

INFLUÊNCIA DE SOLOS DE DIFERENTES TEXTURAS NO DESENVOLVIMENTO DE PLANTAS DE *Eucalyptus urograndis* SUBMETIDAS A DÉFICIT HÍDRICO

Maria Renata Rocha Pereira¹; Antônio Evaldo Klar¹; André Luiz Melhorança Filho²; Andréia Cristina Peres Rodrigues²; Magali Ribeiro da Silva³.

¹Departamento de Engenharia Rural, Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Botucatu, SP, mariarenata@fca.unesp.br

²Departamento de Melhoramento e Produção Vegetal, Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Botucatu, SP

³Departamento Recursos Naturais, Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Botucatu, SP

1 RESUMO

O estudo foi desenvolvido com plantas de *Eucalyptus urograndis* em casa de vegetação, localizada na Faculdade de Ciências Agronômicas da UNESP, campus de Botucatu - SP, nos meses de março a julho de 2005, com o objetivo de avaliar os efeitos do estresse hídrico nas características morfológicas e fisiológicas, em dois solos de diferentes texturas argilosa (solo 1) e média (solo 2). O delineamento experimental foi o inteiramente casualizado, fatorial, com quinze repetições. O manejo hídrico foi estabelecido com base em dois potenciais mínimos de água no solo (Ψ_w): -0,03 MPa e -1,5 MPa. Os resultados demonstraram que as plantas dos tratamentos sem estresse hídrico tiveram maiores valores em todas características morfológicas em relação às submetidas a déficit hídrico. Plantas cultivadas em solos de textura média apresentaram significativa redução de 43% na área foliar, 34% no diâmetro de colo, 54% na matéria seca de parte aérea e, em solos de textura argilosa, houve redução de 42,3% na área foliar, 39,5% no diâmetro de colo e 42% na matéria seca radicular, com restrição hídrica em relação às irrigadas no tratamento -0,03 MPa. O menor valor de potencial hídrico foliar (\square_f) foi -17,166 MPa (solo 2 sob estresse), e o maior potencial, -6,766 MPa, no solo 1 sem estresse hídrico. Os tratamentos sem estresse hídrico tiveram maior transpiração se comparados àqueles sob déficit hídrico com diferenças de até 11,3%. Verificou-se que os tratamentos sob $\square_w = -1,5$ MPa e solo de textura média apresentaram maiores valores de resistência estomática (R_s) em todos os horários medidos, sendo 14 h o horário mais crítico, com valores de até 2,149 s.cm⁻¹. A temperatura foliar (T_f) mostrou correlação significativa com R_s , onde tratamentos com solo de textura média se mostraram mais sensíveis, chegando a 32°C.

UNITERMOS: estresse hídrico, potencial de água, transpiração, resistência estomática.

PEREIRA, M. R. R.; KLAR, A. E.; MELHORANÇA FILHO, A. L.; RODRIGUES, A. C. P.; SILVA, M. R. da. DIFFERENT SOIL HYDRIC DEFICIT AND TEXTURE INFLUENCE ON *Eucalyptus urograndis* PLANTS

2 ABSTRACT

The studies were developed with plants of *Eucalyptus urograndis* under greenhouse conditions, at Paulista State University (UNESP), Botucatu - SP, from March to July, 2005. The objective was to evaluate hydric stress influence on morphological and physiological characteristics of plants in clayey (1) and medium (2) soil texture. Two water treatments were used: -0.03 and -1.5 MPa minimum soil water potentials (ψ_w). Plants from soil 2 and -1.5MPa showed 43% reduction on leaf area, 34% on base stem diameter, 54% on aerial vegetal dry matter and plants from soil 1 presented 42.3% reduction on leaf area, 39.5% base stem diameter and 42% dry matter root reduction in relation to -0.03 MPa. The lowest leaf water potential (ψ_f) value was -17.166 MPa on $\psi_w = -1.5$ MPa and soil 2 and the greatest one on soil 1 and $\psi_w = -0.03$ MPa, -6.766 MPa. The treatment -0.03MPa showed about 11.3% higher transpiration values than those plants from -1.5MPa. The higher R_s value (2.149 s.cm^{-1}) occurred on plants under -1.5MPa and soil 2. There was significant correlation between T_f and R_s , and the treatments from medium soil were more sensitive, reaching until 32°C.

KEY WORDS: hydric stress, transpiration water potential and stomatal resistance

3 INTRODUÇÃO

Existem fatores genéticos, ambientais e outros que afetaram a resposta das plantas ao déficit de água. Para Carlesso (1995), a quantidade de água armazenada no solo varia com a textura, o que leva as plantas a apresentarem diferentes comportamentos em relação aos mecanismos de adaptação. A resposta das plantas ao déficit hídrico tem sido estudada por diversos autores, sugerindo vários mecanismos de adaptação utilizados durante o ciclo, que podem afetar o seu desenvolvimento normal. Mecanismos como o da transpiração interferem no potencial de água dos tecidos durante um período de déficit, sendo de importância na determinação da taxa de crescimento das plantas, durante um período de seca (May & Milthorpe, 1962, citado por Klar et al., 1977).

