

IMPACTOS DA CULTURA DO EUCALIPTO

*O potencial de produção de biomassa de uma plantação florestal é, basicamente, função da quantidade de radiação solar interceptada, o qual pode, todavia, ser limitado tanto pelo déficit hídrico, quanto pelo déficit de nutrientes. A eficiência do uso da água e dos nutrientes, portanto, pode ser vista como um importante mecanismo de adaptação que a espécie desenvolveu visando suportar a escassez destes dois recursos do meio. Um dos aspectos mais debatidos dentro da chamada “controvérsia do eucalipto” é justamente o do consumo de água, tido por muitos como sendo exageradamente elevado. Devido ao grande número de espécies existentes no gênero *Eucalyptus*, é ainda cedo para generalizar, mas a análise conjunta de alguns poucos dados disponíveis a respeito da eficiência do uso da água (EUA) está mostrando resultados interessantes, com valores comparativamente maiores do que o de outras espécies florestais. Os poucos dados disponíveis, por outro lado, parecem indicar que as espécies do sub-gênero *Symphomyrtus*, utilizadas em plantações comerciais, dispõem de mecanismos eficientes de fechamento dos estômatos, que permite o controle da transpiração, em resposta ao déficit hídrico.*

Por Walter de Paula Lima

A despeito de seu inegável valor econômico, do ponto de vista de se constituir numa das melhores espécies florestais conhecidas para a produção de madeira para os mais variados fins, e de fibra para a produção de celulose, e por ter-se tornado a espécie florestal mais planta-

da no mundo, o eucalipto é ainda assunto muito **controverso**.

Dentro da gama de aspectos envolvidos na chamada “controvérsia do eucalipto”, há de tudo um pouco, e torna-se necessário, a bem da verdade, separar aquilo que é lenda ou pseudo-ciência, para realmente discutir em

torno dos possíveis impactos ambientais da cultura do eucalipto, incluídos aqui os aspectos ecológicos e sociais da expansão da eucaliptocultura. Uma ampla revisão da literatura mundial sobre o assunto foi publicado recentemente por Lima (1993).

É controverso, por exemplo,

o alegado efeito deletério sobre a fertilidade do solo a longo prazo, segundo o qual as sucessivas rotações florestais com eucalipto causariam um declínio no capital de nutrientes do solo, desestabilizando a ciclagem de nutrientes. Os dados existentes, todavia, não permitem ainda generalizações a respeito. É possível concordar, sem dúvida, que a fertilidade do solo pode diminuir como resultado da remoção excessiva da biomassa, mas isto é válido para qualquer cultura. Para alguns autores, o problema talvez seja mais sério apenas para o fósforo, e não para todos os nutrientes. Deve-se, ainda, lembrar que as espécies florestais variam no que diz respeito às taxas de absorção de nutrientes e de reciclagem de nutrientes. Estas informações, desta forma, sugerem que este possível impacto ecológico pode ser adequadamente controlado, ou minimizado, por práticas saudáveis de manejo florestal.

Semelhantemente, outros impactos ambientais atribuídos comumente ao reflorestamento com espécies de eucalipto podem, também, ser melhor entendidos e equacionados a partir do estabelecimento de normas adequadas de controle da qualidade ambiental no manejo florestal. A silvicultura intensiva com eucalipto, ou com qualquer outra espécie florestal nesse sentido, envolve uma série de atividades silviculturais, desde a escolha do local, o preparo do solo, o talhamento da área, a abertura de estradas e aceiros, o plantio, os tratamentos silviculturais,

o corte e o transporte da madeira etc. Cada uma delas pode ser mais ou menos impactante, dependendo de como são executadas. O objetivo do controle da qualidade ambiental envolve justamente a adoção de práticas de manejo florestal que minimizem os possíveis impactos à paisagem, à flora, à fauna, ao solo, e às microbacias hidrográficas. Tudo isso é parte integrante do manejo florestal sustentado.

