

JOSÉ HUMBERTO CHAVES

**CRESCIMENTO, FOTOSSÍNTESE E RELAÇÕES HÍDRICAS DE
CLONES DE EUCALIPTO SOB DIFERENTES REGIMES HÍDRICOS**

Tese apresentada à Universidade
Federal de Viçosa, como parte das
exigências do Programa de Pós-
Graduação em Ciência Florestal,
para obtenção do título de *Magister
Scientiae*

VIÇOSA
MINAS GERAIS - BRASIL
2001

JOSÉ HUMBERTO CHAVES

**CRESCIMENTO, FOTOSSÍNTESE E RELAÇÕES HÍDRICAS DE
CLONES DE EUCALIPTO SOB DIFERENTES REGIMES HÍDRICOS**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal, para obtenção do título de *Magister Scientiae*

APROVADA: 28 de março de 2001.

Prof.^a Maria das Graças Ferreira Reis
(Conselheira)

Prof. Júlio César Lima Neves
(Conselheiro)

Prof. Haroldo Nogueira de Paiva

Prof. Sílvio Nolasco de Oliveira
Neto

Prof. Geraldo Gonçalves dos Reis
(Orientador)

A Deus

Aos meus pais e irmãos

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Viçosa e ao Departamento de Engenharia Florestal, pela oportunidade de realização do curso.

Aos órgãos financiadores de pesquisa CNPq, FAPEMIG e, em especial, à CAPES, pela bolsa de estudo.

Aos professores Geraldo Gonçalves dos Reis e Maria das Graças Ferreira Reis, pela amizade, confiança, ensinamentos e orientação ao longo de todos esses anos.

Ao Professor Júlio César Lima Neves, pela atenção prestada e colaboração no desenvolvimento do presente trabalho.

À COPENER FLORESTAL Ltda., em especial ao Engenheiro Florestal Antônio do Nascimento Gomes, por possibilitar o desenvolvimento do presente trabalho.

A toda a equipe de pós-graduação e graduação do Laboratório de Ecologia e Fisiologia Florestal, pelo convívio, amizade e esforço durante a fase de experimentação, que fizeram com que a execução do trabalho fosse possível.

Aos colegas de pós-graduação, especialmente a José Eduardo, Rogério, Elisiane, Cassiano e Sílvio, pelo apoio e amizade.

Aos funcionários do Viveiro de Pesquisas do Departamento de Engenharia Florestal, pela contribuição durante a coleta dos dados.

Aos meus pais, José e Gercina, pelo amor, carinho e apoio incondicional durante toda a minha formação.

Aos meus irmãos Alexandre, Giovani, Rogério e Eugênio e a minha irmã Patrícia, pela confiança e eterno apoio.

BIOGRAFIA

JOSÉ HUMBERTO CHAVES, filho de José Marinho Chaves e Gercina das Graças Chaves, nasceu em 16 de julho de 1975, na cidade de Pará de Minas, MG.

Concluiu, em 1993, o Curso Técnico em Agropecuária, pela Central de Ensino e Desenvolvimento Agrário de Florestal (CEDAF).

Ingressou na Universidade Federal de Viçosa em 1994, graduando-se Engenheiro Florestal em março de 1999.

Em abril de 1999, iniciou o Curso de Mestrado em Ciência Florestal, na Universidade Federal de Viçosa, concluindo-o em março de 2001.

ÍNDICE

	Página
LISTA DE QUADROS	ix
LISTA DE FIGURAS	xi
RESUMO.....	xv
ABSTRACT.....	xvii
1. INTRODUÇÃO GERAL.....	1
2. OBJETIVOS	3
2.1. Objetivo geral	3
2.2. Objetivos específicos.....	3
3. REVISÃO DE LITERATURA	4
3.1. Relações hídricas.....	6
3.1.1. Transpiração	6
3.1.2. Condutância estomática	7
3.1.3. Potencial hídrico foliar.....	8
3.2. Fotossíntese.....	9
3.3. Crescimento e produção de matéria seca	11
3.4. Expansão foliar	13
3.5. Modificações morfológicas	14

CAPÍTULO 1

CRESCIMENTO, FOTOSSÍNTESE E RELAÇÕES HÍDRICAS EM MUDAS DE CINCO CLONES DE EUCALIPTO, EM TUBETES, SOB DOIS REGIMES DE IRRIGAÇÃO	16
1. INTRODUÇÃO.....	16
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	18
2.1. Material experimental e delineamento estatístico	18
2.2. Aplicação de déficit hídrico às mudas em tubetes	18
2.2.1. Descrição das características avaliadas.....	20
2.2.1.1. Características fisiológicas	20
2.2.1.2. Características de crescimento	21
2.3. Avaliação da capacidade de retomada de crescimento das mudas após os ciclos de seca.....	22
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	24
3.1. Potencial hídrico do antemanhã	24
3.2. Relações hídricas.....	25
3.2.1. Condutância estomática	25
3.2.2. Transpiração foliar	32
3.2.3. Temperatura foliar	38
3.2.4. Potencial hídrico foliar.....	39
3.3. Fotossíntese.....	40
3.4. Crescimento	42
3.4.1. Caracterização inicial das plantas.....	42
3.4.2. Matéria Seca	43
3.4.3. Área Foliar	44
3.4.4. Número de Folhas.....	46
3.4.5. Expansão foliar	46
3.4.6. Crescimento em altura e diâmetro	48
3.5. Capacidade de retomada de crescimento das plantas após serem submetidas a diferentes regimes hídricos.....	50
3.5.1. Caracterização inicial das plantas.....	50
3.5.2. Matéria seca	51
3.5.3. Área foliar	53
3.5.4. Crescimento em altura e diâmetro	54

4. RESUMO E CONCLUSÕES	57
------------------------------	----

CAPÍTULO 2

CRESCIMENTO, FOTOSSÍNTESE E RELAÇÕES HÍDRICAS EM MUDAS DE CINCO CLONES DE EUCALIPTO, EM CONDIÇÕES SIMULADAS DE CAMPO, SOB TRÊS REGIMES DE IRRIGAÇÃO	60
1. INTRODUÇÃO.....	60
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	62
2.1. Material experimental e delineamento estatístico	62
2.2. Descrição das características avaliadas.....	65
2.2.1. Características fisiológicas	65
2.2.2. Características de crescimento	65
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	67
3.1. Extensão dos ciclos de seca.....	67
3.2. Relações hídricas.....	68
3.2.1. Condutância estomática	68
3.2.2. Transpiração foliar	73
3.2.3. Temperatura foliar	78
3.2.4. Potencial hídrico foliar.....	80
3.3. Fotossíntese.....	82
3.4. Crescimento	84
3.4.1. Caracterização inicial das plantas.....	84
3.4.2. Matéria seca	84
3.4.3. Área foliar	87
3.4.4. Número de folhas.....	89
3.4.5. Expansão foliar	91
3.4.6. Crescimento em altura e diâmetro	93
4. RESUMO E CONCLUSÕES.....	96
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	98
APÊNDICE	103

LISTA DE QUADROS

Página

CAPÍTULO 1

1	Clones selecionados para a realização do experimento em tubetes e suas características de origem.....	19
2	Temperatura de folhas (°C) de plantas de cinco clones de eucalipto, crescendo em tubetes sob diferentes regimes hídricos.....	38
3	Matéria seca de raízes, haste e ramos, folhas e total, área foliar, número médio de folhas, altura e diâmetro de plantas de cinco clones de eucalipto, antes da aplicação dos tratamentos de irrigação em tubetes	43
4	Expansão foliar (cm ² /cm ²) de plantas de cinco clones de eucalipto, crescendo em tubetes sob diferentes regimes hídricos.....	47
5	Matéria seca de raízes, haste e ramos, folhas e total, área foliar, número médio de folhas, e altura e diâmetro de plantas de cinco clones de eucalipto, antes do transplântio para tubos de PVC e após serem submetidas a diferentes regimes hídricos em tubetes.....	50
6	Relação raiz/parte aérea de plantas de cinco clones de eucalipto, aos 45 e 80 dias após transplântio para tubos de PVC, após serem submetidas a diferentes regimes hídricos em tubetes.....	52

CAPÍTULO 2

1	Clones selecionados para a realização do experimento em tubos de PVC e suas características de origem.....	63
---	--	----

2	Duração média (dias) de cada ciclo de seca, para os cinco clones de eucalipto, crescendo em tubos de PVC sob diferentes regimes hídricos	68
3	Temperatura de folhas de plantas de cinco clones de eucalipto, crescendo em tubos de PVC sob diferentes regimes hídricos	79
4	Matéria seca de raízes, haste e ramos, folhas e total, área foliar, número médio de folhas, altura e diâmetro de plantas de cinco clones de eucalipto, antes da aplicação dos tratamentos de irrigação em tubos de PVC	85

APÊNDICE

1A	Resumo da análise de variância para transpiração e condutância estomática de plantas de cinco clones de eucalipto, crescendo em tubetes sob diferentes regimes hídricos.....	104
2A	Resumo da análise de variância e do desdobramento para diâmetro (DIAM), altura (ALT), área foliar (AF), matéria seca (MS) e número de folhas (NF) de plantas de cinco clones de eucalipto, crescendo em tubetes sob diferentes regimes hídricos.....	105
3A	Resumo da análise de variância e do desdobramento para diâmetro (DIAM), altura (ALT), área foliar (AF), e matéria seca (MS) de plantas de cinco clones de eucalipto, aos 45 dias após o transplântio em tubos de PVC, após serem submetidas a diferentes regimes hídricos em tubetes.....	105
4A	Resumo da análise de variância e do desdobramento para diâmetro (DIAM), altura (ALT), área foliar (AF), e matéria seca (MS) de plantas de cinco clones de eucalipto, aos 80 dias após o transplântio em tubos de PVC, após serem submetidas a diferentes regimes hídricos em tubetes.....	106
5A	Resumo da análise de variância e do desdobramento para diâmetro (DIAM), altura (ALT), área foliar (AF), matéria seca (MS) e número de folhas (NF) de plantas de cinco clones de eucalipto, crescendo em tubos de PVC sob diferentes regimes hídricos	106

