

Efeito das variáveis ambientais no comportamento ecofisiológico de dois clones de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*: condições de campoEnvironmental variables effects in ecophysiological behavior of two clones of *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*: field conditionsKelly Cristina Tonello¹ e José Teixeira Filho²**Resumo**

O objetivo deste trabalho foi caracterizar o comportamento ecofisiológico de dois clones comerciais de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* associada à radiação fotossinteticamente ativa (Qleaf), déficit de pressão de vapor atmosférico (DPV) e potencial hídrico foliar antemanhã (Ψ_{pd}). O estudo foi conduzido em uma parcela experimental da Faculdade de Engenharia Agrícola da Universidade Estadual de Campinas (FEAGRI/UNICAMP), localizada no município de Campinas, Estado de São Paulo, Brasil. Os clones encontravam-se com a mesma idade (240 dias) e no mesmo sítio de plantio. As medições ecofisiológicas da transpiração (E), condutância estomática (Gs) e fotossíntese (A) foram realizadas no período de janeiro a julho de 2008, com o auxílio de porômetro, e as medições de Ψ_{pd} foram realizadas com o auxílio da câmara de pressão de Scholander. Foram observadas diferenças nas respostas dos clones em função de variáveis ambientais, assim como em relação à eficiência do uso da água (WUE). As informações adquiridas poderão ser utilizadas na melhor adequação dos planos de manejo florestal de acordo com a especificidade ecofisiológica de cada clone, considerando aspectos importantes da hidrologia em bacias hidrográficas.

Palavras-chave: transpiração, condutância estomática, eficiência no uso da água.

Abstract

This study aimed at characterizing the behavior of two commercial clones of *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* with photosynthetic active radiation (Qleaf), atmospheric vapor pressure deficit (VPD) and predawn leaf water potential (Ψ_{pd}). The study was conducted in an experimental plot of the Faculty of Agricultural Engineering, State University of Campinas (FEAGRI / UNICAMP), located in Campinas, São Paulo, Brazil. The clones were of the same age (240 days) and at the same site of planting. Measurements of transpiration (E), stomata conductance (Gs) and photosynthesis (A) were carried out from January to July 2008 with the help of a porometer and Ψ_{pd} measurements were performed with the aid of a Scholander pressure chamber. Differences were observed in the responses of clones to environmental variables as well as in water use efficiency (WUE). The information gained may be used for better adjustment of forest management plans according to the ecophysiological specificity of each clone, for hydrological aspects of a watershed.

Keywords: plant-water relations; stomatal conductance; transpiration; water use efficiency.

INTRODUÇÃO

Originário da Austrália, o gênero *Eucalyptus*, com mais de 600 espécies, encontrou no Brasil condições ideais para um notável crescimento. Em função da diversidade das espécies e das adequações em diferentes locais, passou a ser considerado o padrão para a produção de matéria-prima florestal de alto rendimento e rápido crescimento para diferentes usos. Entretanto, reflorestamentos com árvores de eucalipto ainda são assunto de polêmica no que diz respeito ao consumo de água e sua relação com a produtivi-

dade. O conhecimento das interações que ocorrem entre as condições ambientais e as trocas gasosas no dossel vegetal é essencial na determinação da quantidade de água transpirada por essas florestas. Devido à grande pressão que esse assunto provoca, os estudos relacionados vêm aumentando substancialmente durante as últimas décadas (GAO, 2000; KAUFMANN; LINDER, 1996; MIELKE *et al.*, 1999; SOARES; ALMEIDA, 2001; WHITEHEAD; HINCLEY, 1991).

Na planta, a água se movimenta basicamente pela diferença entre o potencial de vapor d'água na atmosfera em torno das folhas

¹Universidade Federal de São Carlos, campus Sorocaba (UFSCar/Sorocaba), Rod. João Leme dos Santos, km 110, Itinga, Sorocaba-SP, Brazil. CEP: 18052-780 - E-mail: kellytonello@ufscar.br

²Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), Faculdade de Engenharia Agrícola, Cidade Universitária Zeferino Vaz, Campinas-SP, Brazil.

e o potencial da água no solo. Assim, existe na planta um complexo sistema hidráulico, onde todas as partes funcionais estão interligadas por uma fase líquida, permitindo o movimento da água das raízes às folhas, sendo esse movimento causado pela redução de potencial de água nas folhas, resultante da transpiração. Esta, por sua vez, reflete a influência de condicionantes atmosféricas (de natureza energética e aerodinâmica), das disponibilidades hídricas do solo/subsolo junto ao sistema radicular, características morfológicas e mecanismos de resposta fisiológica que controlam a perda de água pelas folhas (CALDER, 1990). O condicionamento fisiológico da transpiração é exercido pela regulação da abertura estomática em resposta às condições ambientais tais como, luz, temperatura, umidade do ar e défices hídricos junto ao sistema radicular (JARVIS, 1980). O fluxo transpiratório depende da evaporação que se processa na interface folha/atmosfera e do abastecimento hídrico da folha, função do gradiente de potencial e da resistência hidráulica total entre o solo/subsolo e a folha.

As respostas das trocas gasosas às variações na disponibilidade de água no solo, radiação solar e demanda evaporativa da atmosfera não é um fenômeno universal. Neste sentido, diferenças marcantes têm sido verificadas entre diferentes espécies e/ou procedências de eucalipto (FLORENCE, 1996). Lima *et al.* (2003) verificaram diferentes respostas estomáticas entre espécies de *Eucalyptus* em função da disponibilidade hídrica e condições ambientais. Chaves *et al.* (2004) em um estudo ecofisiológico de clones de eucalipto em tubetes conseguiram observar diferenças entre os clones com relação à maior ou menor tolerância ao déficit hídrico. Tatagiba *et al.* (2008) também fizeram uso dos artifícios fisiológicos para avaliar a necessidade hídrica e sua repercussão nas atividades fisiológicas de diferentes genótipos de eucalipto no campo.

Sendo assim, este estudo teve por objetivo caracterizar o comportamento ecofisiológico (transpiração, condutância estomática e fotossíntese) de dois clones comerciais de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* associado à radiação fotossinteticamente ativa e déficit de pressão de vapor atmosférico em diferentes disponibilidades hídricas. As informações obtidas servirão como subsídio à modelagem ecofisiológica de bacias hidrográficas com florestas plantadas.

MATERIAL E MÉTODOS

Caracterização da área de estudo

O estudo foi conduzido no campo experimental da Faculdade de Engenharia Agrícola da Universidade Estadual de Campinas (FEAGRI/UNICAMP), localizada no município de Campinas, Estado de São Paulo, Brasil, situada a 22°53'20"S de latitude, 47°04'40" W de longitude e altitude média de 640 m. Segundo a classificação de Köppen, a região possui clima de transição entre os tipos Cwa e Cfa, caracterizado como clima tropical de altitude com inverno seco e verão úmido. A temperatura média do mês mais quente (fevereiro) é superior a 22 °C, e a do mais frio (junho), inferior a 18 °C e umidade relativa média de 47,6%. A precipitação pluvial média anual é de 1.382 mm, com o período chuvoso entre outubro e março, o que representa 75 % do total de chuva anual, ao passo que o período mais seco ocorre de junho a setembro.

Monitoramento ecofisiológico

Para o acompanhamento do comportamento ecofisiológico, as aferições foram realizadas em povoamentos clonais de dois híbridos de *Eucalyptus grandis* x *E. urophylla*, identificados como clone C041 e P4295, em espaçamento 3 x 2 m. O solo predominante da área experimental é classificado como Latossolo Vermelho distrófico típico (EMBRAPA, 1999).

O estudo ecofisiológico teve início aos 240 dias após plantio. Sendo assim, escolheram-se para o monitoramento ecofisiológico indivíduos de mesma idade para cada clone e as medições se procederam no período de janeiro a julho de 2008.

Potencial hídrico foliar antemanhã (Ψ_{pd})

Para o acompanhamento das disponibilidades hídricas no solo, foram realizadas medidas de potencial hídrico foliar antemanhã (Ψ_{pd}) utilizando-se a câmara de pressão de Scholander (SCHOLANDER *et al.*, 1965), modelo 3035 (Soil Moisture Equipment Corp., USA) antes do nascer do Sol, em folhas saudáveis totalmente expandidas.