Um dos aspectos que mais de perto associa o eucalipto a possíveis danos ambientais é, sem dúvida, o relativo às suas exigências sobre a água, ou seja, o seu consumo hídrico, tido por muitos como sendo exageradamente elevado. O assunto existe na literatura há muito tempo, principalmente na forma de argumentos prós e contras, alguns sem muito embasamento científico. Resultados mais concretos de experimentos de campo, a nível de microbacias experimentais reflorestadas com eucalipto, só começaram a aparecer a partir da década de 80. O entendimento mais completo da ecofisiologia de espécies florestais, envolvendo os mecanismos da resposta estomática ao déficit de saturação de vapor atmosférico, que também regulam a transpiração florestal, por outro lado, datam, também, da segunda metade da década passada. É mais recente ainda o envolvimento de insti-

tuições internacionais de pesquisa nesta área, como foi o amplo projeto coordenado pelo Instituto de Hidrologia da Inglaterra, visando a determinação do consumo de água por plantações de eucalipto na Índia.

O objetivo do presente trabalho é fazer uma análise destas informações recentes relativas à exigência de água por espécies de eucalipto

ECOFISIOLOGIA

O potencial de produção de biomassa de uma plantação florestal é, basicamente, função da quantidade de radiação solar interceptada pelas copas, o qual pode, todavia, ser limitado pelo déficit de água ou de nutrientes. Na ocorrência de déficit hídrico, o crescimento das árvores depende da maior ou menor capa-

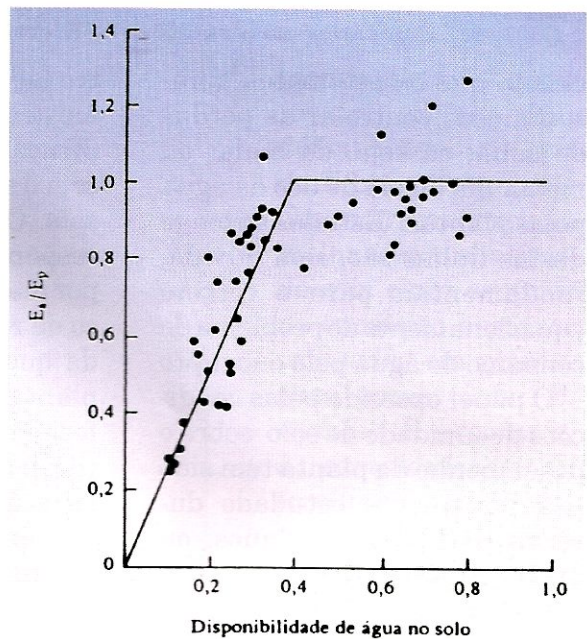


Figura 1: Resposta da transpiração de *E. maculata* à diminuição do conteúdo de água no solo.

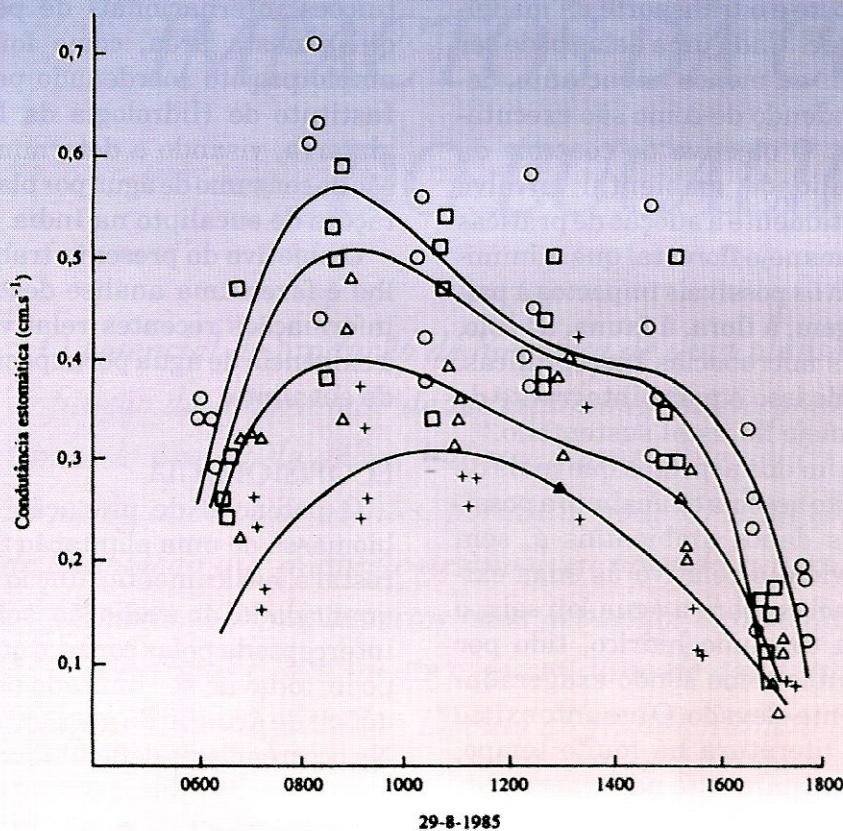


Figura 2: Padrão diurno de variação da condutância estomática em plantações de *E. grandis*.