LISTA DE FIGURAS

	Página
CAPÍTULO 1	
1 Curva de retenção de umidade do substrato	20
2 Curva de calibração da umidade do substrato (%) com o potencial hídrico do antemanhã (MPa).....	25
3 Condutância estomática de plantas de cinco clones de eucalipto, crescendo em tubetes sob diferentes regimes hídricos – primeiro ciclo de seca.....	26
4 Condutância estomática de plantas de cinco clones de eucalipto, crescendo em tubetes sob diferentes regimes hídricos – segundo ciclo de seca.....	27
5 Condutância estomática de plantas de cinco clones de eucalipto, crescendo em tubetes sob diferentes regimes hídricos – terceiro ciclo de seca.....	28
6 Condutância estomática de plantas de cinco clones de eucalipto, crescendo em tubetes sob diferentes regimes hídricos – quarto ciclo de seca.....	29
7 Condutância estomática de plantas de cinco clones de eucalipto, crescendo em tubetes sob diferentes regimes hídricos – quinto ciclo de seca.....	30
8 Transpiração foliar de plantas de cinco clones de eucalipto, crescendo em tubetes sob diferentes regimes hídricos – primeiro ciclo de seca.....	33

9	Transpiração foliar de plantas de cinco clones de eucalipto, crescendo em tubetes sob diferentes regimes hídricos – segundo ciclo de seca.....	34
10	Transpiração foliar de plantas de cinco clones de eucalipto, crescendo em tubetes sob diferentes regimes hídricos – terceiro ciclo de seca.....	35
11	Transpiração foliar de plantas de cinco clones de eucalipto, crescendo em tubetes sob diferentes regimes hídricos – quarto ciclo de seca.....	36
12	Transpiração foliar de plantas de cinco clones de eucalipto, crescendo em tubetes sob diferentes regimes hídricos – quinto ciclo de seca.....	37
13	Potencial hídrico foliar de plantas de cinco clones de eucalipto, crescendo em tubetes sob diferentes regimes hídricos - média dos cinco ciclos de seca.....	40
14	Fotossíntese líquida de plantas de cinco clones de eucalipto, crescendo em tubetes sob diferentes regimes hídricos, ao final dos cinco ciclos de seca.....	41
15	Matéria seca de raízes, haste e ramos e folhas de plantas de cinco clones de eucalipto, crescendo em tubetes sob diferentes regimes hídricos.....	44
16	Área foliar de plantas de cinco clones de eucalipto, crescendo em tubetes sob diferentes regimes hídricos.....	45
17	Número de folhas de plantas de cinco clones de eucalipto, crescendo em tubetes sob diferentes regimes hídricos.....	47
18	Altura média de plantas de cinco clones de eucalipto, crescendo em tubetes sob diferentes regimes hídricos.....	49
19	Diâmetro médio de plantas de cinco clones de eucalipto, crescendo em tubetes sob diferentes regimes hídricos.....	49
20	Matéria seca de raízes, haste e ramos e folhas de plantas de cinco clones de eucalipto, aos 45 e 80 dias após transplantio para tubos de PVC, após serem submetidas a diferentes regimes hídricos em tubetes.....	52
21	Área foliar de plantas de cinco clones de eucalipto, aos 45 e 80 dias após transplantio para tubos de PVC, após serem submetidas a diferentes regimes hídricos em tubetes.....	54
22	Altura de plantas de cinco clones de eucalipto, aos 45 e 80 dias após transplantio para tubos de PVC, após serem submetidas a diferentes regimes hídricos em tubetes.....	55

23	Diâmetro de plantas de cinco clones de eucalipto, aos 45 e 80 dias após transplântio para tubos de PVC, após serem submetidas a diferentes regimes hídricos	56
----	---	----

CAPÍTULO 2

1	Curva de retenção de umidade do solo	64
2	Condutância estomática de plantas de cinco clones de eucalipto, crescendo em tubos de PVC sob diferentes regimes hídricos – média das avaliações realizadas no primeiro ciclo de seca.....	69
3	Condutância estomática de plantas de cinco clones de eucalipto, crescendo em tubos de PVC sob diferentes regimes hídricos – média das avaliações realizadas no segundo ciclo de seca.....	70
4	Condutância estomática de plantas de cinco clones de eucalipto, crescendo em tubos de PVC sob diferentes regimes hídricos – média das avaliações realizadas no terceiro ciclo de seca	71
5	Condutância estomática de plantas de cinco clones de eucalipto, crescendo em tubos de PVC sob diferentes regimes hídricos – média das avaliações realizadas no quarto ciclo de seca.....	72
6	Transpiração foliar de plantas de cinco clones de eucalipto, crescendo em tubos de PVC sob diferentes regimes hídricos – média das avaliações realizadas no primeiro ciclo de seca.....	74
7	Transpiração foliar de plantas de cinco clones de eucalipto, crescendo em tubos de PVC sob diferentes regimes hídricos – média das avaliações realizadas no segundo ciclo de seca.....	75
8	Transpiração foliar de plantas de cinco clones de eucalipto, crescendo em tubos de PVC sob diferentes regimes hídricos – média das avaliações realizadas no terceiro ciclo de seca	76
9	Transpiração foliar de plantas de cinco clones de eucalipto, crescendo em tubos de PVC sob diferentes regimes hídricos – média das avaliações realizadas no quarto ciclo de seca.....	77
10	Potencial hídrico foliar de plantas de cinco clones de eucalipto, crescendo em tubos de PVC sob diferentes regimes hídricos – média das avaliações realizadas ao longo dos vários ciclos de seca	81
11	Fotossíntese líquida média de plantas de cinco clones de eucalipto, crescendo em tubos de PVC sob diferentes regimes hídricos	83
12	Matéria seca de raízes, haste e ramos e folhas de plantas de cinco clones de eucalipto, crescendo em tubos de PVC sob diferentes regimes hídricos.....	85

13	Área foliar de plantas de cinco clones de eucalipto, crescendo em tubos de PVC sob diferentes regimes hídricos.....	88
14	Número de folhas de plantas de cinco clones de eucalipto, crescendo em tubos de PVC sob diferentes regimes hídricos	90
15	Expansão foliar de plantas de cinco clones de eucalipto, crescendo em tubos de PVC sob diferentes regimes hídricos	92
16	Altura de plantas de cinco clones de eucalipto, crescendo em tubos de PVC sob diferentes regimes hídricos.....	94
17	Diâmetro de plantas de cinco clones de eucalipto, crescendo em tubos de PVC sob diferentes regimes hídricos.....	94

RESUMO

CHAVES, José Humberto, M.S., Universidade Federal de Viçosa, março de 2001. **Crescimento, fotossíntese e relações hídricas de clones de eucalipto sob diferentes regimes hídricos.** Professor orientador: Geraldo Gonçalves dos Reis. Professores conselheiros: Maria das Graças Ferreira Reis e Júlio César Lima Neves.

O presente estudo foi desenvolvido com o objetivo de identificar características fisiológicas e ou morfológicas de mudas de cinco clones de eucalipto (0063, 0321, 1250, 1260 e 1277), crescendo em tubetes plásticos de 60 ml e em tubos de PVC de 15 cm de diâmetro x 50 cm de altura, de modo a subsidiar a seleção precoce de materiais genéticos para estabelecimento em áreas com disponibilidade diferenciada de água no solo. As plantas dos cinco clones foram submetidas a diferentes regimes hídricos, quando foram avaliados, durante os ciclos de seca, a condutância estomática, transpiração foliar, temperatura foliar, potencial hídrico foliar e fotossíntese líquida, além do crescimento em diâmetro da estaca e altura total da planta, número e tamanho de folhas, área foliar, expansão foliar e a matéria seca de folhas, haste e ramos e raízes. Avaliou-se, também, a capacidade de retomada de crescimento das mudas após serem submetidas à deficiência hídrica em tubetes. Os clones 0321 e 1277 foram os mais sensíveis aos efeitos do déficit hídrico em tubetes. A redução do potencial

hídrico foliar nas plantas desses clones, causada pelo déficit hídrico, promoveu redução no crescimento, causada principalmente pela abscisão foliar. Contrariamente, os clones 1250 e 1260 foram os menos sensíveis aos efeitos do déficit hídrico, em razão de terem apresentado menor taxa transpiratória e menor consumo de água, em tubetes. Nos tubos de PVC, o clone 1277 foi, também, o mais sensível aos efeitos do déficit hídrico, tendo reduzido de forma drástica o seu crescimento. Neste tipo de recipiente, o clone 1260 foi o mais resistente à deficiência hídrica, em razão de ter apresentado, de modo geral, menor taxa transpiratória. Entretanto, o clone 1277 apresentou elevada capacidade de retomada de crescimento após submetido a déficit hídrico quando transplantado para recipientes maiores, em razão do desenvolvimento do seu sistema radicular. A avaliação da altura e diâmetro não se mostrou eficiente na identificação dos efeitos do déficit hídrico nas plantas.

ABSTRACT

CHAVES, José Humberto, M.S., Universidade Federal de Viçosa, March, 2001.
Growth, photosynthesis and water relations of eucalypt clones under different water regimes. Adviser: Geraldo Gonçalves dos Reis. Committee members: Maria das Graças Ferreira Reis and Júlio César Lima Neves.

This study was undertaken to determine physiologic and morphologic characteristics of cuttings of five eucalypt clones identified as 0063, 0321, 1250, 1260 and 1277, growing in small plastic tubes (60 ml) and in larger plastic tubes of 15 cm diameter and 50 cm height (8.83 l), to subsidize early selection and establishment in sites with varying water availability. The plants were submitted to different water regimes in drying cycles. The stomatal conductance, leaf transpiration, leaf temperature, leaf water potential and net photosynthesis, diameter, height, number and size of leaves, leaf area, leaf expansion and dry matter of leaves, stem and roots were measured. It was, also, evaluated the growth recovery after plants were submitted do water deficit in plastic tubes. The clones 0321 and 1277 were the most sensitive to water deficit in plastic tubes. The reduction of the leaf water potential promoted reduction in the growth, promoted by the intense leaf abscission. Conversely, the clones 1250 and 1260 were the least sensitive to the water deficit, due to smaller transpiration rate. In larger tubes, the clone 1277 was the most sensitive to water deficit, once it

reduced drastically its growth. On the other hand, the clone 1260 was the most tolerant to water deficit, by maintaining their stomata closed all day long. The clone 1277 growth recovery due to the vigour of its root system. The evaluation of the height and diameter was not efficient to identify the effects of water deficit in the plants.