A resposta das plantas ao déficit hídrico varia qualitativa e quantitativamente (Kumar & Tieszen, 1980) e cada planta apresenta respostas diferenciadas ao regime de umidade do solo. Porto (1993) procura unir a maioria desses conhecimentos demonstrando, em seu trabalho, que a quantidade de água do solo utilizada pelas plantas depende, principalmente, de quatro fatores: (i) demanda evaporativa da atmosfera; (ii) habilidade da planta em regular o fluxo de água através do sistema radicular até a parte aérea; (iii) exploração das reservas de água do subsolo pelo sistema radicular e (iv) condutividade hidráulica do solo. Begg (1980) e Carlesso (1993) observaram o efeito acentuado do déficit hídrico em plantas de milho com o aumento no enrolamento e redução na expansão das folhas. Schulze et al., citados por Aguiar (1993), salientam que a diminuição da área foliar do dossel das culturas é um importante mecanismo de adaptação a períodos de déficit hídrico.

O déficit hídrico pode, segundo Arkin et al. (1978), afetar o desenvolvimento do dossel vegetativo através da alteração no número total de folhas da planta, na taxa de expansão e na senescência. Esses componentes são importantes na obtenção da área foliar disponível à transpiração e assimilação. A expansão da célula é dependente do turgor celular, o qual é extremamente sensível ao déficit hídrico (Taiz & Zeiger, 1991). É importante o conhecimento do comportamento morfológico das plantas em relação a diferentes níveis de

déficit hídrico e em solos de diferentes texturas, pois o fluxo de água do solo para a planta e, conseqüentemente, sua atividade para assimilação e produção dependem da disponibilidade hídrica e da eficiência do sistema radicular em extrair água do solo.

Segundo Kramer (1995), o efeito do déficit hídrico sobre a maioria das culturas varia de acordo com sua duração, intensidade e período de ocorrência no ciclo da cultura. Para esse autor, o déficit hídrico ocorre quando a quantidade de água absorvida pela planta for menor que a quantidade de água transpirada, de forma que os tecidos da planta não fiquem totalmente túrgidos. O déficit hídrico, em plantas de milho, pode ocasionar o enrolamento das folhas em plantas bem irrigadas, nas horas mais quentes do dia, em verões de alta temperatura, até o enrolamento total das folhas, seguido por senescência das folhas. É importante o conhecimento do comportamento morfológico e fisiológico das plantas em relação a diferentes níveis de déficit hídrico, pois o fluxo de água do solo para a planta e, conseqüentemente, sua atividade para assimilação e produção, dependem da disponibilidade hídrica e da eficiência do sistema radicular em extrair água do solo (Santos & Carlesso, 1999).

A deficiência de água às plantas, segundo Lecoeur & Sinclair (1996), é relativamente comum na atividade agrícola e possui um impacto significativo no crescimento e desenvolvimento das plantas. Os processos morfológicos e fisiológicos das plantas, que são dependentes da turgescência dos tecidos, são particularmente sensíveis à redução da disponibilidade de água no solo.

O desenvolvimento e a duração da área foliar fotossinteticamente ativa da planta determinam, de acordo com Dale (1988), a fração de radiação solar a ser interceptada pelo dossel da cultura, influenciando o desenvolvimento e a produção final. O desenvolvimento das plantas sob tensão de água envolve mecanismos complexos que podem ser classificados de três maneiras: “tolerar”, “escapar” e “evitar” a seca, de acordo com Levitt, citado por Klar (1985). A primeira permite à planta sobreviver e produzir sob condições de elevado estresse hídrico interno; na segunda, a planta completa seu ciclo antes do advento de um período de seca; e na terceira, a planta mantém um potencial de água relativamente elevado sob condições de seca, através de mecanismos diversos como o fechamento dos estômatos.

No presente trabalho, procurou-se avaliar o comportamento de alguns aspectos fisiológicos e morfológicos de plantas de *Eucalyptus urograndis* submetidas a déficit hídrico em solos de textura média e argilosa.

4 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi desenvolvido na Fazenda Experimental Lageado, Faculdade de Ciências Agronômicas da UNESP, campus de Botucatu - SP, no período de março a maio de 2005, utilizando-se mudas de *Eucalyptus urograndis*, com 90 dias, cedidos pela Empresa Eucatex Florestal. Os solos utilizados apresentaram classe textural argilosa (1) e média (2). Com base na análise química e de acordo com as recomendações do Boletim 100 (IAC, 1997), não foi necessária a adubação do solo 1 para o plantio de eucalipto, como se verifica na Tabelas 2. No solo 2, foi feita correção por vaso com 272 g com calcário dolomítico PRNT 67 e adubação com 73 g de P₂O₅ e 13,2 g de N, na forma de MAP, 10,8g de N na forma de nitrato de amônio e 29 g de K₂O na forma de sulfato de potássio.