Desse modo, coletaram-se simultaneamente, quatro ramos por indivíduo e para evitar a perda de água por transpiração, as folhas foram cortadas na inserção do pecíolo, envoltas em filme plástico e acondicionadas sob refrigeração, sendo imediatamente levadas ao Laboratório de Hidráulica da FEAGRI/UNICAMP, onde se procederam as medidas.

Variáveis ecofisiológicas

A transpiração (E), condutância estomática (G_s) e fotossíntese (A) foram obtidas com o auxílio de uma torre de medidas, de aproximadamente 4 metros de altura, disposta no centro da linha de plantio, exatamente entre quatro árvores, duas de cada clone (Figura 1). O Analisador de Gás Infravermelho (IRGA) LC-PRO+ (ADC BioScientific Ltda., UK) registrou as medições ecofisiológicas. Para tanto, escolheram-se quatro folhas saudáveis aleatórias e totalmente expandidas para cada indivíduo. As leituras se procederam em intervalos horários ao longo do dia, no período das 8 às 17 horas.

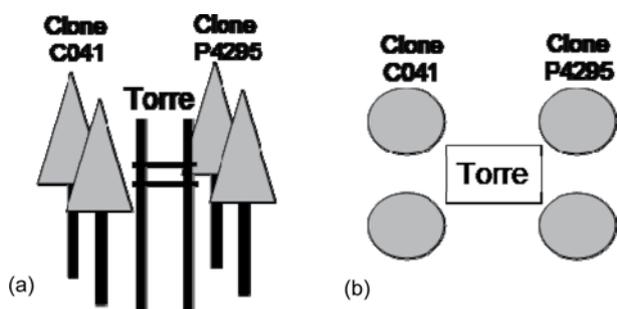


Figura 1. Posicionamento da torre entre o povoamento clonal de C041 e P4295 para as medições ecofisiológicas. Vista frontal (a) e vista superior (b). Campo experimental, FEAGRI/UNICAMP, 2008.

Figure 1. Position of the tower between the clonal stand C041 and P4295 for ecophysiological measurements. Front view (a) and top view (b). Experimental field, FEAGRI / UNICAMP, 2008.

De posse dos dados de E e A , obteve-se também a eficiência do uso da água (WUE) pela seguinte relação:

$$WUE = A / E \quad (1)$$

onde, A = fotossíntese, $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, E = transpiração, $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$

Fatores do Clima

Variáveis ambientais tais como, radiação global (R_g), radiação fotossinteticamente ativa (Q_{leaf}) e déficit de pressão de vapor atmosférico (DPV), foram escolhidas para correlacionar com a E , G_s e A . Q_{leaf} na superfície da folha foi determinada simultaneamente às medições das variáveis ecofisiológicas, utilizando-se o sensor acoplado na câmara dos porômetros, sempre disposto perpendicularmente à luz solar incidente na superfície foliar ao longo de cada dia de trabalho.

Dados complementares de radiação global, temperatura e umidade relativa do ar, específicas dos dias de medição, foram obtidos da estação meteorológica do Centro de Pesquisas Meteorológicas

e Climáticas Aplicadas à Agricultura – CEPAGRI/UNICAMP, que armazena informações diárias em intervalos de 10 minutos. A referida estação está localizada na área experimental da FEAGRI/UNICAMP, a 50 metros do plantio dos indivíduos dos clones monitorados. Essas informações foram utilizadas para o cálculo do DPV a cada intervalo horário correspondente ao período de estudo. De acordo com Pereira *et al.* (2002):

$$DPV = es - ea \quad (2)$$

A pressão de saturação do vapor (es) foi calculada de acordo com a seguinte equação:

$$es = 0,6108 * 10^{7,5 * Tar / 237,3 + Tar} \quad (3)$$

onde, Tar corresponde à temperatura do ar em $^{\circ}\text{C}$ e es , em kPa .

A pressão parcial de vapor (ea) foi obtida pela seguinte equação:

$$ea = UR * es / 100 \quad (4)$$

onde, UR é a umidade relativa do local, expressa em %.

Análises Estatísticas

O comportamento ecofisiológico entre os clones C041 e P4295, em função do Ψ_{pd} , Q_{leaf} e DPV foi submetido à análise de variância, e quando significativas, as médias foram comparadas pelo teste Tukey utilizando software Minitab 14.0.

RESULTADOS

Comportamento médio diário das variáveis fisiológicas ao longo do período de avaliação

Em virtude dos clones estarem se desenvolvendo no mesmo sítio (Figura 1), a disponibilidade hídrica no solo apresentou-se semelhante entre eles ao longo do período de avaliação. Ao longo dos meses de janeiro a março os indivíduos permaneceram com Ψ_{pd} mais confortáveis, contudo, com declínio no mês de julho se concentrando entre $-0,4$ a $-0,5$ MPa (Figura 2a). De forma geral, ao avaliar a resposta fisiológica entre os clones, os valores médios diários de E e G_s estiveram sempre maiores para o clone P4295 (Figura 2b, 2c), mesmo quando este se apresentava com deficiência hídrica ligeiramente maior.

Convém destacar os dias 11/02, 05/03 e 29/07, quando, apesar de os clones se encontrem sob mesma condição de disponibilidade hídrica no solo, o clone P4295 realizou maiores trocas

por E. A Gs nem sempre seguiu o mesmo padrão que a E (Figura 2c), sendo de modo geral maior para o clone P4295. Interessante notar que no dia 16/01 a média diária de E para os dois clones foi a mesma, 7,4 mmol m⁻² s⁻¹, enquanto que a média diária de Gs foi maior para o clone C041.

O comportamento inverso também pode ser observado no dia 05/03, onde, ambos sob mesma resposta média de Gs, o clone P4295 apresentou maior média de E. Ao inserirmos a vari-

ável A nessa comparação, nota-se que existem situações em que, embora a E do clone C041 seja menor, ele apresentou maior A, como foi o caso do dia 26/02 (Figura 2d).

As respostas estomáticas podem ser visualizadas na Figura 2e, onde a média diária da WUE do clone C041 mostrou-se, a todo momento, superior ao clone P4295, indicando uma maior produção de biomassa pelo clone C041 por unidade de água transpirada ao longo do período de avaliação.

