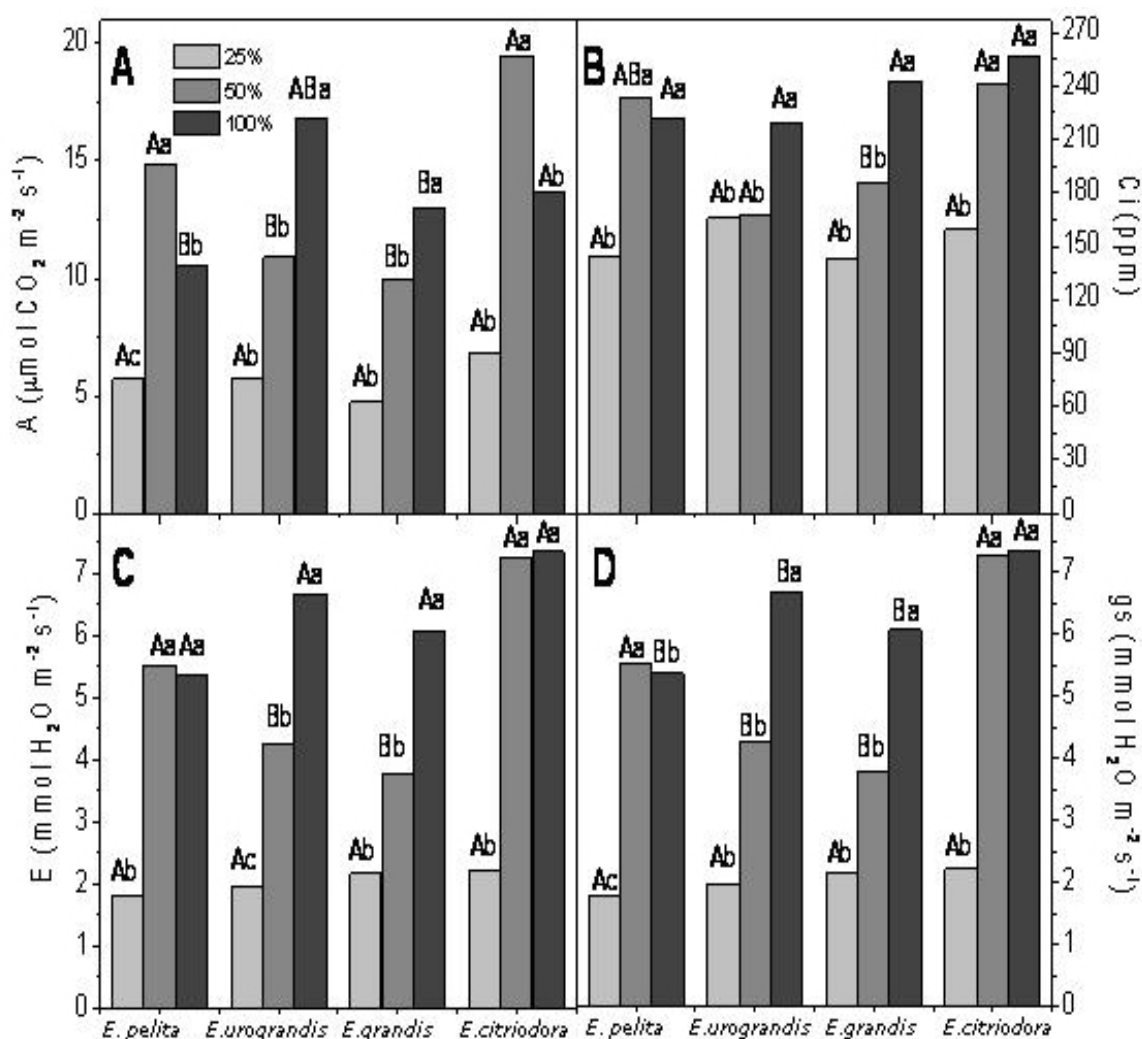
Os dados foram analisados por ANOVA ( $p < 0,05$ ) e as médias comparadas pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ).