1. INTRODUÇÃO GERAL

A Região Nordeste do Brasil apresenta grandes variações nos tipos de solo e, especialmente, no clima. Há um gradiente de precipitação pluviométrica do litoral, com elevada precipitação, até o interior, com elevado déficit hídrico no solo, numa grande extensão do ano, em consequência da precipitação baixa e irregularmente distribuída (ANDRADE, 1998). Por exemplo, no Norte do Estado da Bahia, no litoral, observa-se precipitação pluviométrica de 1600 mm/ano e, deslocando-se 200 km em direção ao interior do Estado, há redução para 600 mm/ano, com variabilidade de chuvas de ano para ano acima de 20% (STAPE et al., 1997). Essa acentuada variação na disponibilidade hídrica dificulta a seleção de materiais genéticos, uma vez que os riscos de insucesso são elevados nestas condições ambientais, sendo, portanto, conveniente o desenvolvimento de estudos visando a seleção precoce de material genético para reflorestamento.

Os testes de espécies e procedências e os testes clonais têm sido utilizados para se recomendar material genético para condições ambientais específicas (FRAMPTON e FOSTER, 1993). Entretanto, nessas avaliações, têm sido consideradas, predominantemente, informações sobre o crescimento em altura e diâmetro. A inclusão de características fisiológicas seria fundamental para melhorar a precisão nesses testes, facilitando a seleção de materiais genéticos mais eficientes no uso de água e nutrientes (REIS e REIS, 1993; SASSE e SANDS, 1996).

FAÇANHA (1983) analisou, em plantas jovens, a condutância estomática, transpiração e fotossíntese, em conjunto com características de crescimento, para selecionar espécies de eucalipto resistentes à seca. Estudos semelhantes em casa de vegetação foram, também, desenvolvidos para espécies de eucalipto por GONÇALVES (1992) e LIMA (1996). Entretanto, esses estudos ainda não foram realizados para clones de uma mesma espécie ou de híbridos de eucalipto, de maneira a identificar características fisiológicas e ou morfológicas que possibilitem a seleção precoce desses genótipos para plantio em região com reduzida disponibilidade de água no solo.

A sobrevivência de plantas em regiões com acentuada deficiência hídrica no solo envolve mecanismos relacionados com a eficiência na absorção de água pelas raízes e com a perda de água pela planta (LARCHER, 1995; KOZLOWSKI e PALLARDY, 1996). Dessa forma, faz-se necessário identificar mecanismos relativos à produção e distribuição de raízes, em adição àqueles relacionados à parte aérea da planta, na tentativa de separar materiais genéticos distintos quanto à resistência ao déficit hídrico.

O presente estudo visa identificar características fisiológicas e ou morfológicas de clones de eucalipto, em condições de viveiro ou em seus estádios iniciais de desenvolvimento no campo, de modo a subsidiar a seleção precoce desses genótipos para plantio em ambientes com disponibilidade diferenciada de água no solo.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo geral

Avaliar as características fisiológicas e de crescimento de plantas jovens de cinco clones de eucalipto, visando subsidiar a seleção precoce de material genético para estabelecimento em áreas com disponibilidade diferenciada de água.

2.2. Objetivos específicos

- a) avaliar, no viveiro, as respostas fisiológicas das plantas submetidas a diferentes níveis de déficit hídrico no substrato;
- b) identificar características relacionadas com a parte aérea e/ou o sistema radicular da planta que permitam a seleção precoce de materiais genéticos para serem estabelecidos em áreas de disponibilidade hídrica diferenciada;
- c) procurar indicar clones de eucalipto mais adequados para plantio em regiões com limitação da disponibilidade de água no solo para as plantas.

3. REVISÃO DE LITERATURA

A preocupação em identificar materiais genéticos de eucalipto resistentes ao déficit hídrico nos estádios iniciais de desenvolvimento das plantas tem desafiado muitos cientistas. FAÇANHA (1983) estabeleceu relação entre a resistência de sementes de diversas espécies de eucalipto a tensões osmóticas e a resistência à seca, na fase inicial de crescimento das mudas. Entretanto, o autor sugere, ainda, que esses resultados precisariam ser comprovados em condições de campo.

A seleção de procedências de eucalipto resistentes à seca permite o cultivo de materiais genéticos mais produtivos em áreas com reduzida disponibilidade hídrica. LI et al. (2000), estudando a eficiência no uso de água em mudas de 12 procedências de *Eucalyptus microtheca*, submetidas ao déficit hídrico, originadas da Austrália, de sítios com diferentes disponibilidades hídricas, observaram que mudas de procedências de regiões mais secas exibiram taxas transpiratórias menores do que aquelas de procedências mais úmidas. Esse fato sugere a existência de adaptação dos genótipos à variação na disponibilidade hídrica, podendo estar relacionada, dentre outros, com a capacidade de regulação estomática.

O ajustamento osmótico também foi relacionado com a tolerância ao déficit hídrico entre procedências de eucalipto, tendo sido usado como critério de

seleção de procedências tolerantes à deficiência hídrica (TUOMELA,1997; LI, 1998a). LEMCOFF et al. (1994) estudaram o comportamento de *E. grandis*, *E. viminalis*, *E. tereticornis* e *E. camaldulensis*, associando-os à capacidade de se ajustarem osmoticamente em resposta ao déficit hídrico. *E. camaldulensis* apresentou baixo ajustamento osmótico, levando os autores a atribuírem sua maior resistência à seca à existência de um sistema radicular profundo e ramificado, possibilitando absorver água de camadas mais profundas do solo. Dessa forma, o desenvolvimento e arquitetura do sistema radicular também devem ser considerados na seleção de genótipos resistentes ao déficit hídrico (REIS e REIS, 1993; GOMES, 1994).

Existem diferenças na resistência à seca em razão de adaptações estruturais da planta. A área foliar é normalmente reduzida quando a planta está submetida a déficit hídrico, promovendo aumento da relação raiz/parte aérea. LI (1998b) avaliou mudas de diversas procedências de *E. microtheca* submetidas a déficit hídrico e encontrou diferenças na área foliar e na relação raiz/parte aérea das mudas, sendo que essas características foram relacionadas com a procedência da espécie. É baseado no fato de que existe variação na adaptação à seca entre procedências que muitas empresas florestais têm buscado obter materiais genéticos com essas características, ou seja, de regiões onde as condições ambientais da origem sejam semelhantes às do local onde se deseja implantar a floresta. Essa relação com o habitat natural permite que esses materiais genéticos conservem as características de interesse. Essas características como, por exemplo, a relação raiz/parte aérea, podem ser consideradas em uma avaliação precoce de materiais genéticos para condições adversas.

Medições da temperatura das folhas da copa podem, também, fornecer informações que permitem identificação de plantas resistentes à seca. GONÇALVES (1992) considerou a temperatura de copa de plantas de eucalipto estressadas e não estressadas como alternativa para identificar espécies que suportem o déficit hídrico. Nesse estudo, *E. camaldulensis* e *E. citriodora* foram as espécies que apresentaram as menores diferenças de temperatura de copa de plantas estressadas e não estressadas, em decorrência de eventuais mecanismos

de resistência à seca exibidos por essas duas espécies. Esses mecanismos poderiam estar relacionados com a maior eficiência em absorver e transportar água através da planta.

3.1. Relações hídricas

Para avaliar o grau de déficit hídrico das plantas em seu ambiente natural ou em condições experimentais, têm sido usadas medições da água no solo e na planta. No entanto, a planta é o indicador mais confiável do estado hídrico (LARCHER, 1995).

3.1.1. Transpiração

Segundo KRAMER e BOYER (1995), a transpiração é o processo mais importante no balanço hídrico da planta, uma vez que pode envolver um grande volume de água, sendo liberada, principalmente, através dos estômatos das plantas. A transpiração acontece através da perda de água da superfície das células do mesófilo através dos estômatos, ou através da cutícula, ou, ainda, em menor extensão, através das lenticelas e da casca.

A transpiração das plantas depende de fatores como a temperatura foliar, a área foliar, a relação entre raízes e folhas, tamanho, forma e orientação das folhas e características anatômicas da folha como a densidade de estômatos (KRAMER e BOYER, 1995), além dos fatores ambientais como temperatura, umidade relativa e vento. O equilíbrio entre a absorção e perda de água pelas plantas pode ser alterado em função desses fatores.

A transpiração excessiva pode comprometer a disponibilidade de água para os processos vitais da planta, principalmente quando se trabalha em situações em que a quantidade de água disponível é reduzida. REIS et al. (1988b) observaram um rápido murchamento foliar de mudas de eucalipto em tubetes quando foi suspensa a irrigação, em razão da elevada taxa transpiratória

apresentada pelas plantas. Essa elevada transpiração promoveu redução do potencial hídrico das plantas. Após vários ciclos de seca, houve adaptação das mudas à deficiência hídrica, em resposta ao rápido fechamento dos estômatos. Segundo os autores, o fechamento parcial dos estômatos foi eficiente para reduzir a transpiração e manter um “status” hídrico adequado, não comprometendo os processos vitais das plantas.

A redução na transpiração é um mecanismo que ajuda a reduzir a rápida exaustão da água no solo pelas plantas (LARCHER, 1995; KOZLOWSKI e PALLARDY, 1996; MONNEVEUX e BELHASSEN, 1996). Folhas de plantas crescendo em ambientes secos desenvolvem mecanismos que evitam a perda excessiva de água por transpiração, tais como estômatos menores e mais densamente distribuídos, câmara subestomática protegida por pêlos e/ou espessa camada de cutícula, quase sempre inseridas em cavidades, folhas com epiderme cutinizada e coberta por camada cerosa (KOZLOWSKI e PALLARDY, 1996). É também comum observar abscisão foliar na estação seca, reduzindo a perda de água pelas plantas em florestas decíduais e semidecíduais. Mesmo em regiões onde não se verificam períodos frequentes de seca, as árvores podem perder boa parte de suas folhas em anos onde se observam veranicos acentuados (POOK, 1985).