cidade que os estômatos apresentam de controlar as perdas de água, ou seja, da maior ou menor eficiência de uso da água pelas plantas. Estudos ao longo destas linhas são, sem dúvida, fundamentais para o correto equacionamento do problema de consumo de água pelo eucalipto

O papel exercido pelas condições de umidade do solo sobre o desempenho da planta tem sido exaustivamente estudado durante os últimos 50 anos, ou **mais**. Alguns resultados mostram que a taxa de transpiração se mantém inalterada até um **dado** teor crítico de umidade do solo, abaixo do qual começa a **diminuir** rapidamente. Por ou-

tro lado, há também resultados mostrando que a taxa de transpiração diminui linearmente com o secamento progressivo do solo. Os estômatos geralmente respondem ao estresse hídrico, por meio de um fenômeno clássico de retroalimentação: à medida que o potencial de água na planta diminui, os estômatos se fecham, reduzindo a transpiração, e assim permitindo a recuperação do potencial hídrico.

Além do déficit hídrico, os estômatos respondem, também, à concentração de gás carbônico atmosférico. Com poucas exceções, a condutância estomática diminui com o aumento da concentração de CO_2 atmosférico.

Este resultado é interessante. Por uma lado, o aumento do CO_2 tende a aumentar a fotossíntese e, por outro, diminui a condutância estomática e, conseqüentemente, a transpiração. O resultado integrado destes dois efeitos é que o aumento do CO_2 atmosférico deve aumentar a eficiência do uso de água pelas plantas.

Estes efeitos têm sido observados em várias espécies florestais, em diferentes condições, inclusive em espécies tropicais.

Como se comporta o eucalipto neste sentido? Como seria o comportamento estomático das espécies de eucalipto em relação ao estresse hídrico? Como se comportam as espécies de eucalipto em relação ao controle fisiológico da transpiração e à eficiência de uso da água? Com certeza, talvez seja ainda muito cedo para se generalizar a respeito. Em sua revisão ampla sobre o assunto, Lima (1993) encontrou apenas alguns poucos trabalhos com eucalipto ao longo destas linhas. Por outro lado, devido ao grande número de espécies do gênero *Eucalyptus*, é de se esperar que haja muita variação em termos da anatomia estomática, aclimatação e de características morfológicas e fisiológicas, que afetam o comportamento dos estômatos. Mas os poucos resultados disponíveis estão mostrando aspectos interessantes.

Já existem vários trabalhos contendo evidências suficientes de comportamento distinto entre os sub-gêneros de eucaliptos, em vários aspectos morfoló-

gicos e fisiológicos. Uma revisão ampla sobre estas evidências foi publicada recentemente por Noble (1989). No que diz respeito à resposta estomática ao estresse hídrico, por exemplo, alguns trabalhos mostram que as espécies de eucalipto do sub-gênero *Monocalyptus* parecem não possuir um mecanismo eficiente de controle da transpiração. Esta característica deve se constituir em fator que limita a possibilidade de tais espécies sobreviver fora de seu habitat natural. Segundo Pryor (1976), as espécies de *Monocalyptus* dificilmente vão bem em plantações fora da Austrália, principalmente em climas subtropicais com estação seca.

Todavia, os resultados disponíveis com espécies de eucaliptos do sub-gênero *Symphomyrtus*, ao qual pertence a maioria das espécies utilizadas em plantações comerciais, mostram que estas espécies apresentam um mecanismo eficiente de controle da transpiração, por meio do fechamento rápido dos estômatos em resposta a fatores ambientais, tais como o déficit de água no solo. Um exemplo deste comportamento pode ser observado na Figura 1, obtida no trabalho de Dunin & Aston (1984).