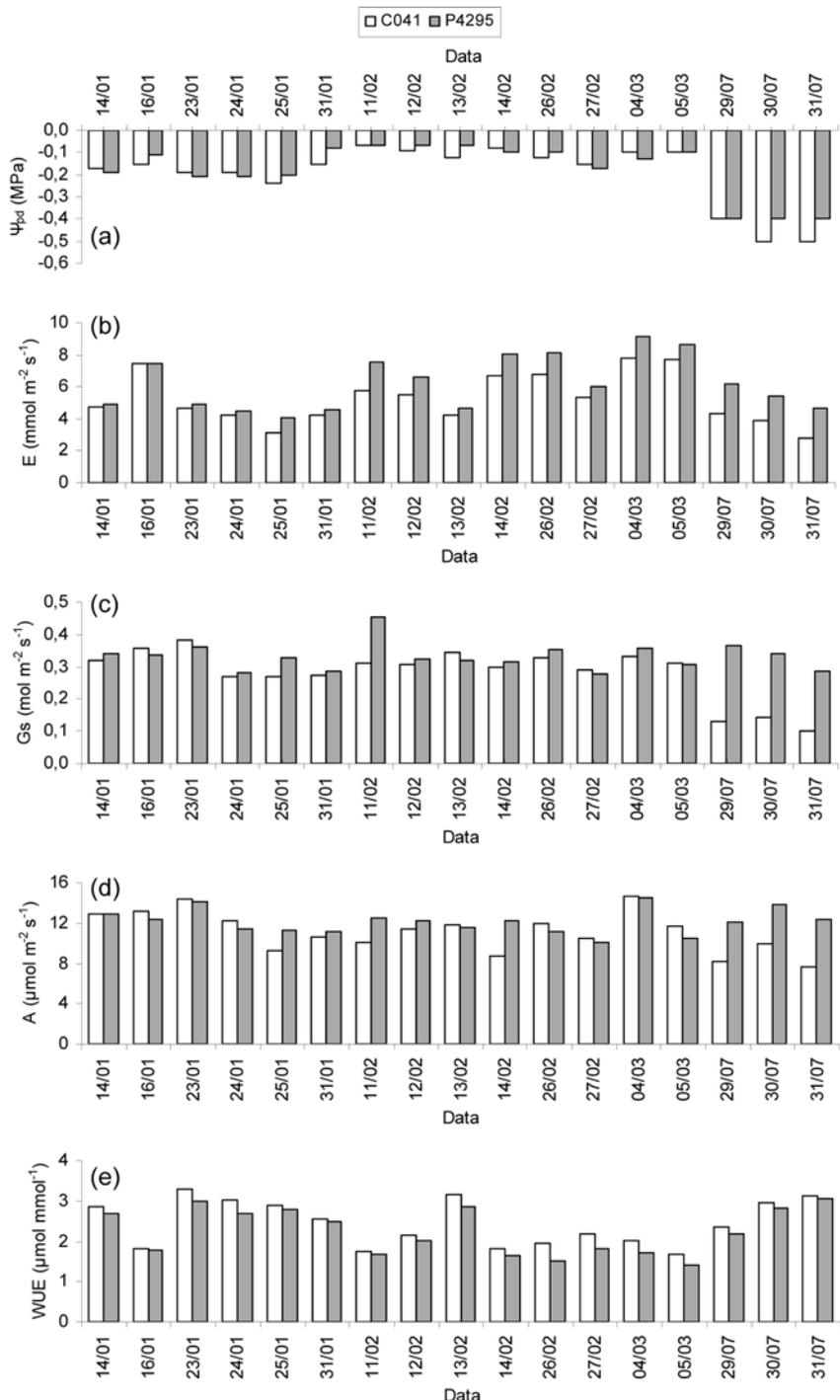


Figura 2. Média diária do (a) potencial hídrico foliar antemanhã (Ψ_{pd}), (b) transpiração (E), (c) condutância estomática (Gs), (d) fotossíntese (A) e (e) eficiência do uso da água (WUE) dos clones C041 e P4295 para o período de janeiro a julho de 2008.

Figure 2. Daily mean(a) predawn leaf water potential (Ψ_{pd}), (b) transpiration (E), (c) stomata conductance (Gs), (d) photosynthesis (A) and (e) efficiency of water use (WUE) of clones C041 and P4295 for the period of January to July 2008.

Curso horário das condições climáticas e seus efeitos sobre as trocas gasosas

A Figura 3 apresenta os valores médios horários das variáveis fisiológicas e ambientais observados para os clones em um dia característico do período de avaliação. Os clones apresentaram as maiores trocas gasosas no intervalo de 11:00 (clone C041, $12,1 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) e 12:00 horas (clone P4295, $12,7 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) (Figura 3a). A Gs não acompanhou a E, observando-se valores médios máximos no início da manhã com posterior declínio ao longo do dia e leve incremento às 14:00 horas, quando também ocorreu um acréscimo no DPV e Rg. A maior Gs foi observada às 9:00 horas, com $0,47$ e $0,63 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ para os clones C041 e P4295, respectivamente (Figura 3b). Os maiores valores de A foram

observados entre 9:00 e 10:00 horas, com máxima de $16,8$ e $19,9 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ para os clones C041 e P4295, respectivamente (Figura 3c). Nota-se que, especialmente a E do clone P4295 acompanhou a curva de Rg e DPV (Figuras 3e e 3f), inclusive ao final do dia, com uma leve recuperação das respostas fisiológicas às 16:00 horas ocasionado, provavelmente, pelo incremento dessas variáveis ambientais no mesmo horário. No intervalo horário de medição dos parâmetros fisiológicos, a Rg média variou de 185 a 941 W m^{-2} , com máxima média às 12:00 horas. Para este mesmo intervalo, o DPV médio esteve entre $0,9$ e $2,4 \text{ kPa}$, observando-se a média máxima às 16:00 horas. Na comparação entre os clones, o clone P4295 manteve valores superiores de E, Gs e A em relação ao clone C041.

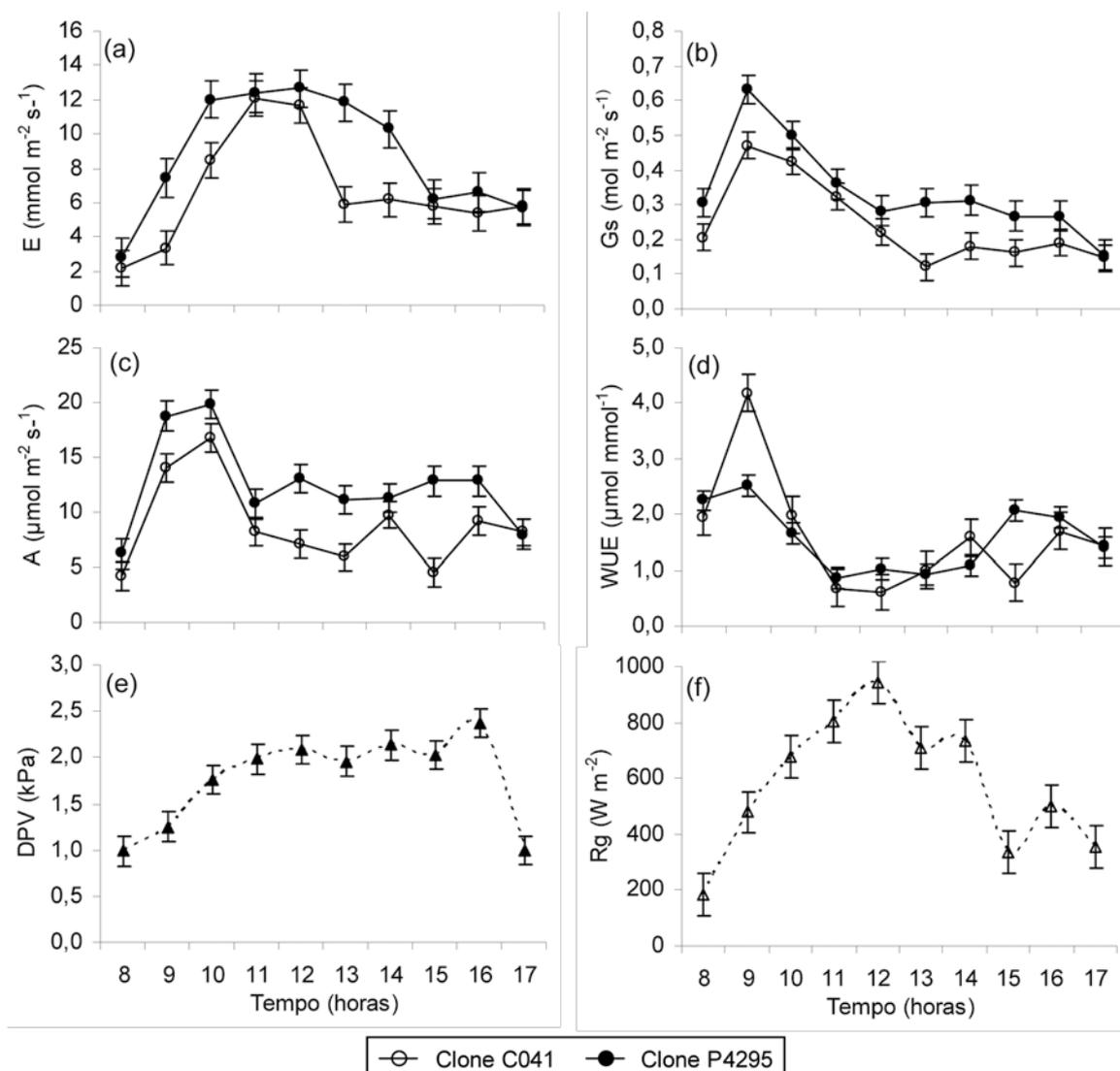


Figura 3. Valores médios horários de E (a), Gs (b), A (c), WUE (d), DPV (e) e Rg (f) observados ao longo de um dia característico (14 de fevereiro) para os clones C041 e P4295. Campo experimental, FEAGRI/UNICAMP, 2008. Cada ponto representa a média de 4 observações e as barras verticais o erro médio padrão.