Tabela 1. Granulometria e classificação textural do solos.

Solo	-----Granulometria %-----			Classe textural
	Areia	Silte	Argila	
1	23,9	25,7	50,4	Argilosa
2	65,6	67,0	27,7	Média

Tabela 2. Análise química de fertilidade do solo.

Solo	pH	M.O	P resina	-----Mmol.dm ⁻³ -----						V (%)
	CaCl ₂	g.dm ⁻³	Mg.dm ⁻³	H+Al	K	Ca	Mg	SB	CTC	
1	5,2	24	24	34	5,3	28	19	53	87	61
2	4,6	7	3	22	0,2	2	2	4	26	15

Para a produção das mudas, foram utilizados tubetes cilindro-cônicos de polietileno com volume de 50 cm³, preenchidos com substrato possuindo uma adubação de base contendo macro e micronutrientes. As mudas foram conduzidas pela empresa até o momento de ir a campo (90 dias), não tendo havido rustificação das mesmas.

As relações entre os potenciais e os teores de água do solo foram determinadas pelo método da Placa de Pressão de Richards (Klar, 1984). A partir dos resultados da curva característica de água nos solos de textura argilosa e média, foram estabelecidos dois níveis de água, fazendo-se a reposição da água evapotranspirada. Para este controle, foi utilizada a pesagem diária dos vasos. Quando atingiam as medidas do peso pré-determinado para cada tratamento, correspondente aos potenciais mínimos de água no solo (Ψ_w) de -0,03 e -1,5 MPa, a água era repostada até alcançar o peso correspondente ao potencial máximo de água de -0,01 MPa (26% e 14% de umidade respectivamente para solo 1 e 2). Logo, houve quatro tratamentos:

T1 : plantas irrigadas ao atingirem um potencial de água mínimo do solo de -0,03 MPa e solo 1;

T2 : plantas irrigadas ao atingirem um potencial de água mínimo do solo de -1,5 MPa e solo 1;

T3 : plantas irrigadas ao atingirem um potencial de água mínimo do solo de -0,03 MPa e solo 2;

T4 : plantas irrigadas ao atingirem um potencial de água mínimo do solo de -1,5 MPa e solo 2.

Cada tratamento foi composto por 15 vasos, contendo 8 kg de solo, sendo cada vaso uma repetição. Foi determinado previamente o peso destes, do solo seco e das plantas (sendo que a massa das plantas foi determinada semanalmente em função do seu crescimento). A partir do peso do solo seco e dos dados de retenção de água, determinaram-se os valores que cada tratamento deveria atingir para ser submetido à irrigação.

As características fisiológicas avaliadas foram: a resistência difusiva ao vapor d'água dos estômatos, transpiração (TF) e temperatura da folha (T) medidas com um porômetro 1.600 da LICOR, o potencial de água na folha (Ψ_f) pela Bomba de Scholander e as características morfológicas avaliadas foram: altura da planta (H), diâmetro do colo (D), área foliar (AF), massa seca da parte aérea (MSA), massa seca radicular (MSR), ao final de 60 dias.

A matéria seca foi obtida em estufa a uma temperatura de 60^oC até atingir peso constante.

De acordo com a metodologia utilizada por Silva (1998) para o uso do porômetro, todos os tratamentos tiveram o solo levado ao potencial de -0,01 MPa na noite anterior às

avaliações fisiológicas e, na manhã seguinte, foram realizadas as avaliações de acordo com a seqüência: resistência estomática, transpiração, temperatura da folha e o potencial de água na folha, seguindo-se quatro medições durante o dia (9, 11, 14 e 16 h), sendo utilizada para cada tratamento a folha mais nova totalmente expandida.

Foi realizada a análise estatística nas características morfológicas, com delineamento inteiramente casualizado, sendo utilizada a análise de variância (ANAVA), seguido do teste de Tukey com nível de significância de 5%, para a comparação de médias entre tratamentos e das interações dos desdobramentos ocorridos com o programa SISVAR.

As temperaturas observadas dentro da casa de vegetação durante a condução do experimento estão representadas na Figura 1.