### 3 RESULTADOS

A deficiência hídrica causada pelo tratamento com 25% de reposição de água causou reduções significativas no potencial de água foliar (de c. -0,3 para -1,7 MPa) indistintamente em todas as espécies estudadas (Tabela 1). A assimilação líquida de CO<sub>2</sub> (A) também foi significativamente ( $p < 0,05$ ) reduzida nesta condição em todas as espécies (Figura 1- A). Como pode ser observado pelos resultados da deficiência hídrica sobre a condutância estomática (gs) as reduções nos valores de A provavelmente tiveram causas de limitação estomática. O regime com 25% de reposição de lâmina de água reduziu significativamente os valores de gs. Entretanto, com 50% de reposição de lâmina de água foi observado um aumento em gs na espécie *E. pellita*, enquanto não houve alteração em *E. citriodora*. Por outro lado, a gs da demais espécies foi significativamente reduzida neste regime.(Figura 1- D). A concentração intercelular de CO<sub>2</sub> (Ci), também foi reduzida nas espécies submetidas à deficiência hídrica induzida com 25% de reposição de lâmina de água. O regime com 50% de reposição causou uma redução significativa de Ci apenas na espécie *E. grandis* (Figura 1- B).

**TABELA 1** - Potencial hídrico (MPa) e Conteúdo de Clorofila nas diferentes espécies de eucalipto (*E. pellita*, *E. grandis*, *E. urograndis* e *E. citriodora*) e diferentes reposição de lamina de água (25, 50 e 100 %); ( $X \pm SD$ ). Presidente Prudente, 2007

<b>Espécie/ Irrigação</b>	<b>Potencial Hídrico (MPa)</b>	<b>Conteúdo de Clorofila (CCM)</b>
<i>E. pellita</i> 100	-0,2±0,1 <sup>a</sup>	16,1±7,5 <sup>NS</sup>
<i>E. pellita</i> 50	-0,4±0,2 <sup>a</sup>	19,4±3,9 <sup>NS</sup>
<i>E. pellita</i> 25	-1,7±0,7 <sup>b</sup>	23,1±3,4 <sup>NS</sup>
<i>E. grandis</i> 100	-0,3±0,1 <sup>a</sup>	14,6±4,8 <sup>NS</sup>
<i>E. grandis</i> 50	-0,5±0,1 <sup>a</sup>	18,0±1,8 <sup>NS</sup>
<i>E. grandis</i> 25	-1,7±0,8 <sup>b</sup>	17,1±3,5 <sup>NS</sup>
<i>E. urograndis</i> 100	-0,4±0,2 <sup>a</sup>	18,5±2,8 <sup>NS</sup>
<i>E. urograndis</i> 50	-0,8±0,3 <sup>a</sup>	21,0±2,2 <sup>NS</sup>
<i>E. urograndis</i> 25	-1,7±0,6 <sup>b</sup>	20,8±1,7 <sup>NS</sup>
<i>E. citriodora</i> 100	-0,3±1,0 <sup>a</sup>	12,3±1,6 <sup>a</sup>
<i>E. citriodora</i> 50	-0,5±0,1 <sup>a</sup>	15,0±0,9 <sup>a</sup>
<i>E. citriodora</i> 25	-1,2±0,3 <sup>b</sup>	27,9±3,3 <sup>b</sup>