3.1.2. Condutância estomática

O desequilíbrio entre absorção de água pelas raízes e perdas, principalmente através dos estômatos, pode gerar deficiência hídrica na planta. A deficiência hídrica causa a perda de turgescência nas células guarda, resultando no fechamento dos estômatos e, conseqüentemente, na redução da perda de água e na fixação de carbono (KRAMER, 1969).

SUTCLIFFE (1980) afirma que, provavelmente, o ácido abscísico (ABA) esteja envolvido no fechamento estomático, causando a inibição do fluxo de cátions para as células guardas. Sob déficit hídrico severo, a redução da

transpiração pode persistir, mesmo que a planta esteja suprida de água, provavelmente em razão dos níveis de ABA ainda permanecerem altos por certo tempo, depois de restabelecida a turgidez celular. Entretanto, SCHULZE (1986) considera que o ABA sozinho não deve regular a abertura dos estômatos, uma vez que os níveis desse regulador de crescimento aumentam quando sob deficiência hídrica. Em algumas espécies esses níveis não se alteram.

Os estômatos respondem rapidamente à mudança na umidade do ar, diminuindo, assim, a fixação de carbono antes de ocorrer mudanças no “status” hídrico na folha (KAISER, 1987). Da mesma forma, o decréscimo da umidade no solo parece contribuir com algum sinal que é transmitido às folhas diminuindo a abertura estomática, mesmo quando o potencial hídrico foliar é mantido constante (SASSAKI et al., 1997; KAISER, 1987).

OLIVA et al. (1984), avaliando a resistência à seca em eucalipto, observaram que o déficit hídrico moderado e severo provocaram aumento na resistência difusiva ao vapor de água em *E. grandis*, *E. camaldulensis* e *E. cloeziana*, sendo que as plantas de *E. grandis*, submetidas a uma mesma intensidade de estresse, aumentaram a resistência estomática à medida que se acumularam os ciclos de desidratação, mostrando que os estômatos se tornaram mais sensíveis ao ABA acumulado. Observaram, ainda, que foram necessários níveis de estresse cada vez menores para promover fechamento dos estômatos. Os autores verificaram, também, diferenças quanto a resistência à seca entre as três espécies, sendo que *E. camaldulensis* e *E. grandis* foram consideradas como espécies preventivas, fechando os estômatos rápida e eficientemente, enquanto *E. cloeziana* manteve os estômatos mais abertos, mesmo sob déficit hídrico severo, apresentando, portanto, baixa resistência à seca

3.1.3. Potencial hídrico foliar

A redução drástica do potencial hídrico foliar causada pelo déficit hídrico indica que a planta está numa condição em que suas células estão sofrendo

desidratação do protoplasma, o que prejudica todos os seus processos vitais (LARCHER, 1995; KOZLOWSKI e PALLARDY, 1996).

Kramer (1983), citado por LEITE (1996), considera que o potencial hídrico foliar é a medida mais simples do “status” hídrico da planta e que a determinação do potencial hídrico foliar do antemanhã, comparado aos valores observados ao longo do dia, é uma importante ferramenta para se avaliar o seu “status” hídrico.

MIELKE (1997), analisando o potencial hídrico do antemanhã, observou que árvores de *E. grandis* sofreram uma condição de déficit hídrico moderado na época de baixa disponibilidade hídrica. Por outro lado, LEITE (1996) considerou que árvores de *E. grandis* conseguiram restabelecer seu “status” hídrico adequado durante à noite, sendo que as mesmas apresentaram valores semelhantes de potencial hídrico foliar logo após o amanhecer, nas épocas de alta e baixa disponibilidade hídrica. GOMES (1994), também, observou a recuperação do potencial hídrico foliar de plantas de eucalipto, após às 13:00 h, quando o potencial hídrico apresentou valores bastante reduzidos. Segundo o autor, plantas estabelecidas em espaçamentos mais amplos apresentaram maior redução do potencial hídrico foliar, em razão de uma maior produção em área foliar, levando a uma maior perda de água pela transpiração, comparadas àquelas estabelecidas em espaçamentos mais densos. Além da transpiração, a eficiência na absorção de água pelas raízes pode também alterar o potencial hídrico foliar (LARCHER, 1995), uma vez que o transporte de água na planta envolve todos os componentes do sistema solo-planta-atmosfera (KRAMER e BOYER, 1995).

3.2. Fotossíntese

A capacidade que as plantas possuem de fixar carbono sob deficiência hídrica ou a capacidade de retomar a taxa fotossintética após um período de déficit hídrico têm sido estudadas em trabalhos que buscam verificar a resistência à seca em mudas de espécies florestais (RHODENBAUGH e PALLARDY, 1993; STONEMAN et al., 1994). Em condições de seca, a fotossíntese

normalmente diminui, e isso pode ser parcialmente devido ao fechamento dos estômatos e, também, pela interferência no processo fotossintético (REID et al., 1991).

Segundo KOZLOWSKI e PALLARDY (1996), a taxa fotossintética é muito sensível à disponibilidade de água, decrescendo tanto em solos secos quanto em solos encharcados. O déficit hídrico reduz a fotossíntese pelo fechamento dos estômatos, diminuindo a eficiência do processo de fixação de carbono, suprimindo a formação e expansão foliar, podendo induzir a queda de folhas.

Quando o potencial hídrico foliar é reduzido, a taxa fotossintética também pode ser diminuída na mesma proporção. Segundo KOZLOWSKI e PALLARDY (1996), é difícil estabelecer um potencial hídrico foliar no qual a fotossíntese começa a decrescer porque esse valor varia com a espécie, genótipo, habitat, histórico da planta e condições ambientais predominantes.

A curto prazo, a inibição da fotossíntese em árvores estressadas se dá, principalmente, pela menor taxa de absorção de CO₂, devido ao fechamento dos estômatos (HINCKLEY et al., 1991). A longo prazo, a inibição não estomática da fotossíntese é muito importante e pode envolver diminuição na atividade de enzimas responsáveis pela carboxilação (carboxilases), capacidade para transferência de elétron e teor de clorofila. Dentre esses efeitos, o transporte de elétrons parece ser o mais resistente à inibição sob déficit hídrico. No entanto, a fosforilação e metabolismo fotossintético do carbono parecem ser mais sensíveis à desidratação. A fosforilação pode ser sensível aos efeitos tóxicos da alta concentração do magnésio que acompanha a remoção de água do cloroplasto em folhas desidratadas (TAIZ e ZEIGER, 1991; KOZLOWSKI e PALLARDY, 1996).

Segundo KAISER (1987), a combinação de deficiência hídrica e altos níveis de radiação favorecem a inibição do aparelho fotossintético a nível de reações no tilacóide, diminuindo o transporte de elétrons. No entanto, ainda não está bem claro se a inibição da fotossíntese é causada pelo suprimento limitado

de CO₂ devido ao fechamento dos estômatos ou pelo efeito direto da desidratação do cloroplasto.

Quando plantas que passaram por um período de déficit hídrico são irrigadas, a taxa de fotossíntese pode ou não retornar aos níveis anteriores, dependendo do material genético, severidade e duração da seca e umidade do ar. Aquela planta que consegue recuperar-se e voltar a fotossintetizar como anteriormente ao estresse possui, certamente, uma maior tolerância ao déficit hídrico. Os efeitos prejudiciais da seca no processo fotossintético podem durar semanas ou até meses e a capacidade de plantas estressadas recuperar a sua capacidade fotossintética pode estar associada à capacidade dos estômatos reabrirem parcial ou totalmente e com as injúrias sofridas pelo aparelho fotossintético, como a síntese de proteínas (KOZLOWSKI e PALLARDY, 1996).

3.3. Crescimento e produção de matéria seca

O déficit hídrico é um dos principais fatores ambientais que limitam o crescimento de espécies arbóreas. Segundo LARCHER (1995), a deficiência hídrica reduz a turgescência das células e, com a progressiva desidratação do protoplasma, aumenta a concentração do conteúdo celular. Em geral, todos os processos vitais são afetados pelo declínio no potencial hídrico, comprometendo o crescimento da planta, uma vez que a primeira resposta ao déficit hídrico é a diminuição no turgor e conseqüente redução do crescimento (REID et al., 1991; LARCHER, 1995; IUCHI et al., 1996; GUICHERD et al., 1997).

Sob déficit hídrico, as células das plantas não se encontram completamente túrgidas e o potencial hídrico é substancialmente menor que zero, havendo paralisação do crescimento, fechamento dos estômatos e murchamento das folhas e tecidos jovens (KOZLOWSKI e PALLARDY, 1996).

A paralisação ou redução do crescimento pode ser verificada pela diminuição na expansão foliar e redução na altura e diâmetro, resultando em diminuição na biomassa total da planta. LI et al. (2000) estudaram o efeito do

défice hídrico no crescimento de mudas de diversas procedências de *E. microtheca* e encontraram redução da matéria seca total, altura das mudas e área foliar específica e aumento na relação raiz/parte aérea, quando se compararam plantas plenamente irrigadas com aquelas sob défice hídrico. Respostas diferenciadas observadas no crescimento de plantas sob défice hídrico, às vezes, podem ser utilizadas na identificação de espécies, clones ou procedências mais resistentes ao défice hídrico, segundo os autores.

REIS et al. (1988b) submeteram mudas de *E. grandis* e *E. camaldulensis* a ciclos de seca em tubetes, até o aparecimento de sintomas drásticos de murcha foliar, e observaram redução no crescimento em altura e diâmetro para as duas espécies, sendo que a redução para as mudas de *E. grandis* foi imediata.