Estas espécies de eucalipto também apresentam um bom acoplamento

com as condições evaporativas da atmosfera, através de uma resposta eficiente dos estômatos ao déficit de pressão de vapor. A Figura 2, ilustra o padrão diurno de comportamento da condutância estomática de plantações de *E. grandis* na África do Sul, onde se pode observar a tendência de fechamento dos estômatos durante o período de pico do déficit de saturação de vapor.

Um outro aspecto interessante destes comportamentos é o efeito integrado do déficit de pressão de vapor e do déficit de água no solo sobre a condutância estomática, conforme mostra a Figura 3, do trabalho com plantações de *E. globulus* em

Portugal. Observa-se, nesta figura, que os estômatos encontram-se normalmente mais abertos quando as condições de disponibilidade de água no solo são melhores, mas tendem a se fechar rapidamente à medida que aumenta o déficit de pressão de vapor atmosférico, independentemente da existência de água disponível no solo.

Finalmente, com relação ao efeito integrado do déficit hídrico e do aumento da concentração de CO_2 atmosférico sobre o comportamento estomático, há, também, alguns poucos dados interessantes obtidos com espécies de eucalipto. Mostra-se resultados semelhantes aos obtidos com outras espécies florestais, verificando que com o aumento do CO_2 , a taxa fotossintética e a eficiência de uso da água em *E. globulus* se mantiveram significativamente elevadas, mesmo em condições de déficit hídrico moderado. E Lima et al. (1995) observaram efeitos semelhantes trabalhando com cinco espécies de eucalipto bastante utilizadas em plantações comerciais: *E. grandis*, *E. urophylla*, *E. camaldulensis*, *E. torrelliana* e *E.phaeotrica*, conforme ilustrado nas Figuras 4 e 5.

Dois aspectos importantes podem ser observados na Figura 4. Primeiro, a tendência dos estômatos se man-

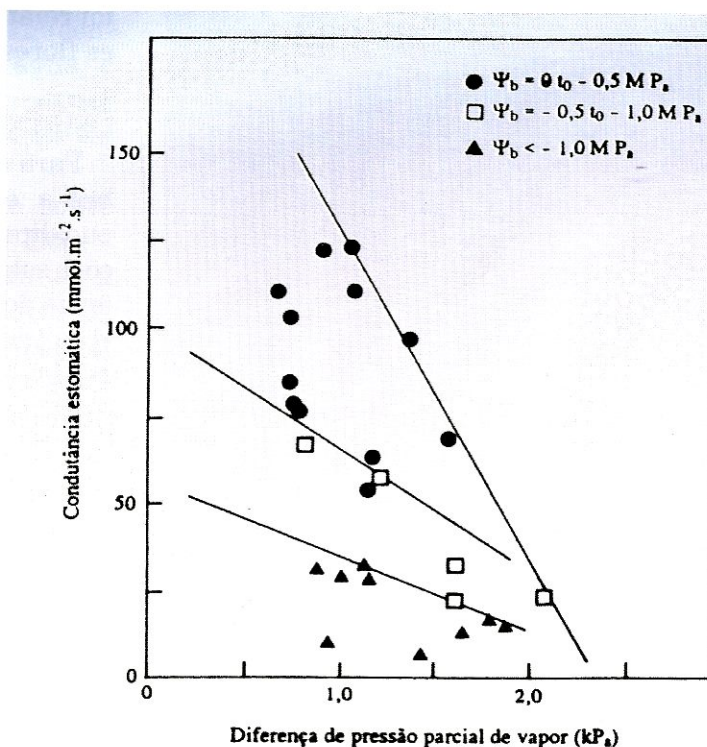


Figura 3: Padrão de resposta estomática do *E. globulus* ao déficit de pressão de vapor atmosférico e ao déficit de água no solo.