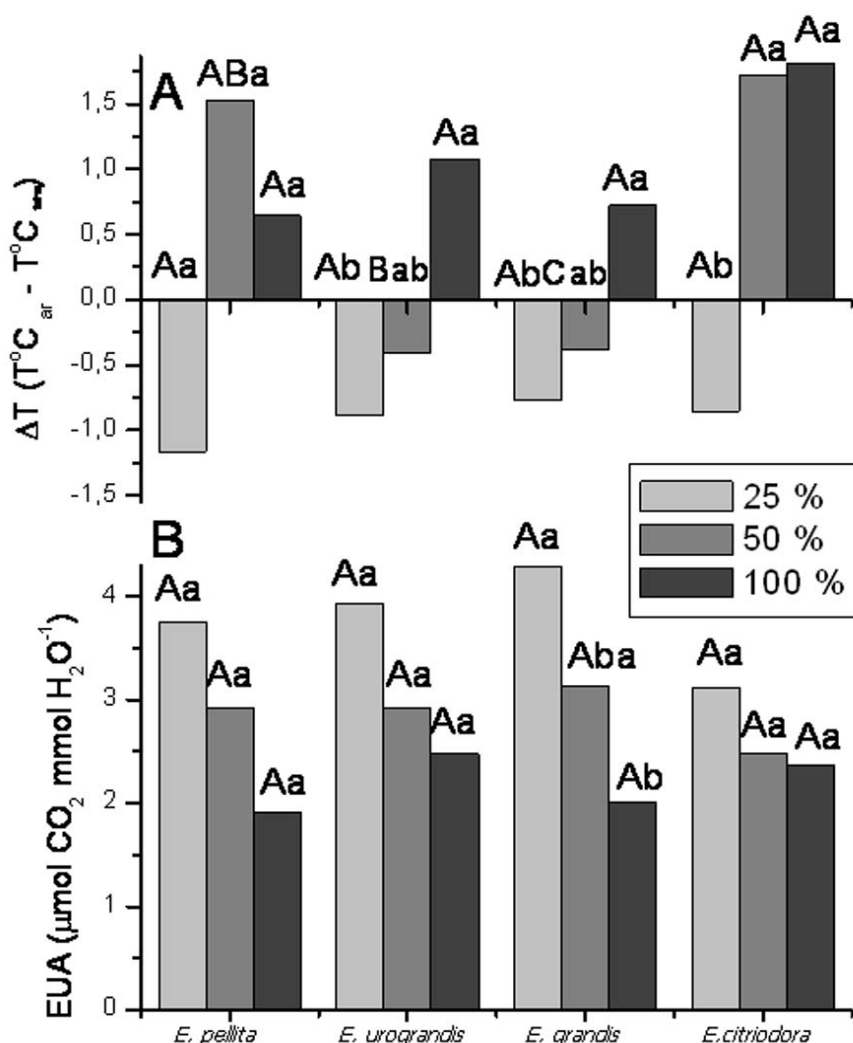
**FIGURA 1** - Parâmetros de trocas gasosas: assimilação de  $\text{CO}_2$  (A), concentração intercelular de  $\text{CO}_2$  (Ci), transpiração (E) e condutância estomática (gs), e nas espécies de *Eucalyptus* diferentes laminas de irrigação aplicadas (25, 50 e 100 % de reposição evapotranspiração). Letras maiúsculas diferentes indicam diferença estatística significativa ( $p < 0,05$ ) entre as espécies em cada regime de irrigação e letras minúsculas indicam diferença estatística significativa ( $p < 0,05$ ) entre os diferentes regimes de reposição hídrica, dentro das espécies. Presidente Prudente, 2007

Os efeitos da reposição hídrica sobre a transpiração (E) das plantas foram similares aos efeitos observados sobre gs. No regime com 25 % de reposição hídrica todas as plantas apresentaram reduções significativas em E, enquanto com 50 % de reposição hídrica apenas as espécies *E.grandis* e *E.urograndis* tiveram reduções significativas em E (Figura 1- C). As variações na transpiração causaram impacto direto na eficiência de dissipação de calor latente das plantas ( $\Delta T$ ). No regime com 50 % de reposição hídrica apenas as espécies



*E. pellita* e *E. citriodora* mantiveram valores de  $\Delta T$  positivos, enquanto sob o regime de 25 % todas as plantas perderam esta eficiência (Figura 2- A).

Não se notou diferenças significativas ( $p > 0,05$ ) em relação a eficiência do uso da água (EUA) quando comparadas as espécies ente si em cada regime de reposição hídrica. Os maiores valores de EUA foram observados no regime de 25% de reposição de água (Figura 2- B).