Figure 3. Hourly mean values of E (a), GS (b), A (c), WUE (d), VPD (e) and Rg (f) observed along a sunny day (February 14) for clones C041 and P4295. Experimental field, FEAGRI / UNICAMP, 2008. Each point represents the mean of 4 observations and the vertical bars represent the mean standard error.

Relações entre E, Gs e A em função da Qleaf e DPV

Nas Figuras 4 e 5 são apresentadas as interações entre as trocas gasosas e as variáveis ambientais Qleaf e DPV para os clones C041 e P4295. Na caracterização da influência do DPV na E, optou-se pela avaliação do comportamento da E separadamente no período da manhã e tarde em virtude da maior demanda evaporativa da atmosfera no período da tarde (CUEVAS *et al.*, 2006; NICOLÁS *et al.*, 2008; O'GRADY *et al.*, 2008). A Figura 4 mostra que os valores de E, Gs e A acompanharam a evolução da Qleaf. O clone C041 apresentou E entre 1,3 a 13,3 mmol m⁻² s⁻¹ para Qleaf no intervalo de 34 e 2097 μmol m⁻² s⁻¹, ao passo que, para o clone P4295, as taxas de E estiveram entre 0,8 a 14,7 mmol m⁻² s⁻¹ e Qleaf, 60 a 2247 μmol m⁻² s⁻¹ (Figura 4a). O DPV do período de avaliação encontrou-se entre 0,3 e 2,8 kPa. Os maiores valores de E em função do DPV ocorreram no período da manhã, com incremento linear da E a medida que a demanda atmosférica se intensificava (Figura 5a). Os valores máximos de E encontraram-se próximos a 15 mmol m⁻² s⁻¹ para ambos os clones. No período da tarde o incremento da E com o aumento do DPV foi menor, concentrando-se os dois clones na faixa de 8 mmol m⁻² s⁻¹ (Figura 5b).

Assim como observado na relação E x Qleaf, a Gs acompanhou o incremento da Qleaf nos dois clones (Figura 4b). Entretanto, com relação ao DPV, o padrão de resposta entre eles foi diferente (Figura 5c). Para o clone C041 a Gs mostrou uma resposta de menor amplitude, concentrada na faixa de 0,1 a 0,5 mol m⁻² s⁻¹. Em contrapartida, para o clone P4295 observou-se a redução da Gs com o incremento do DPV, com valores próximos a 0,7 mol m⁻² s⁻¹ em situações de 1,0 kPa à 0,02 mol m⁻² s⁻¹ em extremos de DPV.

Interdependência das variáveis fisiológicas e ambientais

Para melhor compreender a interdependência das variáveis fisiológicas (E e Gs) e as ambientais (Qleaf e DPV), foi estabelecida uma razão entre a média horária de todos os valores observados ao longo do período de estudo de E, Gs e A e respectivas médias horárias de Qleaf e DPV (Tabela 1). Com essa razão média, buscou-se excluir a influência da variação do gradiente de concentração de água e Qleaf ou DPV e dessa forma, caracterizar a diferença no comportamento de difusão em função somente da estrutura e da fisiologia dos clones.

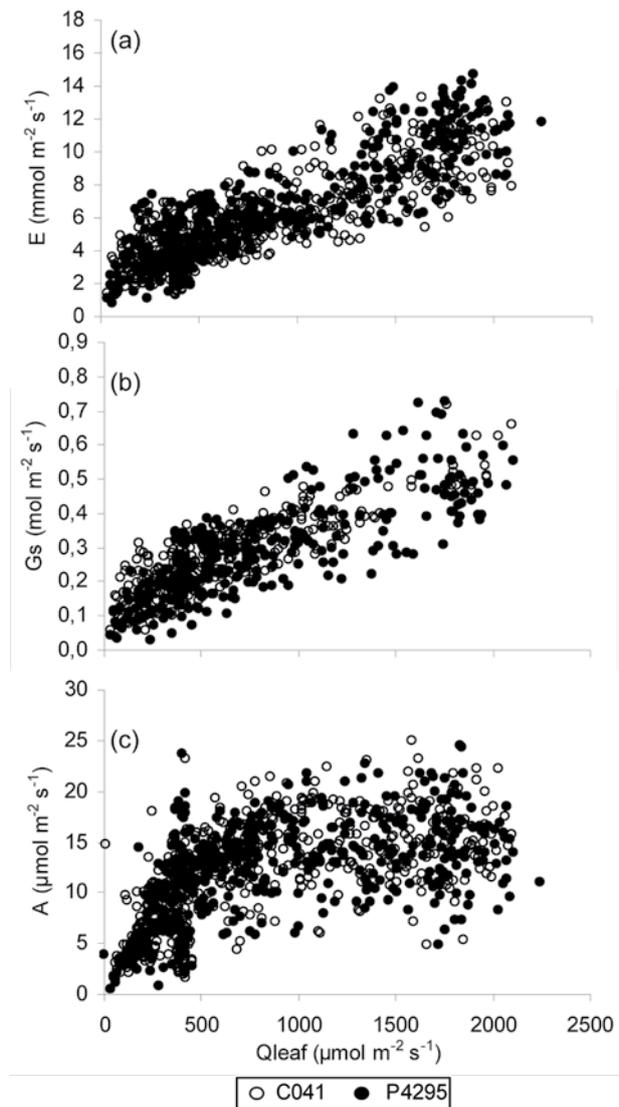


Figura 4. Relação entre E x Qleaf (a), Gs x Qleaf (b) A x Qleaf (c) em povoamento clonal de *Eucalyptus* sp, C041 e P4295. Campo experimental FEAGRI/UNICAMP, janeiro a julho de 2008. Cada ponto representa a média de 4 observações.

Figure 4. Relation between E x Qleaf (a), x Gs Qleaf (b) x Qleaf (c) in a clonal stand of *Eucalyptus* sp, C041 and P4295. Experimental field FEAGRI / UNICAMP, from January to July 2008. Each point represents the mean of four observations.

Nesse sentido, os clones apresentaram-se semelhantes nas relações E/Qleaf, Gs/DPV, A/Qleaf e A/DPV, onde não foram observadas diferenças estatísticas. Nas demais avaliações, o clone P4295 mostrou maiores valores médios de E/DPV quando comparado ao clone C041, tanto no período da manhã quanto à tarde. Isto é, encontrando-se os dois clones sob uma mesma condição de DPV, o clone P4295 realizou maiores trocas de E. A razão E/DPV – manhã variou de 1,74 a 16,36 e 2,29 a 11,71 mmol m⁻² s⁻¹ kPa⁻¹ para clone C041 e P4295, respectivamente. No período da tarde, os valores se encontraram na faixa de 1,22 a 10,91 e 2,31 a 10,52 mmol m⁻² s⁻¹ kPa⁻¹ para o clone C041

e P4295, respectivamente. Em contrapartida, o clone C041 apresentou maior Gs em resposta à Qleaf, com valores entre 246 a 2553 mol μmol^{-1} , e o clone P4295 entre 127 a 2207 mol μmol^{-1} . Como não foi observada diferença estatística entre os clones na relação E/Qleaf, os resultados sugerem que embora a abertura estomática em resposta à Qleaf seja maior para o clone C041, a taxa de E em função dessa mesma variável ambiental foi semelhante entre os clones. Sendo assim, o clone P4295 necessita de uma menor Gs para que o fluxo de transpiração seja igualado ao do clone C041, comportamento este já verificado na Figura 2. Do mesmo modo segue a A.