As mudas provenientes de sementes ou de estacas podem apresentar diferença em relação à resistência à seca, possivelmente, em razão de diferenças de desenvolvimento do sistema radicular. SASSE e SANDS (1996) estudaram o comportamento de mudas de *E. globulus*, provenientes de sementes e estacas, submetidas a défice hídrico, em casa de vegetação. A altura das plantas foi menor nos tratamentos de estresse, havendo redução de 12,7% e 14,7% nos tratamentos de estresse moderado e severo, respectivamente. O crescimento em diâmetro foi menor nas mudas provenientes de estacas, sendo menor, também, nos tratamentos de estresse

As reduções na biomassa e área foliar das plantas podem ser o resultado de queda de folhas, a depender da intensidade do défice hídrico. O défice hídrico cíclico reduziu o acúmulo de matéria seca e a área foliar nas mudas de três espécies de eucalipto estudadas por FAÇANHA (1983), sendo que essas reduções foram mais acentuadas no *E. camaldulensis* em relação ao *E. grandis* e *E. cloeziana*. Entretanto, o défice hídrico cíclico não reduziu o número de folhas de *E. camaldulensis*, embora tenha reduzido nas outras espécies.

3.4. Expansão foliar

O acompanhamento da expansão foliar em plantas sob deficiência hídrica é bastante comum em trabalhos que visam verificar diferenças no crescimento das plantas (LIMA, 1996; OSÓRIO et al., 1998). Segundo TAIZ e ZEIGER (1991), o decréscimo em área foliar é uma resposta precoce ao déficit hídrico. A diminuição do conteúdo de água na célula leva a uma diminuição do turgor e, conseqüentemente, a expansão celular diminui. Dessa forma, a inibição da expansão celular resulta em menor expansão foliar, diminuindo a perda de água por transpiração. Segundo esses autores, a limitação da área foliar pode ser considerada a primeira linha de defesa contra o déficit hídrico.

OSÓRIO et al. (1998) estudaram o efeito do déficit hídrico no crescimento de mudas de três clones (AR3, CN44, MP11) de *E. globulus*, sendo que a deficiência hídrica afetou a taxa de expansão foliar. A redução no tamanho final das folhas das plantas crescendo nos tratamentos de estresse moderado e estresse severo foi de 20% e 50%, respectivamente, em comparação com o tratamento testemunha. O déficit hídrico afetou, também, o acúmulo de biomassa total, em conseqüência do decréscimo na área foliar. Entretanto, o fechamento dos estômatos em conseqüência do abaixamento do potencial hídrico no solo pode reduzir a fixação de carbono, reduzindo o crescimento nessas plantas. Quando o déficit hídrico foi suspenso, a expansão foliar foi retomada nos três materiais genéticos estudados. Porém, a retomada de crescimento foliar foi maior no clone AR3, atribuída a um adequado ajuste osmótico. Dessa forma, a avaliação da expansão foliar sob deficiência hídrica e a sua retomada após suspensão do estresse pode ser um indicativo de maior tolerância à deficiência hídrica.

Quando se compara a expansão foliar em plantas de diferentes espécies sob deficiência hídrica, há que se considerar o tamanho das folhas de cada espécie. Espécies com folhas menores podem apresentar menor redução na expansão foliar (LIMA, 1996).

3.5. Modificações morfológicas

O déficit hídrico pode afetar o crescimento das plantas e modificar sua anatomia, morfologia e fisiologia. Dentre outros, alguns dos mecanismos que permitem a sobrevivência da planta em regiões áridas são a melhoria da eficiência da absorção e condução de água, restrição da transpiração e armazenamento de água. Essas características são o resultado de modificações na morfologia e fisiologia das plantas (LARCHER, 1995).

O baixo potencial hídrico na planta pode ser amenizado através de adaptações morfológicas, conduzindo ao aumento da eficiência de absorção de água pelas raízes, diminuição da resistência ao fluxo no xilema (para uma dada taxa de transpiração), o que reduz o gradiente de potencial hídrico entre raízes e folhas, além de adaptações relativas à redução no tamanho das folhas, abscisão foliar, barreira cuticular e controle estomático que reduzem a perda de água para a atmosfera (KOZLOWSKI e PALLARDY, 1996).

LI (1998b) considera a relação raiz/parte aérea como sendo característica importante a ser considerada em estudos sobre a adaptação à seca em espécies de eucalipto. A absorção de água pode ser melhorada através de um sistema radicular mais extenso e profundo nas plantas arbóreas, possibilitando absorver água em camadas mais profundas do solo (REIS e HALL, 1987). Por outro lado, árvores que se desenvolvem em solos rasos podem sofrer com mais severidade uma eventual falta de água no solo (LARCHER, 1995), em razão de limitação no desenvolvimento do sistema radicular. Outra adaptação morfológica induzida pela falta d'água é a alteração da relação raiz/parte aérea, onde o desenvolvimento do sistema radicular pode ser favorecido e, com isto, potencializar a absorção de água ao mesmo tempo em que reduz as perdas pela parte aérea (LARCHER, 1995; KOZLOWISK e PALLARDY, 1996; MONNEVEUX e BELHASSEN, 1996).

GOMES (1994) estudou a arquitetura radicular em três espécies de eucalipto plantadas na região de cerrado e considerou que *E. camaldulensis* e *E. urophylla* apresentaram raízes mais profundas e distribuídas em todas as camadas

do perfil do solo, ao passo que *E. pellita*, apresentou sistema radicular superficial. As duas primeiras espécies, também, foram mais eficientes no uso de água, sendo indicadas para o cultivo em regiões com reduzida disponibilidade de água.

Segundo SASSE e SANDS (1996), mudas de *E. globulus* produzidas a partir de estacas possuem menor capacidade de suportar déficit hídrico severo, em relação às mudas produzidas a partir de sementes. Os mesmos autores observaram, também, que a condutância estomática e a transpiração foram semelhantes entre os dois tipos de mudas, sugerindo que a diferença na resistência ao déficit hídrico estaria relacionada ao sistema radicular dos dois tipos de planta.

Segundo AWE et al. (1976), o *E. camaldulensis* possui uma relação raiz/parte aérea elevada, o que pode contribuir para um desenvolvimento satisfatório dessa espécie em regiões semi-áridas. Comparando o desenvolvimento do sistema radicular do *E. camaldulensis* com o de *E. saligna* e *E. pilularis*, os mesmos autores sugeriram que o *E. camaldulensis* apresenta um rápido e amplo desenvolvimento do seu sistema radicular.

A relação raiz/parte aérea varia entre espécies quando submetidas ao déficit hídrico. FAÇANHA (1983) encontrou que a relação raiz/parte aérea aumentou em mudas de *E. camaldulensis* e diminuiu no *E. grandis* e *E. cloeziana*, quando submetidas ao déficit hídrico.

CAPÍTULO 1

CRESCIMENTO, FOTOSSÍNTESE E RELAÇÕES HÍDRICAS EM MUDAS DE CINCO CLONES DE EUCALIPTO, EM TUBETES, SOB DOIS REGIMES DE IRRIGAÇÃO

1. INTRODUÇÃO

A seleção de materiais genéticos de eucalipto resistentes ao déficit hídrico é de grande interesse para as empresas florestais, principalmente aquelas localizadas em áreas que apresentam acentuado déficit hídrico no solo. Visando obter produtividade elevada de suas florestas, essa seleção de espécies, procedências e clones produtivos é essencialmente realizada em testes de campo, o que demanda um longo período para a comprovação de resultados. É possível que, com a inclusão da análise de características ecofisiológicas, os resultados da seleção de materiais genéticos sejam mais confiáveis e obtidos de plantas ainda no estágio juvenil de desenvolvimento, encurtando o tempo dos testes.

Alguns trabalhos com espécies e clones resistentes ao déficit hídrico têm sido desenvolvidos com mudas de diferentes espécies florestais (FAÇANHA, 1983; RHODENBAUGH e PALLARDY, 1993; NAUTIYAL, 1994; STONEMAN et al., 1994; ROCHA e MORAIS, 1997; LI et al. 2000), sob

diferentes condições experimentais. Entretanto, esses trabalhos têm sido realizados em vasos, ou seja, recipientes que não restringem severamente o desenvolvimento das plantas. A utilização de tubetes plásticos pode limitar os recursos de crescimento (REIS et al., 1989), exigindo que as plantas utilizem de maneira otimizada esses recursos, o que pode possibilitar a seleção precoce dos materiais genéticos.

Nas últimas décadas, o saco plástico tem sido substituído pelo tubete na produção de mudas de eucalipto. Dentre outras, as principais vantagens dos tubetes plásticos são o espaço reduzido ocupado pelas mudas no viveiro e a facilidade de seu manejo. O seu volume é reduzido (aproximadamente 60 ml), condicionando o sistema radicular das mudas, e o fundo é vazado. Dessa forma, as mudas nos tubetes necessitam de cuidados especiais, como a aplicação freqüente de doses mais elevadas de nutrientes, de forma a compensar suas perdas, principalmente por lixiviação (NEVES et al., 1990). Sendo o uso do tubete uma realidade no processo de produção de mudas de eucalipto nas empresas florestais, estudos que visam resultados obtidos precocemente podem ser conduzidos neste tipo de recipiente, de modo que as empresas possam associar, durante o processo de produção, os resultados obtidos nos estudos com o comportamento apresentado pelas mudas no viveiro, mediante avaliações de crescimento ou do comportamento fisiológico de cada material genético.

Na tentativa de obter a seleção precoce de clones de eucalipto resistentes ao déficit hídrico, objetivou-se, neste trabalho, a realização de estudos em tubetes plásticos, com diferentes regimes de irrigação, visando identificar características fisiológicas e ou morfológicas de clones de eucalipto, em condições de viveiro, de modo a subsidiar a seleção precoce desses genótipos para plantio em ambientes com diferenciada disponibilidade de água no solo.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Material experimental e delineamento estatístico

Foram utilizadas mudas de cinco clones de eucalipto produzidas pela COPENER FLORESTAL Ltda., localizada no norte do Estado da Bahia. As mudas foram produzidas em tubetes plásticos de aproximadamente 60 ml pelo método de estaquia. A escolha dos clones foi baseada nas suas respostas em plantios comerciais na empresa, estabelecidos em locais com diferentes níveis de precipitação pluviométrica (Quadro 1). O substrato utilizado na produção das mudas foi constituído de vermiculita e composto orgânico à base de casca de coco, na proporção volumétrica de 1:1. A adubação mineral foi feita com base na recomendação proposta pela empresa.