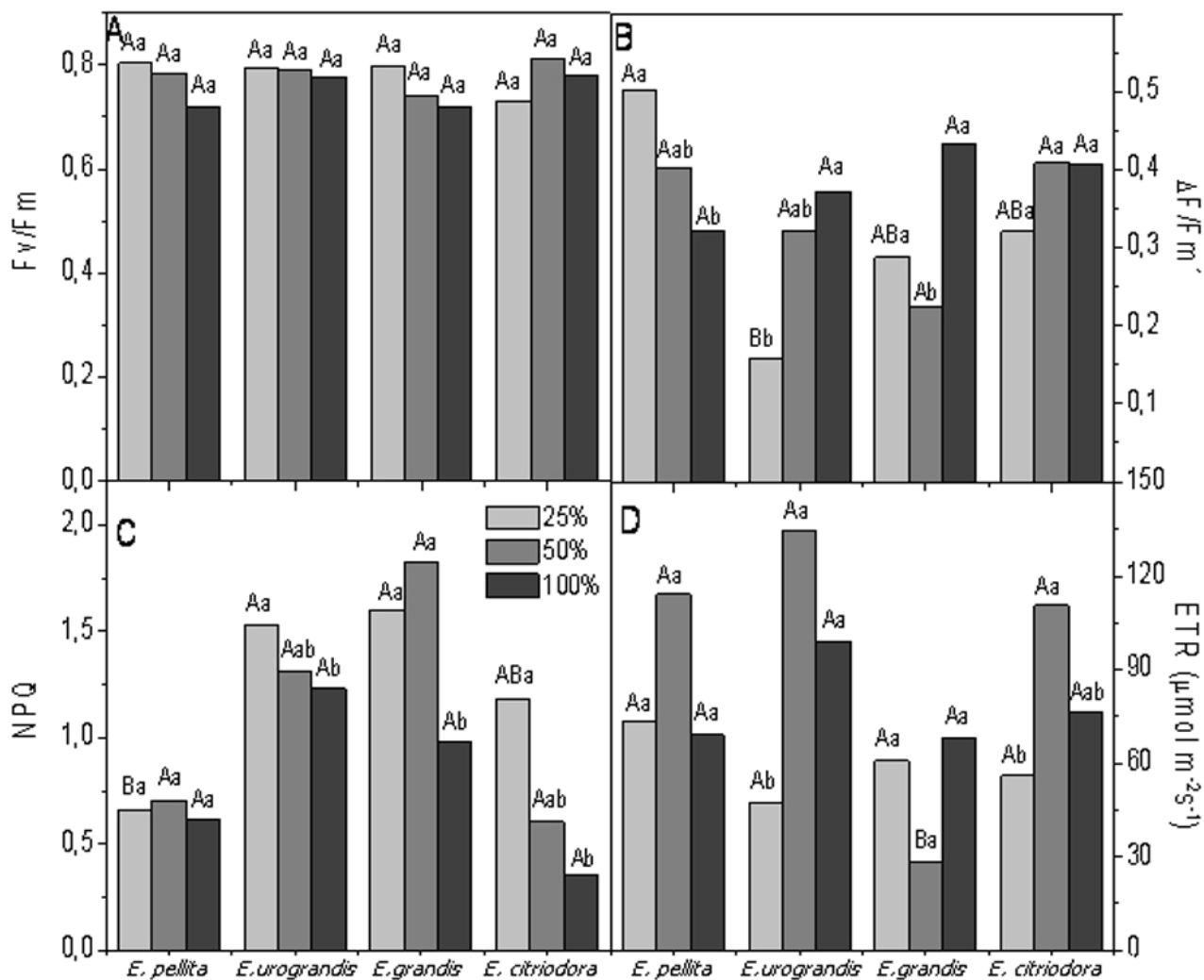


**FIGURA 2** - Eficiência de dissipação de calor latente das plantas ( $\Delta T$ ) e Eficiência do uso da água (EUA) em espécies de *Eucalyptus* e lâminas de irrigação aplicadas (25, 50 e 100 % de reposição). Letras maiúsculas diferentes indicam diferença estatística significativa ( $p < 0,05$ ) entre as espécies em cada regime de irrigação e letras minúsculas indicam diferença estatística significativa ( $p < 0,05$ ) entre os diferentes regimes de reposição hídrica, dentro das espécies. Presidente Prudente, 2007

Quanto ao teor total de clorofila, os regimes de deficiência não causaram alterações significativas, exceto na espécie *E. citridora* onde foi observado um aumento significativo (Tabela 1).