Valores instantâneos da eficiência de uso da água (EUA), em termos comparativos para eucaliptos e outras espécies florestais

ESPÉCIE	EUA ($\mu\text{mol CO}_2 / \text{mmol H}_2\text{O}$)
Cambretum quadrangulare	2.2
Cambretum quadrangulare(1)	0,5
Ceiba pentandra	3.0
Erythrina variegata	4.9
Eucalyptus camaldulensis	2.5
Eucalyptus camaldulensis(1)	0.9
Eucalyptus camaldulensis	3.8 * - 5.7 **
Eucalyptus globulus	7.0
Eucalyptus grandis	4.1* - 6.9**
Eucalyptus maculata(2)	6.7
Eucalyptus maculata(2)	5.0
Eucalyptus maculata(3)	4.1
Eucalyptus pauciflora	7.5
Eucalyptus phaeotrica	3.7* - 7.0**
Eucalyptus torelliana	3.9* - 6.9**
Eucalyptus urophylla	4.6* - 6.3**
Larix eurolepis	5.5
Picea sitchensis	6.0
Pinus contorta	4.4
Pinus radiata	2.0 - 3.5
Pinus sylvestris (adulto)	3.9
Pinus sylvestris (jovem)	4.0
Pinus taeda	3.0 - 4.4
Podocarpus oleifolius	4.8

(1) em condições de 2% de salinidade

(2) árvores contidas em tenda plástica

(3) em condições de campo

(*) concentração ambiente de CO_2

(**) dobro da concentração ambiente de CO_2

terem abertos (escala à esquerda e curvas inferiores da parte de baixo da figura) até que a

umidade disponível no solo caia à metade de sua capacidade (escala à direita e curvas superiores

da parte de baixo da figura). Este mesmo resultado foi observado também para as outras quatro espécies estudadas, semelhantemente ao que tem sido observado para outras espécies florestais. Segundo, a aparente tendência da condutância estomática das plantas, submetidas a CO_2 elevado, se manter ligeiramente maior ao longo do período de estresse hídrico, comparativamente ao observado nas plantas que cresceram em condições normais de concentração de CO_2 .

O resultado integrado é o significativo aumento da eficiência de uso da água, conforme ilustrado na Figura 5 para as cinco espécies de eucaliptos estudadas, semelhantemente ao que já foi relatado para outras espécies florestais.

USO DA ÁGUA

Para concluir esta análise sobre a exigência de água pelo eucalipto, algumas considerações sobre o significado da eficiência do uso de água e de alguns resultados comparativos entre espécies de eucalipto e outras espécies florestais.

A eficiência de uso da água pode ser calculada pela relação entre a taxa de fixação de CO_2 por unidade de água transpirada. Pode ser expressa em valores instantâneos (EUA), ou em valores absolutos, ou seja, para a planta como um todo (EUA).

A eficiência de uso da água pode ser entendida como um eficiente mecanismo evolutivo pelo qual a planta adquire maior elasticidade para enfrentar possí-

veis déficits hídricos. Embora se argumente que as espécies com alta EUA sejam mais competitivas em ambientes mais secos, deve-se considerar que esta aparente vantagem tem um custo fisiológico. De fato, com a diminuição da condutância estomática, há uma diminuição na transpiração proporcionalmente maior do que a correspondente diminuição na assimilação de carbono, com um resultado líquido de aumento na eficiência de uso da água. Todavia, a permanência de um alto valor da EUA, pela manutenção dos estômatos parcialmente fechados, diminui o crescimento. Talvez o papel principal deste mecanismo estomático esteja mesmo relacionado com o controle da transpiração, mas não no sentido de conservação de água, e sim no de prevenção da necrose dos tecidos e maximização da assimilação de carbono.

Numa ampla revisão sobre ecofisiologia de espécies florestais tropicais, apresentam uma compilação de dados sobre os valores da eficiência de uso da água, de forma comparativa para espécies de eucalipto e para outras espécies florestais, inclusive, para efeito de comparação, com espécies de clima temperado. A compilação, mostrada na Tabela 1, acabou revelando resultados interessantes. Os valores instantâneos da eficiência de uso da água (EUA) encontrados variam de 2.0 a 7.5 $\mu\text{mol CO}_2 / \text{mmol H}_2\text{O}$, com as espécies de eucalipto apresentando os maiores valores da EUA. Como já verificado, a tabela mostra,

também, que a EUA tende a aumentar com o crescimento da concentração de CO_2 , assim como também diminui drasticamente com a salinidade do solo.

Em termos da taxa instantânea de eficiência de uso da água, portanto, os poucos dados disponíveis estão revelando que as espécies de eucalipto são mais eficientes do que outras espécies

es florestais já estudadas.