A tabela 2 mostra os valores de correlação simples entre os parâmetros fisiológicos e ambientais. De forma geral, as respostas fisiológicas entre os clones em relação às variáveis ambientais mostraram-se muito semelhantes. A melhor correlação foi observada entre E, Gs, A e Qleaf para os dois clones. Isto mostra que, para estas condições de Ψ_{pd} , o comportamento das variáveis E, Gs e A esteve melhor associado à radiação incidente na folha. A melhor interação da E com o DPV ocorreu no período da manhã, vindo a reforçar o já observado na Figura 5. No período da manhã este comportamento pode estar relacionado ao fato do DPV acompanhar

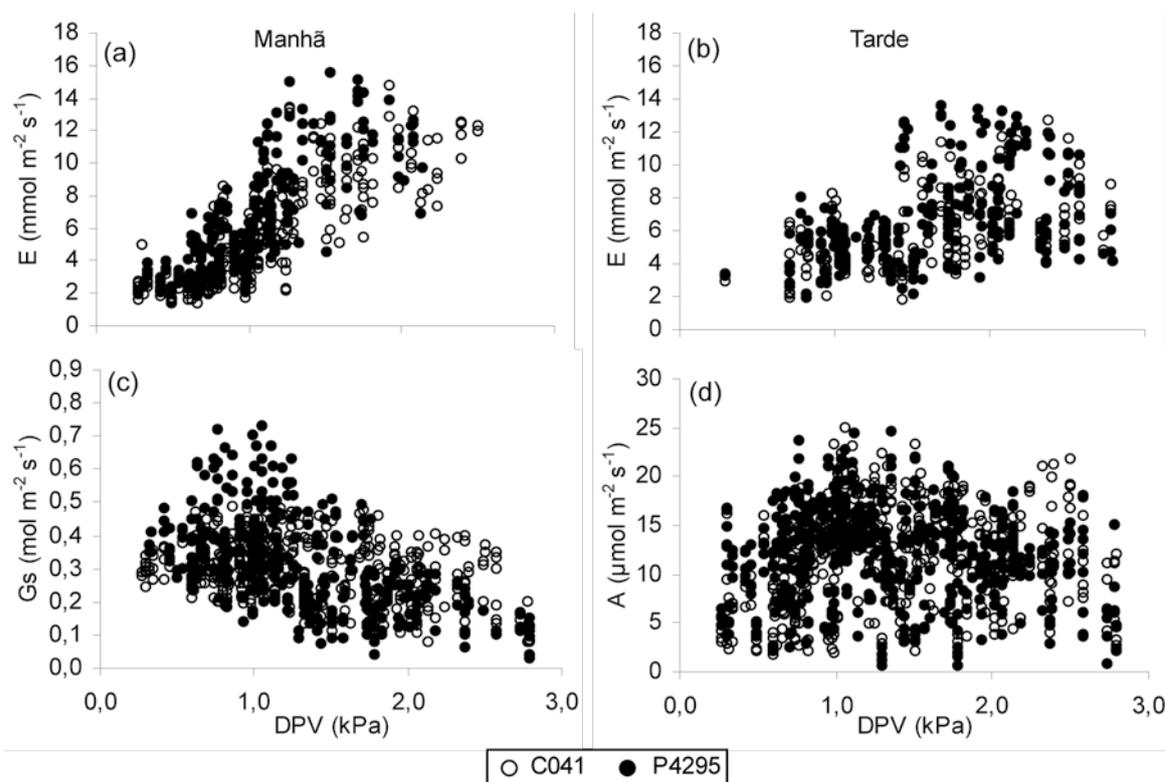


Figura 5. Relação entre E x DPV manhã (a) e tarde (b), Gs x DPV (c) e A x DPV (d) em povoamento clonal de *Eucalyptus* sp, C041 e P4295. Campo experimental FEAGRI/UNICAMP, janeiro a julho de 2008. Cada ponto representa a média de 4 observações.

Figure 5. Relation between E x VPD morning (a) and afternoon (b) Gs x VPD (c) and A x VPD (d) in a clonal stand of *Eucalyptus* sp, C041 and P4295. Experimental field FEAGRI / UNICAMP, from January to July 2008. Each point represents the mean of four observations.

Tabela 1. Valores médios \pm erro padrão da razão E/Qleaf, E/DPV, Gs/Qleaf, Gs/DPV, A/Qleaf e A/DPV para os clones C041 e P4295. Campo experimental FEAGR/UNICAMP, janeiro a julho de 2008.

Table 1. Mean values \pm standard error of the ratio E / Qleaf, E / VPD, Gs / Qleaf, Gs / VPD, A / Qleaf and A / VPD for clones C041 and P4295. Experimental field FEAGRI / UNICAMP, from January to July 2008.

	C041		P4295	
E / Qleaf (mmol μmol^{-1})	9,31 \pm 0,29	A	9,77 \pm 0,28	A
E / DPV - manhã (mmol m ⁻² s ⁻¹ kPa ⁻¹)	5,10 \pm 0,12	A	6,19 \pm 0,12	B
E / DPV - tarde (mmol m ⁻² s ⁻¹ kPa ⁻¹)	3,94 \pm 0,11	A	5,71 \pm 0,36	B
Gs / Qleaf (mol μmol^{-1})	566 \pm 21	A	465 \pm 15	B
Gs / DPV (mol m ⁻² s ⁻¹ kPa ⁻¹)	0,29 \pm 0,01	A	0,32 \pm 0,01	A
A / Qleaf ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1} / \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	0,03 \pm 0,006	A	0,06 \pm 0,04	A
A / DPV ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1} \text{kPa}^{-1}$)	10,6 \pm 0,29	A	11,2 \pm 0,32	A

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

Means followed by the same letter in lines do not differ among themselves by Tukey test at 5% probability.

neste período o incremento da Rg. Nesta situação, essas duas variáveis ambientais conjuntas irão impulsionar as trocas gasosas até às 12:00 horas, onde a Rn praticamente atinge seu valor máximo. Resta então no período da tarde, somente a demanda pelo DPV, que segue com o seu incremento até por volta das 16:00 horas. Como anteriormente verificado na Figura 5c, os clones apresentaram correlação negativa na interação Gs x DPV, mostrando a redução da Gs com o incremento do DPV. A relação de A com DPV não foi significativa em nenhum dos clones, justificando a não observância de uma tendência de comportamento na Figura 5d.

Eficiência do uso da água (WUE)

De modo a verificar a interdependência da WUE e Qleaf, estabeleceu-se a razão entre a média horária dos valores observados ao longo do período de estudo de WUE e respectivas médias horárias de Qleaf. Com essa razão média, buscou-se excluir a influência da variação do gradiente de concentração de água e Qleaf e, assim, caracterizar a diferença entre os clones no comportamento de difusão em função somente da estrutura e da fisiologia. Como visualizado na Figura 6a, os clones apresentaram uma tendência exponencial de comportamento da WUE/Qleaf em função da Qleaf, contudo, mostraram-se estatisticamente diferentes na relação ao nível de 5% de probabilidade. As maiores relações foram obtidas em baixos níveis de Qleaf seguindo de forma decrescente com o aumento da mesma, muito embora o clone P4295 tenha apresentado menor amplitude de variação de WUE/Qleaf. Na curva exponencial de ambos os clones verifica-se duas situações distintas: uma caracterizada pela descida e outra, pela quase linearidade da curva, destacadas nas Figuras 6b e 6c, respectivamente. No momento de transição entre elas existe um “ponto de equilíbrio”,

Tabela 2. Matriz de correlação simples entre E, Gs, A, Qleaf e DPV para os clones C041 e P4295.

Table 2. Simple correlation matrix between E, Gs, A, Qleaf and VPD for clones C041 and P4295.

Parâmetros	C041	P4295
E x Qleaf	0,83**	0,87**
E x DPV - manhã	0,83**	0,80**
E x DPV - tarde	0,47**	0,46**
Gs x Qleaf	0,85**	0,81**
GS x DPV	-0,33**	-0,54**
A x Qleaf	0,61**	0,54**
A x DPV	0,02ns	-0,12ns

** = correlação significativa ao nível de 1%, ns = não significativo

** = Correlation significant at 1% level, ns = non significant

ou seja, a fase de mudança do comportamento. Para o clone C041 este momento foi observado em $476 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ao passo que para o clone P4295 este encontro foi superior em cerca de 88% com $570 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$.