O experimento foi conduzido em casa de vegetação no Viveiro de Pesquisas Florestais do Departamento de Engenharia Florestal da Universidade Federal de Viçosa, localizado no Município de Viçosa, Minas Gerais.

2.2. Aplicação de déficit hídrico às mudas em tubetes

Aos quatro meses após o início da produção das mudas, estas passaram por uma seleção quanto à uniformidade. O experimento foi constituído de 10

Quadro 1 – Clones selecionados para a realização do experimento em tubetes e suas características de origem.

Clone	Espécie	Procedência dos Parentais	Origem	Precipitação ¹ (mm/ano)
0063	<i>E. grandis</i>	Mtao Forest	Coff's Harbour	1200
	x	x	x	
0321	<i>E. urophylla</i>	Rio Claro	Timor	1200
	<i>E. grandis</i>	Mtao Forest	Coff's Harbour	
1250	X	x	x	900
	<i>E. urophylla</i>	Rio Claro	Timor	
1260	<i>E. grandis</i>	Mtao Forest	Coff's Harbour	900
	X	x	x	
1277	<i>E. urophylla</i>	Rio Claro	Timor	700
	<i>E. camaldulensis</i>	Petford	Petford	
	x			
	<i>E. spp</i>			

¹ Refere-se à precipitação média nas áreas onde foi estabelecido com sucesso o plantio comercial com plantas do referido clone na Copener Florestal Ltda, localizada no norte do Estado da Bahia.

tratamentos, sendo dois níveis de irrigação e cinco clones, em esquema fatorial (2 x 5), estabelecido em um Delineamento Inteiramente Casualizado, com quatro repetições e 24 plantas por unidade experimental (U.E.), sendo utilizadas oito plantas para avaliação do crescimento em diâmetro e altura. No primeiro nível de irrigação, as plantas foram mantidas irrigadas até a capacidade do tubete (Irigado), utilizando-se pelo menos duas irrigações diárias. No segundo nível (Estressado), a irrigação foi suspensa e somente foi reiniciada com o surgimento de sintomas de deficiência hídrica nas folhas da parte mediana da copa das plantas, completando o ciclo de seca.

Para auxiliar na determinação do final de cada ciclo de seca, foram realizados estudos preliminares com 36 mudas de cada um dos cinco clones, em laboratório. A irrigação foi suspensa após as mudas serem plenamente irrigadas e mantidas ao abrigo da luz solar, para que a depleção da umidade do substrato ocorresse lentamente. Durante seis dias consecutivos, foi medido, em seis plantas

de cada clone, o potencial hídrico do antemanhã (4:30-5:00 h) e determinada a umidade do substrato de cada planta, pelo método gravimétrico. O potencial hídrico do antemanhã mantém uma relação de equilíbrio com o potencial hídrico do substrato, em razão das baixas taxas transpiratórias apresentadas pelas plantas durante à noite. A redução do potencial hídrico do substrato foi associado ao aparecimento de sintomas de deficiência hídrica na planta, ao longo da curva de retenção de água do substrato (Figura 1). Dessa forma, foi possível calibrar os tratamentos, identificando o final de cada ciclo em que a irrigação ficou suspensa.

O experimento foi conduzido no período de 14 de dezembro de 1999 a 12 de janeiro de 2000, até que se completassem cinco ciclos sucessivos de seca. Entre os ciclos de seca, as plantas passaram por um período de recuperação, de quatro a cinco dias, tendo sido mantidas irrigadas até a capacidade do tubete.

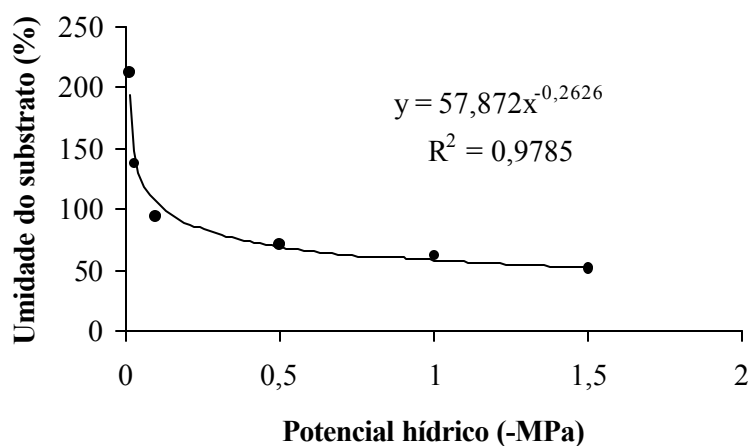


Figura 1 – Curva de retenção de umidade do substrato.

2.2.1. Descrição das características avaliadas

2.2.1.1. Características fisiológicas

Durante todos os dias de cada ciclo de seca, foram medidas, em folhas totalmente expandidas da parte mediana da copa das plantas, a temperatura foliar,

a condutância estomática e a transpiração foliar, com o porômetro de difusão de estado estacionário, modelo LI-1600 da LI-COR, às 9:00, 13:00 e 17:00 h. Essas medidas foram feitas na superfície abaxial da folha e foram utilizadas três repetições de cada tratamento. Ao final de cada ciclo de seca, o potencial hídrico foliar foi determinado por meio de uma bomba de pressão (SCHOLANDER et al., 1965), em folhas totalmente expandidas, utilizando-se pelo menos duas repetições de cada tratamento.

Após o último ciclo de seca, foi feita a determinação da fotossíntese líquida a $800 \mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ de intensidade de radiação fotossinteticamente ativa com um analisador de gases a infravermelho portátil, modelo LI-6400 da LI-COR, entre 9:00 h e 10:30 h, para verificar o efeito dos tratamentos sobre a capacidade de recuperação da taxa fotossintética da planta. A escolha desse horário deveu-se ao fato de que as plantas apresentam maior eficiência na fixação de carbono, acentuando as respostas das mesmas aos tratamentos. Para essa medição, foram utilizadas três repetições de cada tratamento, avaliando-se sempre folhas completamente expandidas localizadas na parte mediana da copa da muda.

2.2.1.2. Características de crescimento

Antes e após a aplicação dos tratamentos foram medidos o diâmetro da estaca e a altura total de oito plantas de cada U.E. O número e tamanho de folhas foram medidos em três plantas por U.E. com o intuito de verificar o efeito do déficit hídrico sobre o crescimento das plantas. Foi utilizada uma planta de cada repetição para avaliação da área foliar inicial e final, assim como da biomassa seca de folhas, haste e ramos e raízes. A área foliar foi medida através do medidor de área foliar portátil, modelo LI-3000A da LI-COR. A biomassa foi determinada após secagem do material em estufa a $75 \text{ }^\circ\text{C}$, até peso constante.

A expansão foliar foi avaliada em duas plantas de cada U.E., que tiveram um par de seus primórdios foliares marcados e, posteriormente, medidos o comprimento e a largura de cada primórdio foliar. A partir dessas medições, foi

estimada a área foliar pela equação: $\hat{y} = 0,5214 + 0,6549 * C * L$, onde C = comprimento e L = largura (REIS et al., 1988a). A expansão foliar foi determinada por divisão das médias das áreas foliares obtidas ao final dos ciclos de seca pela área foliar média obtida na primeira leitura.

2.3. Avaliação da capacidade de retomada de crescimento das mudas após os ciclos de seca

Ao final do experimento em que as plantas foram submetidas aos ciclos de seca, duas plantas por repetição de cada tratamento foram transplantadas em vasos contendo material de solo coletado às camadas de, aproximadamente, 30 a 100 cm de um Latossolo vermelho-amarelo, na região de Viçosa, MG, estabelecidos em Delineamento Inteiramente Casualizado, com a finalidade de observar a capacidade de retomada de crescimento das mudas dos diferentes clones, simulando condições de campo. O solo foi seco ao ar, destorroado e passado em peneira com abertura de 4 mm. Os vasos foram constituídos de tubos de PVC de 15 cm de diâmetro e 100 cm de altura, com capacidade de 17,67 dm³ de solo. No interior dos tubos, foram inseridas, verticalmente, duas mangueiras de 2 cm de diâmetro nas laterais dos tubos, perfuradas a cada 5 cm em toda a sua extensão, de forma a permitir uma irrigação mais uniforme ao longo do solo no tubo. A acidez foi corrigida usando-se uma mistura de CaCO₃ e MgCO₃, na relação 4:1 em moles, na dose de 2t/ha. A adubação foi feita de modo a fornecer, por dm³ de solo, 400 mg de fósforo e 100 mg de potássio, aplicados na forma de superfosfato simples e cloreto de potássio, respectivamente. Por ocasião do transplante, e a cada 30 dias, foram feitas adubações de cobertura de modo a fornecer 20 mg de nitrogênio, 2 mg de zinco, 0,406 mg de boro e 0,65 mg de cobre por dm³ de solo, aplicados na forma de nitrato de amônio, sulfato de zinco, ácido bórico e sulfato de cobre, respectivamente, de modo a manter a disponibilidade desses nutrientes às plantas.

Nesta fase, foi avaliada a capacidade de retomada de crescimento de cada clone, através da análise da parte aérea bem como do sistema radicular. Uma

parte do experimento foi colhida aos 45 dias após o transplantio e, a outra parte, aos 80 dias. As mudas foram mantidas plenamente irrigadas, com o solo próximo à capacidade de campo e, ao final do período de recuperação mencionado anteriormente, as plantas foram avaliadas quanto às seguintes características de crescimento: diâmetro da base da muda, altura total, área foliar e biomassa de folhas, haste e ramos e raízes. A determinação da área foliar e da biomassa dos componentes das mudas foi feita como descrita anteriormente.

Os resultados de condutância estomática e de transpiração foram analisados estatisticamente por meio de análise de variância em que os fatores ciclo e hora do dia constituíram medidas repetidas dentro de cada combinação de clone e níveis de irrigação, utilizando a “procedure” GLM, opção “repeated” do “software SAS”.