Todas as espécies apresentaram valores semelhantes quando analisados os resultados de eficiência quântica potencial do fotossistema II ( $F_v/F_m$ ), não diferindo também entre os tratamentos ( $p > 0,05$ ), indicando que não houve fotoinibição em nenhum dos tratamentos (Figura 3-A). Já quando analisadas a eficiência quântica efetiva do fotossistema II ( $\Delta F/F_m'$ ), a espécie que apresentou melhores resultados foi a *E. pellita* quando comparada as demais espécies sob deficiência hídrica. No regime de 50% de reposição de lamina de água, a espécie *E. grandis* apresentou uma redução da  $\Delta F/F_m'$  (Figura 3-B).

Houve uma tendência significativa ( $p < 0,05$ ) de redução do transporte de elétrons (ETR) sob deficiência hídrica, principalmente no tratamento com 25% de reposição de água, exceto o *E. grandis* que teve esse valor aumentado quando comparado ao regime de 50% (Figura 3-D). Quanto aos valores de NPQ (*quenching* não fotoquímico), foi observado uma tendência de aumento em função do aumento da deficiência hídrica, exceto na espécie *E. pellita* que apresentou baixo NPQ em todos os tratamentos (Figura 3-C).



**FIGURA 3** - Parâmetros de fluorescência: eficiência quântica potencial ( $F_v/F_m$ ) e efetiva ( $\Delta F/F_m'$ ), quenching não-fotoquímico (NPQ) e taxa de transporte de elétrons (ETR) sobre as espécies de *Eucalyptus* e lâminas de irrigação aplicadas (25, 50 e 100 % de reposição). Letras maiúsculas diferentes indicam diferença estatística significativa ( $p < 0,05$ ) entre as espécies em cada regime de irrigação e letras minúsculas indicam diferença estatística significativa ( $p < 0,05$ ) entre os diferentes regimes de reposição hídrica, dentro das espécies. Presidente prudente, 2007

## 4 DISCUSSÃO

Um problema central da biologia vegetal está relacionado com o problema de otimização da fixação de CO<sub>2</sub> em ambientes com limitação de água. Em ambientes com restrição hídrica, seja por problemas de disponibilidade ou falta de água no solo ou por altas demandas atmosféricas de água, a planta tende a fechar seus estômatos para economizar água, reduzindo as perdas por transpiração, o que pode limitar a entrada de CO<sub>2</sub> na folha para a fotossíntese (TAIZ; ZEIGER, 2004; PEAK et al., 2004). O controle da entrada de CO<sub>2</sub> e saída de água é realizado continuamente por ajustes na abertura dos estômatos distribuídos em todas as folhas. Esta dinâmica de abertura e fechamento dos estômatos é heterogênea e pode ser particularmente aumentada em condições de deficiência hídrica, levando a erros nas medidas de trocas gasosas (MOTT; BUCKLEY, 1998; PEAK et al, 2004).

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. Isto está embasado no fato de haver reduções nas taxas fotossintéticas de plantas sob deficiência hídrica apesar das concentrações internas de CO<sub>2</sub> não terem sido afetadas. Reduções na fotossíntese potencial de plantas submetidas à deficiência hídrica podem estar relacionadas à limitação da regeneração de ribulose bi-fosfato (RuBP), e não a inibição das enzimas no ciclo de Calvin. A limitação da regeneração de RuBP provavelmente está ligada a redução na síntese de ATP, devido a uma progressiva inativação de fatores de acoplamento resultante do aumento da concentração iônica (Mg<sup>+2</sup>), e não a redução da capacidade do transporte de elétrons ou de prótons (LAWLOR, 2002). Entretanto, segundo Parry et al. (2002) a atividade da ribulose bi-fosfato carboxilase/oxigenase (Rubisco) pode ser reduzida sob deficiência hídrica não devido a mudanças causadas pelo CO<sub>2</sub> ou Mg<sup>+2</sup>, mas devido a presença de fatores de inibição ligados a enzima.