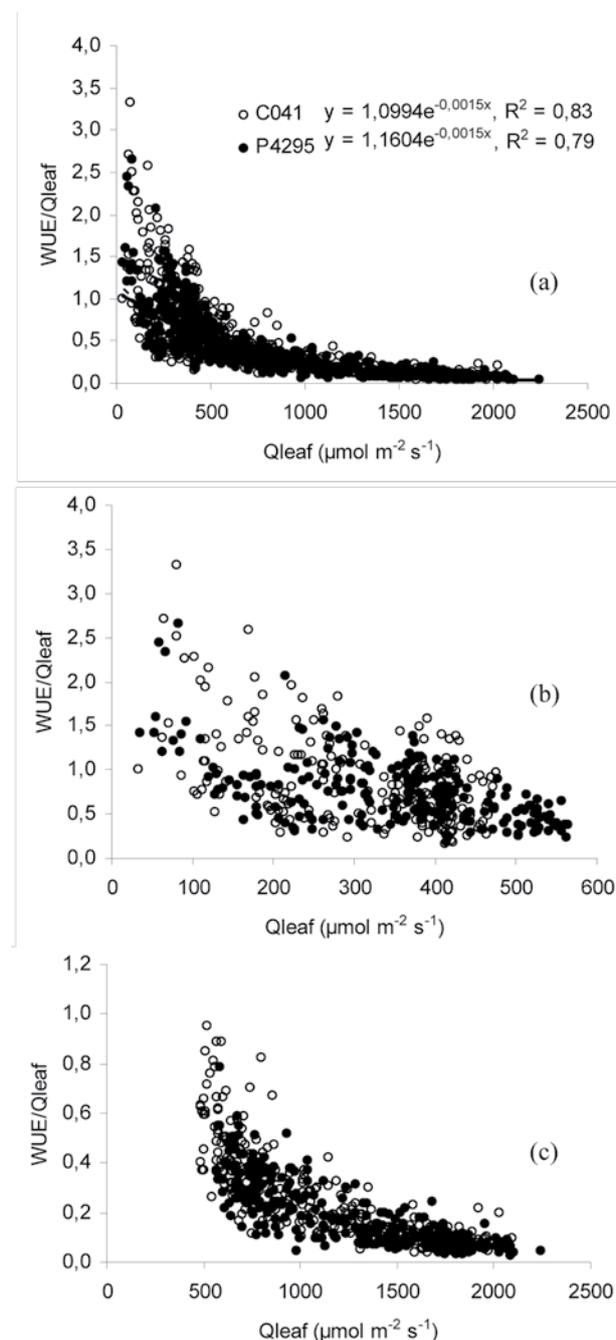


Figura 6. Relação entre WUE/Qleaf e Qleaf em um plantio clonal de *Eucalyptus* sp. ao longo de todo o período de estudo (a); detalhamento do comportamento na faixa de 0 – 600 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ (b), detalhamento do comportamento na faixa de 500 – 2500 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ (c). FEAGRI/UNICAMP, SP, Brasil. Agosto, 2008. Cada ponto representa a média de 4 observações.

Figure 6. Relation between WUE / Qleaf and Qleaf in a clonal plantation of *Eucalyptus* sp throughout the study period (a), detailing the behavior in the range from 0 to 600 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ (b), detailing the behavior in the range from 500 to $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ (c). FEAGRI / UNICAMP, Brazil. August, 2008. Each point represents the mean of four observations.

DISCUSSÃO

O crescimento e desenvolvimento de espécies vegetais em condições de campo experimentam ocasionais períodos de seca e, quando isso ocorre, depende de cada espécie/genótipo a habilidade no controle de perda de água enquanto mantem seu crescimento (LIMA *et al.*, 2003). De acordo com Jones (1994), o funcionamento dos estômatos constitui um comprometimento fisiológico: quando abertos, permitem a assimilação de gás carbônico; fechando-se, conservam água e reduzem o risco de desidratação. A taxa transpiratória está relacionada com a produção de biomassa, uma vez que o CO₂ assimilado e a água perdida por transpiração estão sob controle estomático (KRAMER; BOYER, 1995). Thomas e Fukay (1995) observaram maior transpiração em plantas com plena disponibilidade de água do que naquelas sob deficiência hídrica.

Em uma manhã ensolarada, quando há água abundante e a radiação solar incidente nas folhas favorece a atividade fotossintética, cresce a demanda por CO₂ e os estômatos se abrem, diminuindo a resistência estomática à difusão de CO₂. A perda de água por transpiração é também substancial em tais condições, mas, uma vez que o suprimento hídrico é abundante, é vantajoso para a planta intercambiar a água por produtos da fotossíntese, essenciais ao crescimento e reprodução (TAIZ; ZEIGER, 2004). Inoue e Ribeiro (1988), estudando clones de *Eucalyptus grandis* e *E. saligna*, demonstraram que em clones que apresentaram alto potencial fotossintético foram também os que alcançaram as maiores taxas de transpiração.

Os valores de E e Gs obtidos neste estudo concordam com os observados por Tatagiba *et al.* (2007) e Carneiro *et al.* (2008), ambos para plantação de *Eucalyptus* spp. no Brasil e White *et al.* (2000) para plantações de *Eucalyptus globulus* na Tasmânia. Como observado nas Figuras 3 a 6, os clones apresentaram tendências semelhantes de respostas das variáveis ecofisiológicas. Fato que se deve destacar é que, mesmo sendo similar o estado hídrico das folhas dos clones, encontrou-se diferença na E em resposta ao DPV e Gs em resposta à Qleaf. Pode-se atribuir essas diferenças nas trocas gasosas, ao fato de se ter utilizado diferentes genótipos, em que cada um responde de forma diferenciada às condições ambientais prevalentes.

A reação dos estômatos à luz já é conhecida há tempos. Os estômatos abrem-se com o aumento da intensidade luminosa e fecham-se

no escuro. Aparentemente, os cloroplastos das células estomáticas agem como sensores luminosos, que comandam a resposta dos estômatos à variação na intensidade de luz. Essa correlação direta entre luz e resposta estomática, como também observado no Tabela 2 e Figuras 4 e 6, tem sido encontrada em muitas espécies vegetais (BONO *et al.*, 2001; DAVID *et al.*, 2002).

O padrão de resposta da Gs em função do DPV obtido neste estudo é uma característica comum em muitas espécies florestais (BUCKLEY, 2005; DAVID *et al.*, 2002; LIMA, 1996; PEREIRA *et al.*, 1987). Lima (1996) apresentou em seu livro "Impacto Ambiental do Eucalipto" várias situações semelhantes às constatadas neste estudo. Por exemplo, no curso horário da Gs de plantações de *E. grandis* e *E. globulus*, os maiores valores de Gs foram observados no início da manhã. A Gs constitui um compromisso entre as necessidades de conservar água e de manter a taxa de assimilação em níveis compatíveis com a capacidade intrínseca de fixação do carbono no mesófilo foliar. Como pode ser visualizado na Figuras 3 e 5, os estômatos permaneceram mais abertos quando o déficit de pressão de vapor foi mais baixo. Por sua vez, esse fato reflete a diferença de resposta da transpiração em relação ao DPV nos períodos de manhã e tarde (Figura 5). Esse fechamento é um padrão de resposta estomática bem desenvolvida em muitas espécies (BUCKLEY, 2005; CHALLINOR; WHEELER, 2008 DAVID *et al.*, 2002; FETENE; BECK, 2004;), inclusive em eucaliptos (KALLARACKAL; SOMEN, 1997; O'GRADY *et al.*, 2008, TATAGIBA *et al.*, 2008; WHITE *et al.*, 2000). Hidrologicamente, essa resposta estomática ao DPV mostra que os processos da transpiração e de assimilação de gás carbônico estão ligados dentro de uma estratégia fisiológica de resposta da planta a condições ambientais variáveis. Nesse sentido, essa resposta evolui no sentido de maximizar a relação entre a taxa média de fotossíntese à taxa média de transpiração ao longo de um dado nível de flutuação de fatores ambientais, otimizando a eficiência do uso da água (unidades de carbono fixado por unidade de água transpirada).