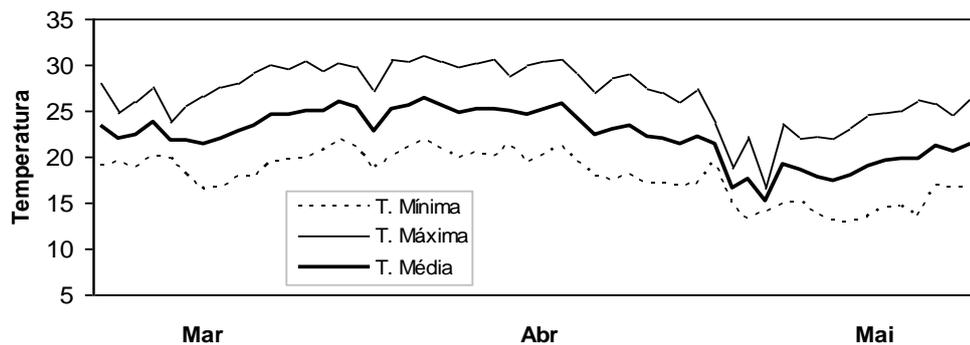


Figura 1. Variações das temperaturas máximas, médias e mínimas ao longo do ensaio.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Observando-se os dados obtidos na Tabela 3, que se refere ao solo argiloso, verifica-se que das características analisadas, somente a área foliar, diâmetro do colo e matéria seca radicular tiveram diferenças estatisticamente significativas dentro do manejo hídrico. A altura e a matéria seca da parte aérea das plantas submetidas a estresse hídrico não foram influenciadas pela restrição hídrica. Os valores de diâmetro das plantas apresentaram redução de até 39,5%, entre as plantas sem estresse e as submetidas a déficit hídrico. A massa seca de raiz acompanhou o mesmo comportamento do diâmetro, chegando a reduções de 42%. Esta diminuição na massa total de raiz e no diâmetro do colo poderá comprometer o desenvolvimento da planta no campo.

Para os tratamentos com uso de solo de textura média (tabela 4), a altura das plantas também não foi influenciada pelo manejo hídrico, bem como a massa seca de raiz que não mostrou diferença estatística entre os dois manejos tal como ocorreu com as plantas em solo argiloso. Este, no entanto, mostrou que houve maiores valores nesta variável em ambos os manejos, devido à maior transmissão de água e nutrientes no solo argiloso.

O diâmetro de colo, nos tratamentos 3 e 4, também acompanhou o comportamento observado nos tratamentos 1 e 2, havendo uma redução de 34% nas plantas que tiveram o solo submetido a um potencial hídrico de -1,5 MPa. Na matéria seca de parte aérea, houve um aumento de 54% em plantas com solo a um potencial hídrico de -0,03 MPa, evidenciando maior sensibilidade desta característica à restrição hídrica, quando cultivada em solo de textura média.

Para a área foliar também houve diferenças estatisticamente significativas entre os manejos hídricos. As plantas submetidas a déficit hídrico apresentaram menores valores de área foliar onde se pode verificar diminuição de 42,3 % em comparação com a área foliar de plantas cultivadas em sem restrição hídrica em solo de textura argilosa. O mesmo ocorreu nas plantas cultivadas em solo de textura média, onde houve uma diminuição de 43%. Ao se analisar tratamentos com mesmo potencial de água na folha, mas em solos de diferentes texturas, observou-se uma redução de 25% na área foliar para os tratamentos com manejo de -1,5 MPa e de 16% para os de -0,03 MPa. Esta diminuição evidencia que solos com de textura mais grosseira influenciam no desenvolvimento inicial de plantas de eucalipto, no que se diz respeito à área foliar, mesmo quando não há restrição à disponibilidade de água. Alguns dos fatores que podem explicar este comportamento é a maior retenção de água pelos solos de textura argilosa, e que plantas sem estresse hídrico mantêm os estômatos abertos por mais tempo, realizando maior fotossíntese e, conseqüentemente, proporcionando maior desenvolvimento vegetativo nas plantas. O déficit de água pode induzir a um aumento de ácido absícico nas folhas, o que inibe o crescimento, devido a um mais rápido fechamento dos estômatos, além de outros efeitos fisiológicos (Klar, 1977).

Estes comportamentos podem ocorrer devido a alguns fatores de fuga ao estresse hídrico, como ficou evidenciada com a diminuição da área foliar e do diâmetro, independente da textura de solo utilizada. O comportamento da altura das plantas foi contrário, não sendo influenciado pelo manejo hídrico nem pela textura de solo usada.

Outros trabalhos, citados por Silva (2003), mostraram que o estresse hídrico afetou negativamente o crescimento em altura de mudas de *Eucalyptus*, entre eles: Reis et al., (1988), trabalhando com *E. camaldulensis* submetidos a três regimes de irrigação, Wang et al. (1988), estudando relações hídricas e desenvolvimento de mudas de duas subespécies de *E. globulus* e Oliva et al. (1989), trabalhando com *E. camaldulensis* em vasos.

Tabela 3. Valores médios das características morfológicas das plantas de *Eucalyptus urograndis*, aos 60 dias após o plantio em solo de textura argilosa em dois níveis de manejo hídrico. Botucatu, 2006.