Os resultados das trocas gasosas indicaram que as alterações nas taxas fotossintéticas das espécies estudadas foram causadas por limitação estomática, e não por redução da eficiência bioquímica da fixação de CO<sub>2</sub>. Os valores de A seguiram o mesmo padrão de comportamento de gs em relação aos níveis de deficiência hídrica testadas, bem como os valores de Ci (Figura 1). Assim,

as reduções de  $g_s$  causaram reduções de  $C_i$  que, conseqüentemente, afetaram as taxas de fotossíntese.

Plantas submetidas à deficiência hídrica normalmente apresentam redução da transpiração e, conseqüentemente, uma redução da capacidade de dissipação de calor latente, aumentando a temperatura da folha. A fixação de  $CO_2$  é mediada pela atividade carboxilase da Rubisco que, com o aumento da temperatura, tende a ser desfavorecida (BERRY; BJORKMAN, 1980). Em altas temperaturas, a relação entre as solubilidades do dióxido de carbono e oxigênio ( $CO_2/O_2$ ) aumenta devido ao maior decréscimo na solubilidade do  $CO_2$  (BERRY; BJORKMAN, 1980), favorecendo a fotorrespiração e, como conseqüência, gerando impacto negativo sobre o balanço de carbono. Nossos resultados mostraram que houve uma redução significativa da eficiência de dissipação de calor latente como indicado pelos valores de  $\Delta T$  (Figura 2- A). Assim, seria provável ter havido um efeito sinérgico entre o fechamento estomático e a temperatura influenciando a redução da assimilação líquida do  $CO_2$ .

A deficiência hídrica também pode limitar a eficiência fotoquímica da planta, contribuindo para uma redução da fotossíntese (KRAUSE; WEIS, 1991). Desta forma, a fluorescência da clorofila *a* pode ser usada para quantificar a resposta das plantas ao déficit hídrico. No entanto, a eficiência fotoquímica parece ser menos sensível ao déficit hídrico do que a fixação bioquímica do  $CO_2$ . A eficiência quântica do FSII, tem sido observada em situações de grande escassez de água, em torno de 30% do conteúdo relativo de água (CRA), (HE et al. 1995, TOURNEUX; PELTIER 2004), enquanto que uma diminuição na assimilação do  $CO_2$  é frequentemente observada em CRA de 70% (KAISER, 1987). De acordo com He et al. (1995), em extremas condições de estresse como 40% na diminuição do CRA, leva a uma diminuição das proteínas D1 e D2 do FSII, possivelmente como resultado de um aumento na sua degradação, que pode ser responsável por uma redução na eficiência quântica do FSII.

Comparando os resultados dos efeitos da deficiência hídrica sobre as trocas gasosas e a fluorescência da clorofila, nossos dados reforçam as observações de que a eficiência fotoquímica seria menos sensível a falta de água do que a fixação bioquímica do  $CO_2$ .

## 5 CONCLUSÃO

Este trabalho indicou que, de uma forma geral, as espécies *E.pellita* e *E.citriodora* apresentaram os melhores resultados quando submetidas ao déficit hídrico imposto pelo regime com 50 % de reposição da lâmina de água como indicados nos parâmetros da assimilação líquida de CO<sup>2</sup> (A).

Entretanto o regime de 25% de reposição de lâmina de água afetou as espécies de uma forma similar, mostrando que estas não apresentaram diferenças significativas entre si.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANSLEY, et al. Soil and leaf water relations of differentially moisture stressed honey mesquite (*Prosopis glandulosa* Torr). **Journal of Arid Environments**, London, v. 22, n. 1, p. 147-159, 1992.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA TÉCNICA DE CELULOSE E PAPEL, ABTCP.