É fato reconhecido que a de pressão de vapor d'água entre o interior da folha e o ar externo (DPV) é um importante fator ambiental que afeta o funcionamento estomático. Contudo, as causas para esse acontecimento ainda não são muito compreendidas na literatura. Streck (2003) realizou uma revisão sobre o assunto e analisou a resposta estomática ao DPV em plantas supe-

riores e os possíveis mecanismos propostos para explicar esta resposta. De acordo com o autor, os resultados são conflitantes. Quando existe resposta estomática ao DPV, o mecanismo que causa esta resposta também não é bem entendido, sendo duas hipóteses propostas para este mecanismo. A hipótese de "feedforward", que atribui a diminuição da Gs com o aumento do DPV ao ácido abscísico (ABA). Na hipótese de "feedback" ou retroalimentação, Gs diminui com o aumento do DPV devido ao aumento na transpiração foliar, o que abaixa o potencial de água na folha. Ou seja, o aumento da E poderia ser responsável pelo fechamento dos estômatos devido ao aumento do gradiente de potencial de água entre as células-guardas e outras células da epiderme ou simplesmente, pela redução do potencial de água na folha (FRIEND, 1991; MONTEITH, 1995; STEWART; DWYER, 1983). Estes dois mecanismos têm sido objeto de debates na comunidade científica, pois existem resultados publicados na literatura que suportam ambas as hipóteses. Em todo caso, nossos resultados concordam com o comportamento justificado pela hipótese de "feedback", até por quê não fizemos análise do ABA durante o estudo. Streck (2003) conclui seu trabalho como um assunto não resolvido, justificando a continuação da pesquisa nesta área.

De fato, se a tendência do aumento da transpiração com o aumento do DPV se opõe à tendência de fechamento dos estômatos com o aumento desse déficit, a taxa de transpiração tende ser assintótica, ou seja, tende a atingir um valor máximo e depois declina. Assim, essa resposta estomática ao DPV significa existência de um teto para a transpiração, como mostrado nas Figuras 4 e 5.

Apesar das restrições hídricas não terem sido notórias no decorrer deste estudo, os resultados evidenciam a ocorrência de limiares máximos diários e horários de transpiração e condutância estomática. Segundo McNaughton e Jarvis (1983) e Jarvis e McNaughton (1986), seria previsível um eficiente controle estomático em resposta ao aumento do déficit de pressão de vapor do ar e radiação. Este argumento tem sido usado por diversos autores (ALSHEIMER *et al.*, 1998; ANFODILLO *et al.*, 1998; DAVID *et al.*, 2002; GRANIER *et al.*, 1996; HOGG; HURDLE, 1997; INFANTE *et al.*, 1997; ZHANG *et al.*, 1999), para explicar relações de tipo assintótica entre a transpiração, condutância estomática e radiação, e condutância estomática e déficit de pressão de vapor, semelhantes às observadas neste estudo.

Implicações na produtividade, hidrologia e estratégias de manejo

Lima (1996) cita um estudo com *E. marginata* na Austrália Ocidental realizado por Shea *et al.* (1975). Estes autores afirmam que o *E. marginata* é capaz de transpirar a altas taxas durante os meses secos e quentes do verão, o que pode resultar numa diminuição do rendimento hídrico de bacias hidrográficas que contêm esse tipo de vegetação, correspondendo em cerca de 10% da precipitação anual. Algumas espécies simplesmente não desenvolveram nenhuma capacidade, ou desenvolveram apenas uma capacidade limitada de controle de transpiração, sendo, por isso, vulneráveis ao déficit hídrico. Essa característica provavelmente restringe a faixa de habitats onde tais espécies podem desenvolver-se competitivamente, ou mesmo sobreviver, além de influenciar significativamente o deflúvio nas bacias hidrográficas (CONNOR *et al.*, 1977; LANGFORD, 1976; LIMA, 1996).

Nas condições analisadas, a perda de água por transpiração em relação à incidência de radiação não mostrou diferença estatística entre os clones. Portanto, no estabelecimento desses clones em uma bacia hidrográfica seria indiferente plantá-los em porções do terreno que recebem maior ou menor radiação. No entanto, o clone P4295 apresentou maiores valores de transpiração, em especial quando associada ao déficit de pressão de vapor do ar, podendo provavelmente alcançar maior produtividade em condições de maior DPV (Tabela 1), no entanto, sua estratégia em economia de água, apresentou menor eficiência (Figura 2 e Tabela 1).

Em termos de manejo florestal, incluindo a preocupação com o aspecto hidrológico do sistema, nas áreas passíveis de exploração de uma bacia hidrográfica não seria recomendável à ocupação de todo o terreno somente com o clone P4295, o que poderia acarretar uma diminuição do deflúvio anual devido às condições já analisadas anteriormente. Do mesmo modo, na realização da colheita florestal do mesmo, seria interessante que esta fosse realizada em mosaicos, evitando-se assim, diferenças bruscas na produção anual de água da bacia hidrográfica.

CONCLUSÕES

Os maiores valores de fluxo de transpiração e condutância estomática foram observados para o clone P4295. Considerando as relações

de E, Gs e A em função da Qleaf e DPV, observou-se haver diferença entre os clones apenas nas relações E/DPV e Gs/Qleaf. Todas as correlações da E, Gs e A com Qleaf e DPV para os clones, mostraram-se significativas ao nível de 1%, salvo as relações de A x DPV. As melhores correlações ocorreram com as variáveis E, Gs e A com Qleaf. Os clones mostraram-se estatisticamente diferentes quanto à eficiência do uso da água por unidade de Qleaf. O modelo da WUE relacionado ao WUE/Qleaf mostrou-se robusto para os dois clones, embora não houve diferença significativa entre os dois modelos. De forma geral, o comportamento ecofisiológico dos clones mostrou diferenças nas relações E/DPV e Gs/Qleaf.

AGRADECIMENTOS

À Coordenadoria de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo financiamento deste estudo e à empresa forestal Fibria Celulose S.A. pelo fornecimento de apoios financeiro, logístico e recursos humanos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALSHEIMER, M.; KÖSTNER, B.; FALGE, E.; TENHUNEN, J.D. Temporal and spatial variation in transpiration of Norway spruce stands within a forested catchment of the Fichtelgebirge, Germany. *Annales des Sciences Forestières*, Paris, v.55, p.103-123, 1998.
- ANFODILLO, T.; RENTO, S.; CARRARO, V.; FURLANETTO, L.; URBINATI, C.; CARRER, M., *Et al.* Tree water relations and climatic variations at the alpine timberline: seasonal changes of sap flux and xylem water potential in *Larix decidua* Miller, *Picea abies* (L.) Karst. and *Pinus cembra* L. *Annales des Sciences Forestières*, Paris, v.55, p.159-172, 1998.
- BONO, L.; BERGAMASCHI, H.; ROSA, L.M.G.; FRANÇA, S.; RADIN, B.; SANTOS, A.O.; BERGONCI, J.I. Alterações no padrão de resposta à luz da condutância estomática do milho causadas pelo déficit hídrico. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, Sete Lagoas, v.9, n.1, p.27-34, 2001.
- BUCKLEY, T.N. The control of stomata by water balance. *New Phytologist*, Oxford, v.168, n.2, p.275-292. 2005.
- CALDER, I.A. *Evaporation in the uplands*. Chichester: John Wiley and Sons, 1990. 148 p.
- CARNEIRO, R.L.C.; RIBEIRO, A.; HUAMAN, C.A.M.; LEITE, F. P.; SEDIYAMA, G.C.; NEVES, J.C.L. Consumo de água em plantios de eucalipto: parte 1 determinação da condutância estomática em tratamentos irrigado e não-irrigado. *Revista Árvore*, Viçosa, v.32, n.1, p.1-10, 2008.
- CHALLINOR, A.J.; WHELLER, T.R. Use of a crop model ensemble to quantify CO₂ stimulation of water-stressed and well-watered crops. *Agricultural and Forest Meteorology*, New Haven, 148, n.6-7, p. 1062-1077. 2008.
- CHAVES, J.H.; REIS, G.G.; REIS, M.G.G.; 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*, Viçosa, v.28, n.3, p.333-341, 2004.
- CONNOR, D.J.; LEGGE, N.J.; TURNER, N.C. Water relations of mountain Ash (*Eucalyptus regnans*) F. Muell Forests. *Australian Journal of Plant Physiology*, Melbourne, v.4, p.753-762, 1977.
- CUEVAS, E.; BAEZA, P.; LISSARRAGUE, J.R. Variation in stomatal behaviour and gas exchange between mid-morning and mid-afternoon of north-south oriented grapevines (*Vitis vinifera* L. Cv. Tempranillo) at different levels of soil water availability. *Scientia Horticulturae*, Amsterdam, v.108, n.2, p.173-180, 2006.
- DAVID, T.S.; FERREIRA, I.; PEREIRA, J.S.; COHEN, S.; DAVID, J.S. Transpiração em Árvores Isoladas de um Montado de Azinho: evolução Sazonal e Condicionantes Hidráulicas. *Silva Lusitana*, Lisboa, v.10, n.2, p.133-149. 2002.
- EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. *Sistema Brasileiro de Classificação de solos*. Brasília: Embrapa, 1999. 412p.
- FETENE, M.; BECK, E.H. Water relations of indigenous versus exotic tree species, growing at the same site in a tropical montane forest in southern Ethiopia. *Trees*, Danvers, v.18, n.4, p.428-435. 2004.
- FLORENCE, R.G. *Ecology and silviculture of eucalypt forest*. Collingwood: CSIRO, 1996.
- FRIEND, A.D. Use of a model of photosynthesis and leaf microenvironment to predict optimal stomatal conductance and leaf nitrogen partitioning. *Plant, Cell and Environment*, Oxford, v.14, n.6, p.895-905, 1991.