Tratamentos	Altura (m)	Diâmetro (cm)	Área Foliar (cm ²)	MSPA (g)	MSR (g)
T1	51,83	6,338	623,00	4,81	2,00
T2	46,00	3,833	359,66	4,10	1,16
CV (%)	11,28	21,22	15,38	18,64	18,23
p(M)	0,0969 ^{ns}	0,0024*	0,0130*	0,1738 ^{ns}	0,0005*

CV: Coeficiente de variação; p(M): manejo hídrico.

Tabela 4. Valores médios das características morfológicas das plantas de *Eucalyptus urograndis*, aos 60 dias após o plantio em solo de textura média em dois níveis de manejo hídrico. Botucatu, 2006.

Tratamentos	Altura (m)	Diâmetro (cm)	Área Foliar (cm ²)	MSPA (g)	MSR (g)
T3	46,00	4,550	471,33	4,31	1,33
T4	40,00	3,000	268,66	1,96	1,00
CV(%)	11,19	13,95	9,57	9,29	31,30
p(M)	0,0784 ^{ns}	0,0005*	0,0022*	0,0000*	0,1449 ^{ns}

CV: Coeficiente de variação; p(M): manejo hídrico

O mesmo comportamento foi observado em todas as características morfológicas estudadas, onde tratamentos mantidos a um potencial de água no solo de -0,03 MPa apresentaram valores maiores do que os tratamentos submetidos a um manejo hídrico com potencial de água no solo de -1,5 MPa. A mesma tendência ocorreu nos tratamentos com diferentes texturas de solo, onde houve maior desenvolvimento de todas características em solo de textura argilosa.

No tratamento com solo de textura argilosa e Ψ_w de -0,03 MPa, observaram-se os maiores valores de potencial de água na folha e, no tratamento 4 com solo de textura média e Ψ_w de -1,5 MPa, os menores valores de Ψ_f nos dois horários medidos. Às 14h obtiveram-se valores mais baixos em todos os tratamentos, devido a um maior fechamento dos estômatos, o que também foi observado por Pereira (2006), havendo diferença significativa entre os potenciais de água na folha, normalmente nas horas mais quentes do dia, entre os dois estresses aplicados (-0,03 e -1,5 MPa).

Apenas o manejo hídrico teve diferenças estatisticamente significativas para o Ψ_f , havendo aumento de 9,6% e 8,7% às 8 h para os solos 1 e 2, respectivamente e 1 e 9,1% às 14h, seguindo a mesma ordem anterior. (Tabela 5).

Tabela 5. Resultados médios do potencial hídrico foliar (MPa) das plantas de *Eucalyptus urograndis* às 8 e às 14 horas, aos 60 dias após o plantio e a significância do teste F. Botucatu, 2006.

Tratamentos	PAF (MPa) 8:00	PAF (MPa) 14:00
T1	-6,766	-13,433
T2	-7,066	-13,300
T3	-8,066	-15,666
T4	-9,300	-17,166
C.V. (%)	15,06	8,05
p(M)	0,0314*	0,0023*
p(S)	0,2911 ^{ns}	0,3525 ^{ns}
p(M-S)	0,5109 ^{ns}	0,2720 ^{ns}

p(M): manejo hídrico; p(S): textura do solo; p(M-S): interação entre M e S.

A transpiração decresceu com o Ψ_f que, por sua vez, está intimamente ligado ao Ψ_w (Klar,1977). Neste trabalho, em todos os horários em que a transpiração foi medida, houve diferenças estatísticas significativas tanto para o manejo hídrico quanto para os diferentes tipos de solo (Tabelas 6 e 7), o que mostra que a quantidade de água bem como os tipos de solo influenciaram diretamente na transpiração do eucalipto. No tratamento 1, obteve-se maior transpiração se comparado com o tratamento 2, de mesmo solo com Ψ_w de -1,5 MPa. No tratamento 3, verificaram-se maiores taxas de transpiração em relação ao tratamento 4. Na medição das 11h, momento em que a transpiração foi maior em todos os tratamentos, observou-se uma diferença de até 11,3% entre potenciais $\Psi_w = -0,03$ e -1,5 MPa para ambos os solos.

Foi possível constatar que tratamentos com maior Ψ_w têm maior transpiração mesmo com diferentes texturas de solo, como esperado. Essas variações na perda de água entre as horas mais e menos quentes do dia são em consequência de uma resposta mais rápida e eficiente dos estômatos à transpiração, bem como variações de variáveis do clima e solo. A “percepção” do estresse hídrico é a reação de defesa contra a desidratação, através do fechamento dos estômatos, sendo mais veloz nas plantas submetidas ao estresse hídrico. As plantas sem déficit hídrico, porém, com transpiração elevada, perdem água rapidamente,

chegando a promover atraso na condução da água desde o solo até as folhas com conseqüente fechamento estomático (Silva, 2003).