Disponível em:

<[http://www.abtcp.org.br/m11\\_read.asp?cod\\_pagina=2131&id\\_msg=96&id\\_nivel=1](http://www.abtcp.org.br/m11_read.asp?cod_pagina=2131&id_msg=96&id_nivel=1)>  
acesso em: 02 fev. 2007.

BACARIN M. A.; MOSQUIM P. R. Cinética de emissão de fluorescência das clorofilas de dois genótipos de feijoeiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Lavras, v. 26, n. 4. p. 705-710, 2002.

BERGONCI J. I. et al. Potencial da água na folha como um indicador de déficit hídrico em milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, n. 8, p. 1531-1540, ago. 2000.

BERNARDO A. L. **Crescimento e eficiência nutricional de *Eucalyptus spp* sob diferentes espaçamentos na região de cerrado de Minas Gerais**. 1995. 131 p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa Viçosa, Viçosa.

BERNARDO, A. L. et al. Effect of spacing on growth and biomass distribution in *Eucalyptus camaldulensis*, *E. Pellita* and *E. urophylla* plantations in Southeastern Brazil. **Forest ecology and management**, v. 104. p. 1-13, 1998.

BERRY, J., BJÖRKMAN, O. Photosynthetic response and adaptation to temperature in higher plants. **Annual Review of Plant Physiology**, v. 31, p. 491-543. 1980.

BERTOLA, A. **Eucalipto- 100 anos de Brasil. “Falem mal, mas continuem falando de mim”**. Disponível em:

<[www.celuloseonline.com.br/imagembank/Docs/DocBank/dc/dc022.pdf](http://www.celuloseonline.com.br/imagembank/Docs/DocBank/dc/dc022.pdf)>. acesso em: 20 jan. 2007.

BILGER, W.; SCHREIBER U.; BOCK, M. **Determination of the quantum efficiency of photosystem II and non-photochemical quenching of chlorophyll fluorescence in the field**. v. 49.p. 407-417, 1995.

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

CORNIC, G. Drought stress inhibits photosynthesis by decreasing stomatal aperture – not by affecting ATP synthesis. **Trends in Plant Science**, v. 5. p. 183-221, 2000.

DEMMIG B.; BJORKMAN, O. **Comparison of the effects of excessive light on chlorophyll fluorescence and photon yield of O<sub>2</sub> evolution in leaves of higher plants.** v. 171. p. 171-184. 1987

DOOREMBOS, J.; PRUITT, W. O. **Necessidades hídricas das culturas.** Trad. de GHEYI, H. R.; METRI, J. E. C.; DAMASCENO, F. A. V. Campina Grande: UFPB, 1997. 204 p.

DOUROJEAMI, M. **O eucalipto não é vilão.** Sociedade Brasileira de Silvicultura. Disponível em: <[http://www.sbs.org.br/destaques\\_oeucalipto.htm](http://www.sbs.org.br/destaques_oeucalipto.htm)>. Acesso em: 08 ago. 2006.

FAO/IBDF/BRA-45 PRODEPEF. **Anuário Estatístico do Brasil.** Rio de Janeiro: IBGE, 1993. v. 53. (Série Técnica 10).

FERREIRA, C. A. G.; DAVIDE, A. C.; CARVALHO, L. R. **Relações hídricas em mudas de Eucalyptus citriodora Hook em tubetes aclimatados por tratamentos hídricos,** Cerne, v. 5, n. 2, p. 095-104, 1999.

GEACINTOV, N. E.; BRETON, J. Energy transfer and fluorescence mechanisms in photosynthetic membranes. **Critical Review Plant Science**, Boca Raton, v. 5, n. 1, p. 1-44, Jan. 1987.

GENTY, B.; BRIANTAIS, J. M.; BARKER, N. R. The relationship between quantum yield of photosynthetic electron transport and quenching of chlorophyll fluorescence. **Biochimica et Biophysica Acta**, v. 990. n. 1. p. 87-92, 1989.

GOLFARI, L; CASER, R. L. **Zoneamento ecológico da região nordeste para experimentação Florestal da região do cerrado.** Belo Horizonte: Centro de pesquisa Florestal do Cerrado, 1977. p. 116.