A questão de se saber, por outro lado, se os eucaliptos produzem mais biomassa por unidade de água consumida do que outras espécies florestais, embora altamente relevante para esta análise, é mais difícil de ser respondida. Estes valores absolutos de consumo de água envolvido na produção de biomassa

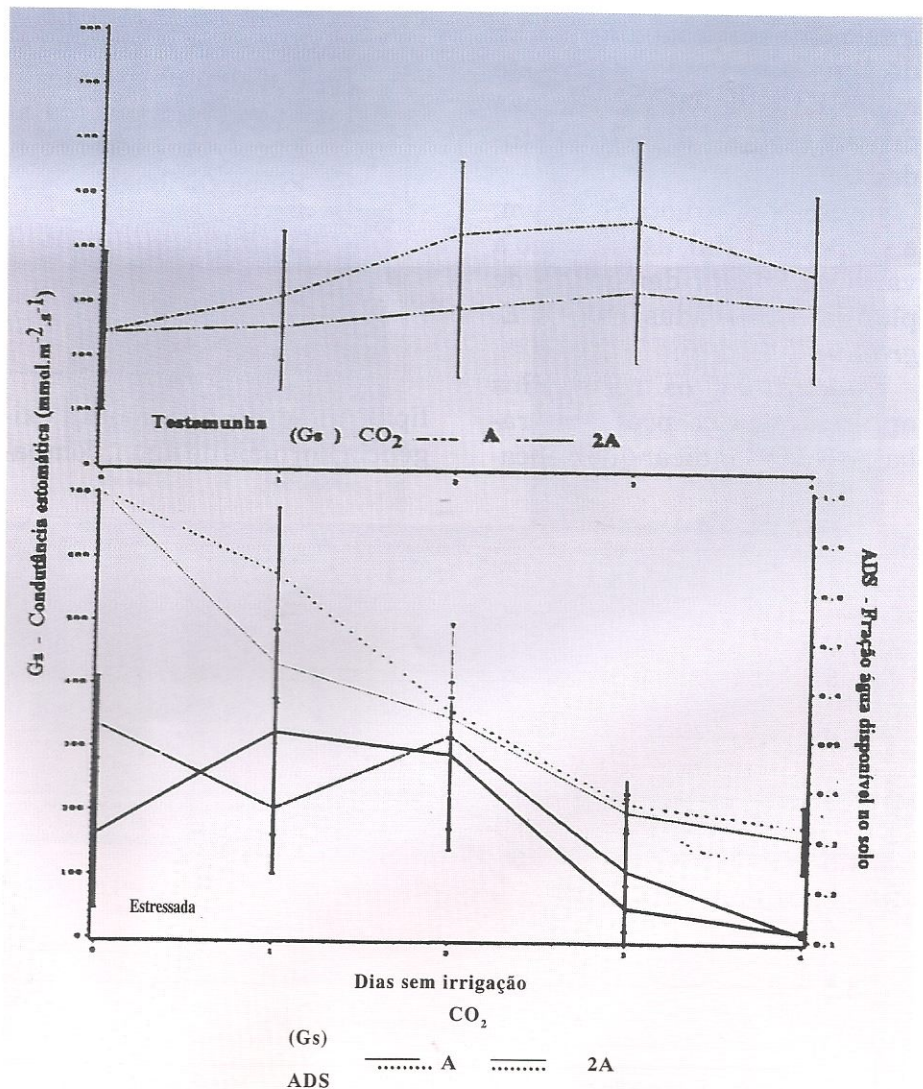


Figura 4: Efeito interativo do estresse hídrico e do aumento do CO_2 sobre a condutância estomática de *E. grandis* (Lima et al., 1995).

são de difícil obtenção em condições de campo. Alguns poucos dados disponíveis na literatura, assim como outros calculados a partir de dados publicados, foram, também, compilados por Gholz & Lima (1995), os quais são mostrados na Tabela 2.

Lá, pode-se observar que o valor absoluto médio de eficiência de uso de água por espécies de eucalipto gira ao redor de 2.6 g de biomassa produzida por kg de água consumida, valor este maior do que o observado nas demais espécies florestais estudadas.

Interessante é notar, também, a variação clonal, assim como a variação com a densidade de plantio, observadas para o *E. grandis*.