Os resultados das demais características foram analisados estatisticamente por meio de estatística descritiva, análise de variância e teste de Tukey a 5% de probabilidade.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Potencial hídrico do antemanhã

A curva de calibração da umidade do substrato com o potencial hídrico do antemanhã (Figura 2) indica que quando a umidade na base do peso seco do substrato reduziu-se de aproximadamente 550% para valores em torno de 65%, o potencial hídrico do antemanhã praticamente não variou, permanecendo entre $-0,1$ MPa e $-0,7$ MPa. O potencial hídrico do antemanhã tem uma relação de equilíbrio com o potencial hídrico do substrato, em razão das baixas taxas transpiratórias apresentadas pelas plantas durante à noite. Quando a umidade do substrato decresceu de 65 para 60%, aproximadamente, ocorreu redução abrupta do potencial hídrico do substrato, tendo atingido valores de, aproximadamente, $-1,5$ MPa, independentemente do clone. A partir desse ponto, foi observado o aparecimento de sintomas de deficiência hídrica na planta (murchamento drástico na parte mediana da copa das mudas). Estes resultados foram utilizados para auxiliar na identificação do final de cada ciclo de seca.

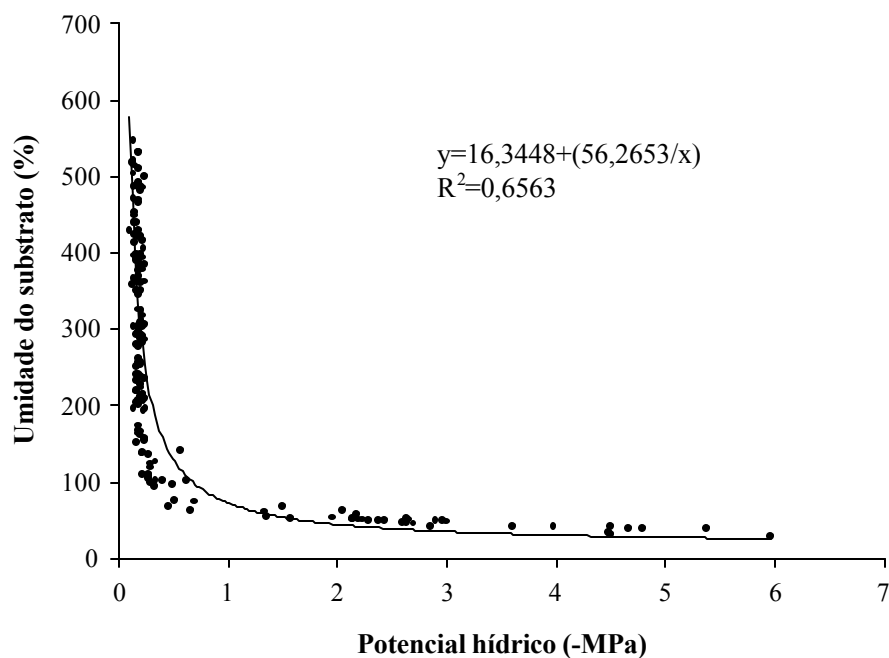


Figura 2– Curva de calibração da umidade do substrato (%) com o potencial hídrico do antemanhã (MPa).

3.2. Relações hídricas

3.2.1. Condutância estomática

As plantas de todos os clones estudados não apresentaram diferença na condutância estomática nos tratamentos Irrigado e Estressado, no decorrer dos vários ciclos de seca (Figuras 3 a 7), embora no primeiro ciclo de seca tenha sido observada tendência das plantas do tratamento irrigado apresentarem maior condutância estomática em relação às do tratamento Estressado, para os clones 0063, 0321 e 1277 (Figura 3). O comportamento estomático das plantas ao longo do dia foi semelhante, independentemente do clone e tratamento de irrigação,

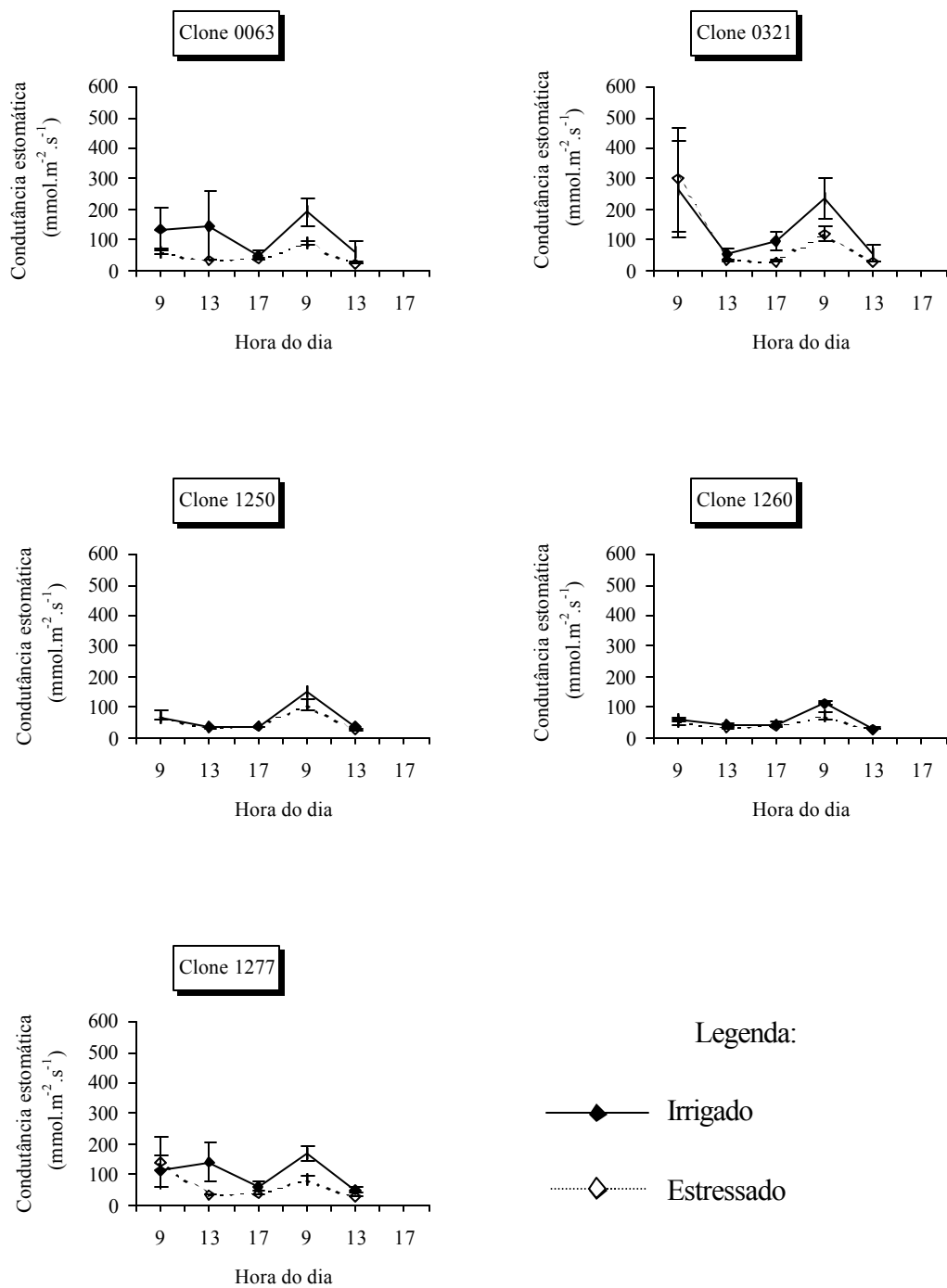


Figura 3 – Condutância estomática de plantas de cinco clones de eucalipto, crescendo em tubetes sob diferentes regimes hídricos – primeiro ciclo de seca (as barras referem-se ao erro padrão da média de três plantas).