Tabela 6. Resultados médios de resistência estomática, transpiração foliar e temperatura foliar das plantas de *Eucalyptus urograndis* às 9 e às 11 horas, aos 60 dias após o plantio e a significância do teste F. Botucatu, 2006.

Tratamentos	RE	TF	T	RE	TF	T
	(s.cm ⁻¹)	(mg cm ⁻² s ⁻¹)	(°C)	(s.cm ⁻¹)	(mg cm ⁻² s ⁻¹)	(°C)
	-----9 h-----			-----11 h-----		
T1	0,350	13,253	20,900	0,635	30,750	25,600
T2	0,479	11,820	21,800	0,763	26,873	27,800
T3	0,591	10,470	21,933	0,962	23,663	28,366
T4	0,623	9,253	24,133	1,359	20,926	29,633
C.V. (%)	7,22	6,31	5,63	4,54	6,98	3,51
p(M)	0,0000*	0,0002*	0,0531 ^{ns}	0,0000*	0,0002*	0,0035*
p(S)	0,0132*	0,0117*	0,0571 ^{ns}	0,0000*	0,0124*	0,0153*
P(M-S)	0,1303 ^{ns}	0,7972 ^{ns}	0,3596 ^{ns}	0,0006*	0,5952 ^{ns}	0,4320 ^{ns}

RE: Resistência estomática; TF: Transpiração foliar; T: Temperatura foliar.

Tabela 7. Resultados médios de resistência estomática, transpiração foliar e temperatura foliar das plantas de *Eucalyptus urograndis* às 14 e às 16 horas, aos 60 dias após o plantio e a significância do teste F. Botucatu, 2006.

Tratamentos	RE	TF	T	RE	TF	T
	(s.cm ⁻¹)	(mg cm ⁻² s ⁻¹)	(°C)	(s.cm ⁻¹)	(mg cm ⁻² s ⁻¹)	(°C)
	-----14 h-----			-----16 h-----		
T1	0,869	22,460	27,866	0,484	19,750	21,266
T2	1,339	19,500	29,200	0,563	16,296	22,500
T3	1,680	16,206	30,533	0,713	13,106	22,900
T4	2,149	13,633	32,066	0,930	11,606	24,800
C.V. (%)	4,24	9,86	1,41	5,88	5,98	5,66
p(M)	0,0000*	0,0003*	0,0000*	0,0000*	0,0000*	0,0301*
p(S)	0,0000*	0,0268*	0,0004*	0,0002*	0,0015*	0,0694 ^{ns}
P(M-S)	0,9895 ^{ns}	0,8546 ^{ns}	0,6918 ^{ns}	0,0162*	0,0997 ^{ns}	0,6674 ^{ns}

RE: Resistência estomática; TF: Transpiração foliar; T: Temperatura foliar.

Tabela 8. Resistência estomática das plantas de *Eucalyptus urograndis* às 11 e 16 h, aos 60 dias após a implantação e o resultado estatístico da interação entre o potencial de água no solo e o tipo de solo. Botucatu, 2006.

Característica fisiológica	Solos	Potencial de água no solo (MPa)		Médias
		-0,03	-1,5	
RE (s cm ⁻¹) 11:00	1	0,635Bb	0,962Ba	0,798
	2	0,763Ab	1,359Aa	1,061
	Médias	0,699	1,161	
RE (s cm ⁻¹) 16:00	1	0,484Bb	0,7130Ba	0,598
	2	0,563Ab	0,930Aa	0,746
	Médias	0,523	0,821	

Médias seguidas de letras iguais, minúsculas na linha e maiúsculas na coluna para cada tipo de solo, não diferem pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de significância.

Nas Tabelas 6 e 7, verificaram-se maiores valores de resistência estomática nos tratamentos 3 e 4 em todos os horários medidos. Em tratamentos sem restrição hídrica, observaram-se os menores valores. O manejo e a textura dos solos influenciaram significativamente nesta característica. Nos horários de menor incidência solar e menor evaporação, constataram-se maior abertura estomática (9 e 16 h). Estando em condições hídricas e luminosidade favoráveis, os estômatos permanecem abertos, tornando-se mais viáveis à atividade fotossintética (Klar, 1977). Os solos também se comportam diferentemente, analisando-se tratamentos com mesmo potencial de água no solo, como o solo 1 (argiloso), têm-se maiores aberturas estomáticas e menores temperaturas foliares. O fator solo atua no déficit de água da planta pela capacidade em conduzir a água para satisfazer a demanda evaporativa da atmosfera (Ekern et al., 1967, citado por Klar, 1977).

Na Tabela 8, pode-se verificar a interação entre o manejo hídrico e a textura do solo que foi estatisticamente significativa nos horários de 11 h e 16 h. Tratamentos com potencial hídrico dos solos mantidos a -1,5 MPa tiveram maior resistência estomática, quando comparados aos mantidos a -0,03 MPa; plantas cultivadas em textura média atingiram maiores valores de resistência estomática.