- GAO, F. Water relations and gas exchange of tropical sapling during a prolonged drought in a Bornean heath forest, with reference to root architecture. **Journal of Tropical Ecology**, Cambridge, v.16, p.101-116, 2000.
- GRANIER, A.; HUC, R.; BARIGAH, S.T. Transpiration of natural rain forest and its dependence on climatic factors. **Agricultural and Forest Meteorology**, New Haven, v.78, n.1-2, p.19-29, 1996.
- HOGG, E.H., HURDLE, P.A. Sap flow in trembling aspen: implications for stomatal responses to vapor pressure deficit. **Tree Physiology**, Oxford, v.17, n.8-9, p.501-509, 1997.
- INFANTE, J.M.; RAMBAL, S.; JOFFRE, R. Modelling transpiration in holm-oak savannah trees: scaling up from the leaf to the canopy. **Agricultural and Forest Meteorology**, New Haven, v.87, n.4, p.273-289, 1997.
- INOUE, M.T.; RIBEIRO, F.A. Fotossíntese e transpiração em *Eucalyptus grandis* e *saligna*. **IPEF**, Piracicaba, n.40, p.15-20, 1988.
- JARVIS, P.G.; MCNAUGHTON, K.G. Stomatal Control of transpiration: scaling up from leaf to region. In MACFADYEN, A.; FORD, E.D. (Eds.). **Advances in Ecological Research**. London: Academic Press, 1986, p.1-49.
- JARVIS, P.G. Stomatal response to water stress in Conifers. In: TURNER, N. C.; KRAMER, P. J. (Eds.) **Adaptation of plants to water and high temperature stress**. New York: John-Wiley, 1980. p.105-122.
- JONES, H.G. **Plants and microclimate: a quantitative approach to environmental plant physiology**. 2ed. Cambridge: University Press, 1994, 428p.
- KALLARACKAL, J.; SOMEN, C.K. An ecophysiological evaluation of the suitability of *Eucalyptus grandis* for planting in the tropics. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v.95, n.1, p.53-61. 1997.
- KAUFMANN, M.R.; LINDER, S. Tree physiology research in a changing world. **Tree Physiology**, Victoria, v.16, n.1-2, p.1-4, 1996.
- KRAMER, P.J.; BOYER, J.S. **Water relations of plants and soils**. San Diego: Academic Press, 1995. 495p.
- LANGFORD, K.J. Changes in Yield of water following a bushfire in a forest of *Eucalyptus regnans*. **Journal of Hydrology**, Amsterdam, v.29, n.1-2, p.87-114, 1976.
- LIMA, W.P. **Impactos ambientais do eucalipto**. 2ed. São Paulo: EDUSP, 1996, 301p.
- LIMA, W.P.; JARVIS, P.; RHIZOPOULOU, S. Stomatal responses of *Eucalyptus* species to elevated CO₂ concentration and drought stress. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.60, n.2, p.231-238, 2003.
- MCNAUGHTON, K.G.; JARVIS, P.G. Predicting effects of vegetation changes on transpiration and evaporation. In KOSLOWKI, T.T. (Ed.). **Water Deficits and Plant Growth**. New York: Academic Press, 1983, p.1-47.
- MIELKE, M.S.; OLIVA, M.A.; BARROS, N.E.; PENCHEL, R.M.; MARTINEZ, C.A., ALMEIDA, A.C. Stomatal control of transpiration in canopy of the clonal *Eucalyptus grandis* plantation. **Trees**, New York, v.13, n.1, p.152-160, 1999.
- MONTEITH, J.L. A reinterpretation of stomatal responses to humidity. **Plant, Cell and Environment**, Oxford, v.18, n.2, p.357-364, 1995.
- NICOLÁS, E.; BARRADAS, V.L.; ORTUÑO, M.E.; NAVARRO, A.; TORRECILLAS, A.; ALARCÓN, J.J. Environmental and stomatal control of transpiration, canopy conductance and decoupling coefficient in young lemon trees under shading net. **Environmental and Experimental Botany**, Oxford, v.63, n.1-3, p.200-206, 2008.
- O'GRADY, A.P.; WORLEDGE, D.; BATTAGLIA, M. Constraints on transpiration of *Eucalyptus globulus* in southern Tasmania, Australia. **Agricultural and Forest Meteorology**, New Haven, v.148, n.3, p.453-465, 2008.
- PEREIRA, J.S.; TENHUNEN, J.D.; LANGE, O.L. Stomatal control of photosynthesis of *Eucalyptus globulus* Labill, trees under field conditions in Portugal. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v.38, p.1678-1688, 1987.
- PEREIRA, A.; ANGELOCCI, L.R.; SENTELHAS, P.C. **Agrometeorologia fundamentos e aplicações**. Guaíba: Agropecuária, 2002. 478p.

- SCHOLANDER, P.F.; HAMMEL, H.T.; BRADSTREET E.D.; HEMMINGSEN, E.A. Sap pressure in vascular plants. *Science*, Washington, v.148, p.339-346, 1965.
- SOARES, J.V; ALMEIDA, A.C. Modeling the water balance and soil water fluxes in a fast growing *Eucalyptus* plantation in Brazil. *Journal of Hydrology*, Amsterdam, v.253, n.1-4, p.130-147, 2001.
- STEWART, D.W.; DWYER, L.M. Stomatal response to plant water deficits. *Journal of Theoretical Biology*, London, v.104, n.3, p.655-666, 1983.
- STRECK, N.A. Stomatal response to water vapor pressure deficit: an unsolved issue. *Revista Brasileira Agrociência*, Pelotas, v.9, n.4, p.317-322, 2003.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E. *Fisiologia vegetal*. 3ed. Porto Alegre: Artemed, 2004. 719p.
- TATAGIBA, S.D.; 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*, Curitiba, v.38, n.2, 2008
- TATAGIBA, S.D.; 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*, Lavras, v.13, n.2, p.149-159, 2007.
- THOMAS, S.; FUKAY, S. Growth and yield response of barley and chickpea to water stress under three environments in Southeast Queensland. III Water use efficiency, transpiration efficiency and soil evaporation. *Australian Journal of Agricultural Research*, Victoria, v.46, p.35-48, 1995.
- WHITE, D.A.; BEADLE, C.L.; WORLEDGE, D. Control of transpiration in an irrigated *Eucalyptus globulus* Labill. Plantation. *Plant, Cell and Environment*, Oxford, v.23, n.2, p.123-134. 2000.
- WHITEHEAD, D.; HINCKLEY, T.M. Models of water flux through forest stands: critical leaf and stand parameters. *Tree Physiology*, Victoria, v.9, n.1-2, p.35-57, 1991.
- ZHANG, H.; MORISON, J.I.L.; SIMMONDS, L.P. Transpiration and water relations of poplar trees growing close to the water table. *Tree Physiology*, Oxford, v.19, n.9, p.563-573, 1999.

Recebido em 08/02/2011

Aceito para publicação em 27/09/2011