Concluindo, os resultados apresentados no presente trabalho estão a indicar que o eucalipto, além de apresentar eficiência normais de água, comparativamente a outras espécies florestais, parecem até ser dotados de mecanismos fisiológicos bem desenvolvidos de controle das perdas de água, revelando valores até mais elevados de eficiência de uso de água, tanto a nível instantâneo, como em valores absolutos de produção de biomassa por unidade de água consumida.

lipto, além de apresentar eficiência normais de água, compa-

rativamente a outras espécies florestais, parecem até ser dotados de mecanismos fisiológicos bem desenvolvidos de controle das perdas de água, revelando valores até mais elevados de eficiência de uso de água, tanto a nível instantâneo, como em valores absolutos de produção de biomassa por unidade de água consumida.

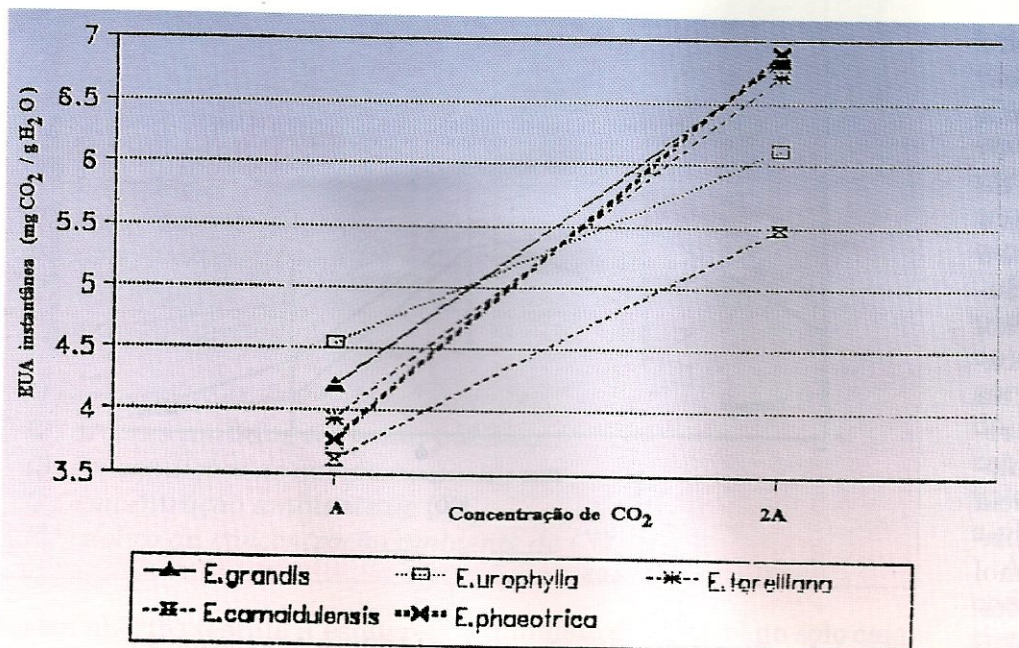


Figura 5: Efeitos do aumento da concentração de CO₂ sobre a eficiência de uso da água em 5 espécies de eucalipto.

Valores absolutos da eficiência de uso da água (EUA) para algumas espécies florestais

ESPÉCIE	EUA (g biomassa / kg H ₂ O)
<i>Acacia auriculiformis</i>	1.2
<i>Acacia nilotica</i>	1.3
<i>Albizia lebbek</i>	1.7
<i>Eucalyptus globulus</i>	2.0
<i>Eucalyptus grandis</i>	3.0 - 6.1*
<i>Eucalyptus grandis</i> (2150 árv./ha)	4.6
<i>Eucalyptus grandis</i> (304 árv./ha)	1.9
<i>Eucalyptus grandis</i>	2.9
<i>Eucalyptus maculata</i>	2.3
<i>Eucalyptus tereticornis</i>	1.9
<i>Pinus caribaea</i>	2.1
<i>Pinus caribaea</i>	1.3
<i>Prosopis juliflora</i>	1.4

(*) variação entre 4 clones

Colaboração de Walter de Paula Lima da ESALQ/USP, Depto. de Ciências Florestais, (*) Palestra apresentada no Seminário "Eucalipto - Uma Visão Global", realizado pela AMDA (Associação Mineira de Defesa do Ambiente), em Belo Horizonte (MG) em setembro de 1995.