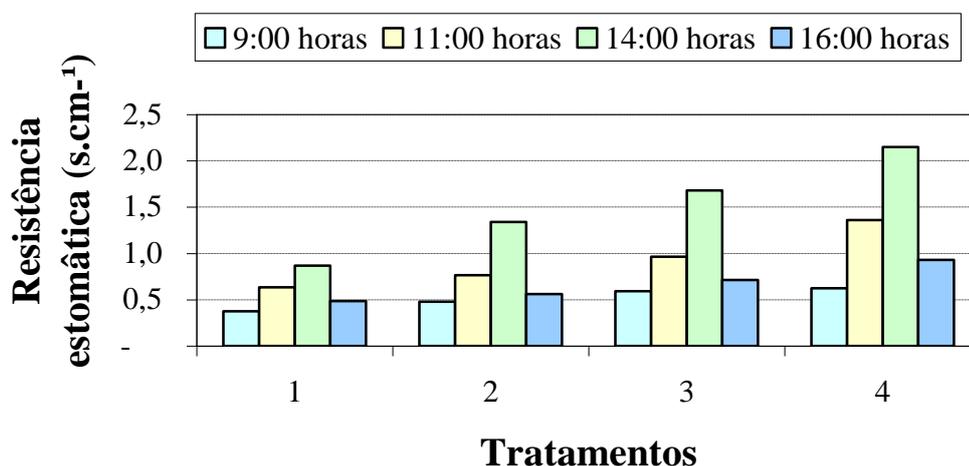


Figura 2. Resistência estomática foliar das plantas às 9h, 11h, 14h e às 16h horas, aos 60 dias após o plantio.

A temperatura foliar acompanhou o comportamento da resistência estomática e da transpiração visto que, quanto maior a resistência estomática, menor a transpiração foliar e maior a temperatura da folha. Os tratamentos com déficit hídrico tiveram aumento da temperatura foliar no solo de textura média com as plantas se mostrando mais sensíveis e com maiores valores. A temperatura da folha, comparada com outras características, apresentou um comportamento diretamente proporcional à resistência estomática e inversamente à transpiração e ao Ψ_f . O aumento da temperatura foliar em tratamentos com estresse hídrico se deve, principalmente ao fechamento dos estômatos, o que é mais crítico nos horários mais quentes do dia, e conseqüente diminuição da transpiração que atua abaixando a temperatura foliar (Pereira, 2006). Este fato pode ser observado na Figura 4, onde às 11 h e 14 h verificou-se um aumento da temperatura foliar, com maior intensidade nos tratamentos, que chegou a ultrapassar os 30°C cujo potencial hídrico mínimo do solo foi -1,5 MPa. Os valores encontrados nas plantas do solo argiloso atingiram temperaturas menores e com oscilações mais brandas durante o dia em relação ao solo de textura média.

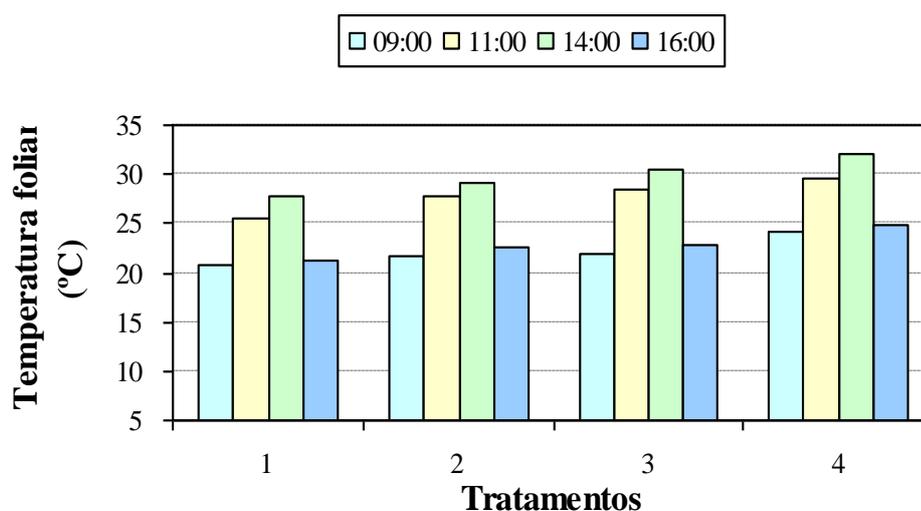


Figura 3. Temperatura foliar das plantas de *Eucalyptus urograndis* às 9h, 11h, 14h e às 16h horas, aos 60 dias após o plantio.