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



HE JX, WANG J, LIANG HG. Effects of water stress on photochemical function and protein metabolism of photosystem II in wheat leaves. **Physiol. Plantarum**, v. 93. p. 771-777, 1995.

INSTITUTO DE PESQUISA E ESTUDOS FLORESTAIS (IPEF). Disponível em: <[www.ipef.br/identificacao/cief/especies/citriodora.asp](http://www.ipef.br/identificacao/cief/especies/citriodora.asp)>. acesso em: 08 set. 06

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

KLAR, A. E. **Irrigação**: Freqüência e quantidade de aplicação. São Paulo: Nobel, 1991. p. 156.

KRALL, J. P.; EDWARDS, G. E. Relationship between photosystem II activity and CO<sub>2</sub> fixation in leaves. **Physiologia Plantarum**, v. 86, n. 1, p. 180-187, 1992.

KRAUSE, G. H.; WEIS, E. Chlorophyll fluorescence and photosynthesis. **Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol**, Palo Alto, v. 42, p. 313-349, 1991.

LARCHER, W. **Ecofisiologia Vegetal**. São Carlos: Rima Editora, 2000.

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.

LEVITT, J. **Respostas of plants to environmental stress**. New York: Academic Press, 1991, p. 657.

LIMA, W. P. **Impacto Ambiental do Eucalipto**. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 1996.

LÜTGE, U. **Physiological ecology of tropical plants**. New York: Springer. 1997. p. 37-138.

MEDRANO, et al. Regulation of photosynthesis of C<sub>3</sub> plants in response to progressive drought: stomatal conductance as a reference parameter. **Ann. Bot.**, v. 89, p. 895-905, 2002.

MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA. **Brasil Campeão do Eucalipto**. 2003. Disponível em: <<http://ftp.mct.gov.br/especial/genolyptus4.htm>>. Acesso em: 08 ago. 2006.

MOTT, K. A.; BUCKLEY, T. N. Stomatal heterogeneity. **Journal of Experimental Botany**, v. 49, p. 407-417, 1998.

PARRY, M. A. J, et al. Rubisco Activity: Effects of Drought Stress. **Annals of Botany**, v. 89. p. 833-839, 2002.

PEAK, D. et al. Evidence for complex, collective dynamics and emergent, distributed computation in plants. **PNAS**, v. 101, N. 4, p. 918-922, 2004.

RASKIN, V. I.; MARDEN, J. B. How plants limit the photodestructive potential of chlorophyll. In: YAMAMOTO, H. Y.; SMITH, C. M. (Ed.). **Photosynthetic responses to the environment**. Maryland: American Society of Plant Physiologists, 1993. p. 156-159.

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

SAAD, J. C. C.; SCALOPPI, E. J. Análise dos principais métodos climatológicos para estimativa da evapotranspiração potencial. In: CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM. 8., 1988. Florianópolis **Anais...** Florianópolis. 1988. v. 2. p. 999-1201.

SBS- Sociedade Brasileira de Silvicultura. **Área plantada de florestas para fins de produção, por região, unidades da Federação e Brasil – em 2006**. Disponível em: [www.sbs.org.br/estatisticas.htm](http://www.sbs.org.br/estatisticas.htm). acesso em: 12 ago. 07.

SCHVALEVA, et al. Metabolic responses to water deficit in two clones with contrasting drought sensitivity. **Tree Physiology**, v. 26, p. 239-248, 2006.

SILVA, W. et al. Taxa transpiratória de mudas de eucalipto em resposta a níveis de água no solo e à convivência com braquiária. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, n. 5, p. 923-928, 2000.

SOUZA, G. M. et al. Functional Groups of Forest Succession as Dissipative Structures: an applied study. **Brazilian Journal of Biology**, v. 64. p. 707-718, 2004.

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

TOURNEUX, C.; PELTIER, G. Effect of water deficit on photosynthetic oxygen exchange measured using  $^{18}\text{O}_2$  and mass spectrometry in *Solanum tuberosum* L. leaf. **Planta**, v. 195. p. 570-577, 1995.