6 CONCLUSÕES

Os resultados demonstraram que as plantas dos tratamentos sem estresse hídrico tiveram maiores valores em todas características morfológicas em relação às submetidas a déficit hídrico. Plantas cultivadas em solos de textura média apresentaram significativa redução de 43% na área foliar, 34% no diâmetro de colo, 54% na matéria seca de parte aérea e, em solos de textura argilosa, houve redução de 42,3% na área foliar, 39,5% no diâmetro de colo e 42% na matéria seca radicular, com restrição hídrica em relação às irrigadas no tratamento -0,03 MPa. O menor valor de potencial hídrico foliar ($\square f$) foi -17,166 MPa (solo 2 sob estresse), e o maior potencial, -6,766 MPa, (no solo 1 sem estresse hídrico). Os tratamentos sem estresse hídrico tiveram maior transpiração se comparados àqueles sob déficit hídrico com diferenças de até 11,3%. Verificou-se que os tratamentos sob $\square w = -1,5$ MPa e solo de textura média apresentaram maiores valores de resistência estomática (R_s) em todos os horários medidos, sendo 14 h o horário mais crítico, com valores de até 2,149 s.cm⁻¹. A temperatura foliar (T_f) mostrou correlação significativa com R_s , onde tratamentos com solo de textura média se mostraram mais sensíveis, chegando a 32°C.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGUIAR, N.O.A. **Comportamento fisiológico e produtivo da ervilha (*Pisium sativum* L.) submetida a diferentes potenciais de água no solo.** 1993. 150p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu, 1993.
- ARKIN, G.F.; RITCHIE, J.T.; MAAS, S.J. A model for calculating light interception by a grain sorghum canopy. **Transaction ASAE**, St Joseph, v.21, p.303-308, 1978.

BEGG, J.E. Morphological adaptations of leaves to water stress. In: TURNER, N.C., KRAMER, P.J. **Adaptation of plants to water and high temperature stress**. New York: John Wiley & Sons, 1980. Cap. 3, p.33-42.

CARLESSO, R. **Influence of soil water deficits on maize growth and leaf area adjustments**. East Lansing, MI. EUA: Michigan State University. 1993. Ph.D. Thesis

CARLESSO, R. Absorção de água pelas plantas: água disponível versus extraível e a produtividade das culturas. **Revista Ciência Rural**, Santa Maria, v. 25, n.1, p.183-188, 1995.

DALE, J.E. The Control of leaf expansion. **Annual Review of Plant Physiology**, n.39, p.267-95, 1988.

KLAR, A.E.; PEDRAS, J.F.; RODRIGUES, J.D. Desenvolvimento de plantas de cebola em diferentes condições de solo e clima. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, v.12, n.1, p.165-176, 1977.

KLAR, A.E. Evapotranspiração. In: **A água no sistema solo-planta-atmosfera**. 2ed. São Paulo: Nobel, 1984, 408 p.

KLAR, A. E., CATÂNEO, A., DENADAI, I.A.M., SAAD, J.C.C. & PICARELLI, M. Medidas da adaptação de plantas de trigo a déficits hídricos. **Cientifica**. São Paulo, n.13(1/2), p.117-27, 1985.

KRAMER, P.J. **Plant and soil water relationships. A modern synthesis**. New Delhi: McGraw-hill, 1995. 482p.

KUMAR, D.; TIESZEN, L.L. Photosynthesis in *Coffea arabica*. II Effects of water stress. **Expl. Agriculture**. v.16, p, 21-27,1980.

LECOEUR, J., SINCLAIR, R.T. Field pea transpiration and leaf growth in response to soil water deficits. **Crop Science**. n.36, p. 331-335, 1996.

PEREIRA, M.R.R. Comportamento fisiológico e morfológico de clones de *Eucalyptus urograndis* submetidos a diferentes níveis de água no solo. **Irriga**. Botucatu, n.4, p.518-31, 2006.

PORTO, A.L.P. **Efeitos do déficit hídrico e do nitrogênio em cobertura em folhas de sorgo granífero (*Sorghum bicolor*, L)**. 1993. 101p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônomicas, Botucatu, 1993.

RAIJ, V. B., CANTARELA, H., QUAGGIO, J. A., FURLANI, A. M. C. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. Campinas, Instituto Agrônomo/Fundação IAC, 1997, 285 p. (Boletim 100).

SANTOS, F. R. & CARLESSO, R. Enrolamento e expansão das folhas de milho submetidas á déficit hídrico em diferentes solos. **Revista Brasileira de engenharia Agrícola e Ambiental**. Campina Grande, v.3, n.1, p.1-6, 1999.

SILVA, M.R. **Caracterização morfológica, fisiológica e nutricional de mudas de *Eucalyptus* sp Hill ex. Maiden submetidas a diferentes níveis de estresse hídrico durante a fase de rustificação.** 1998. 105p. Dissertação (Mestrado) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1998.

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

TAIZ, L., ZEIGER. **Plant Physiology.** Redwood City, California: The Benjamin/Cummings Publishing Company Inc., 1991