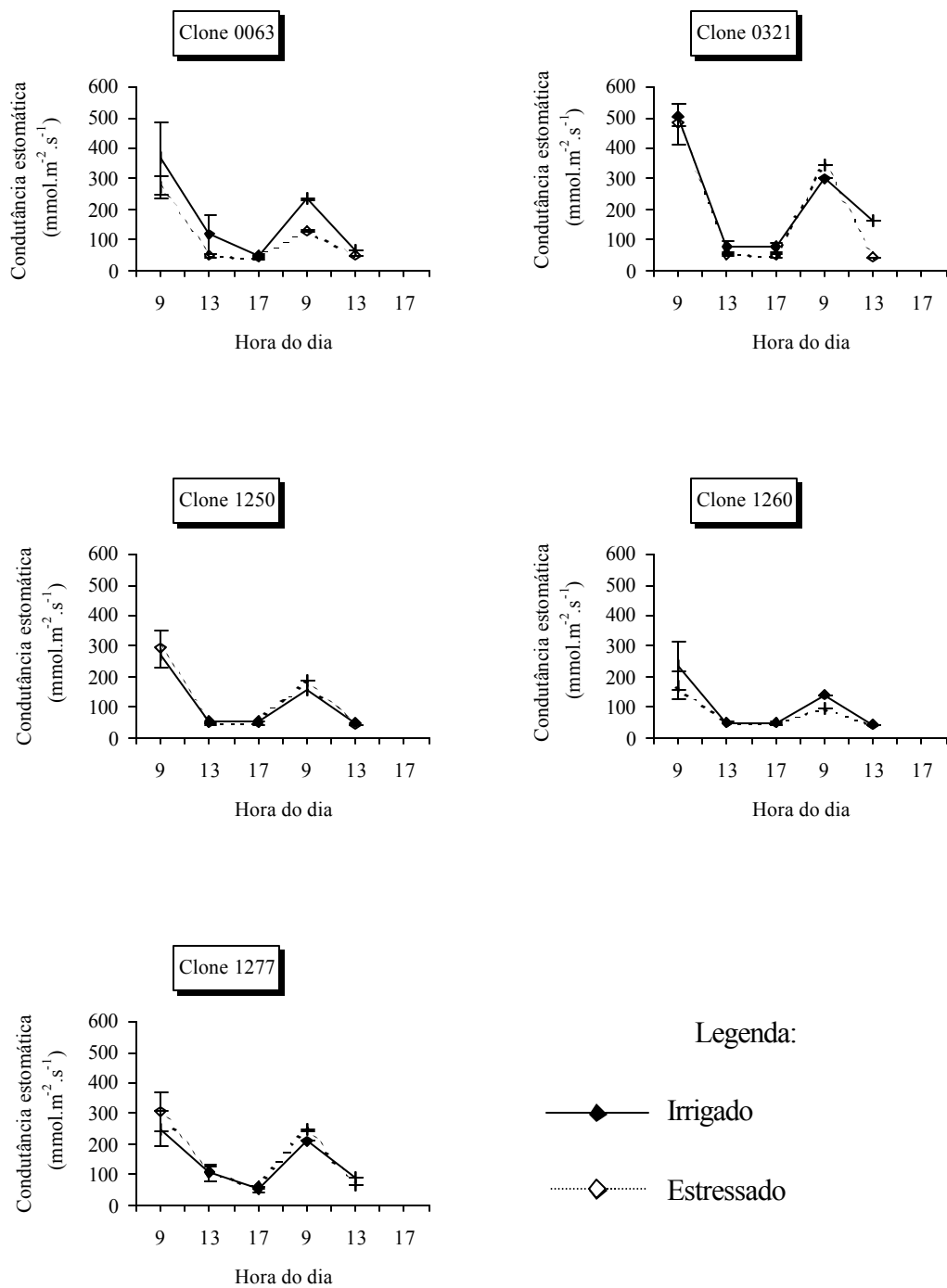


Figura 4 – Condutância estomática de plantas de cinco clones de eucalipto, crescendo em tubetes sob diferentes regimes hídricos – segundo ciclo de seca (as barras referem-se ao erro padrão da média de três plantas).

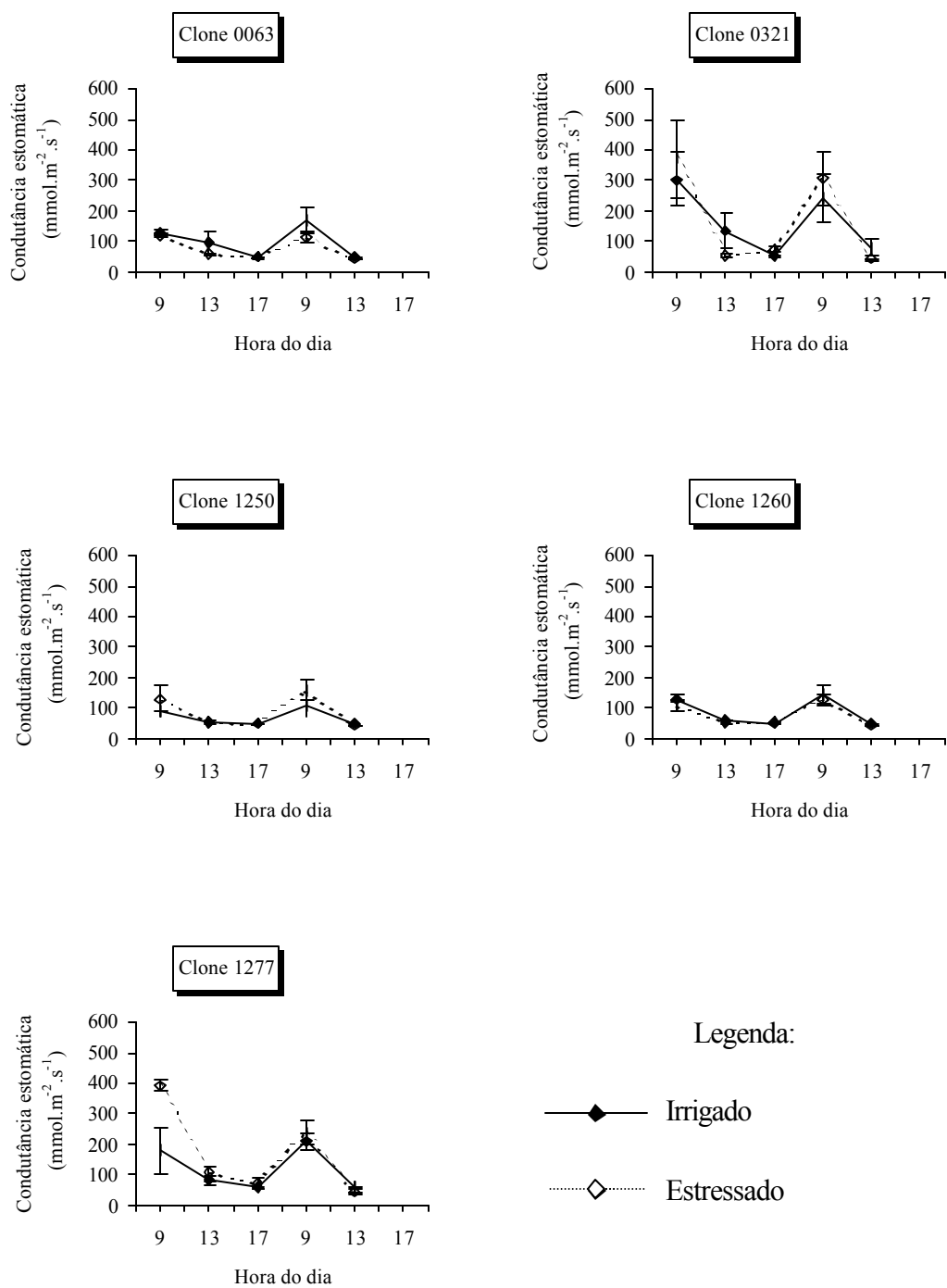


Figura 5 – Condutância estomática de plantas de cinco clones de eucalipto, crescendo em tubetes sob diferentes regimes hídricos – terceiro ciclo de seca (as barras referem-se ao erro padrão da média de três plantas).

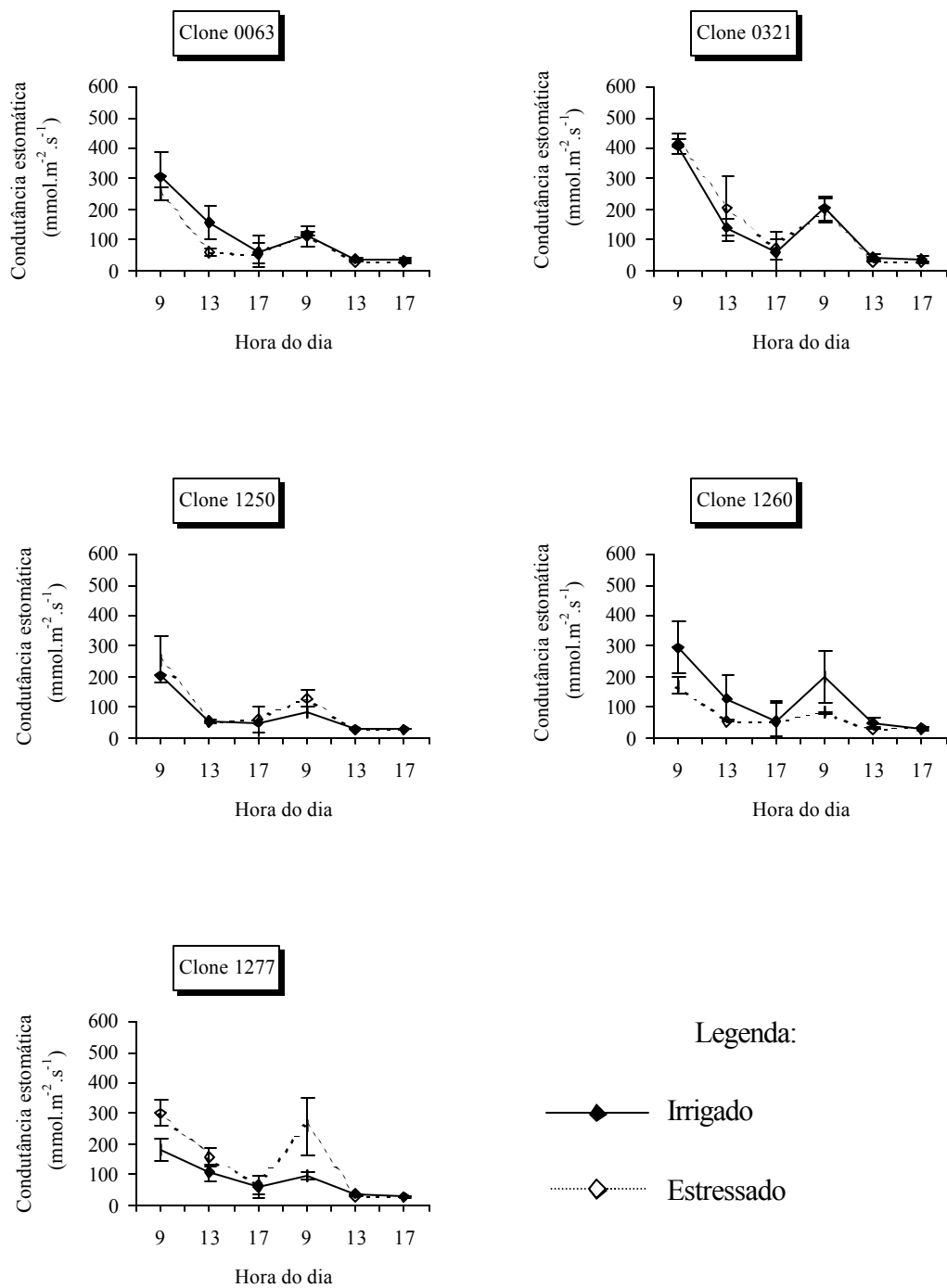


Figura 6— Condutância estomática de plantas de cinco clones de eucalipto, crescendo em tubetes sob diferentes regimes hídricos – quarto ciclo de seca (as barras referem-se ao erro padrão da média de três plantas).

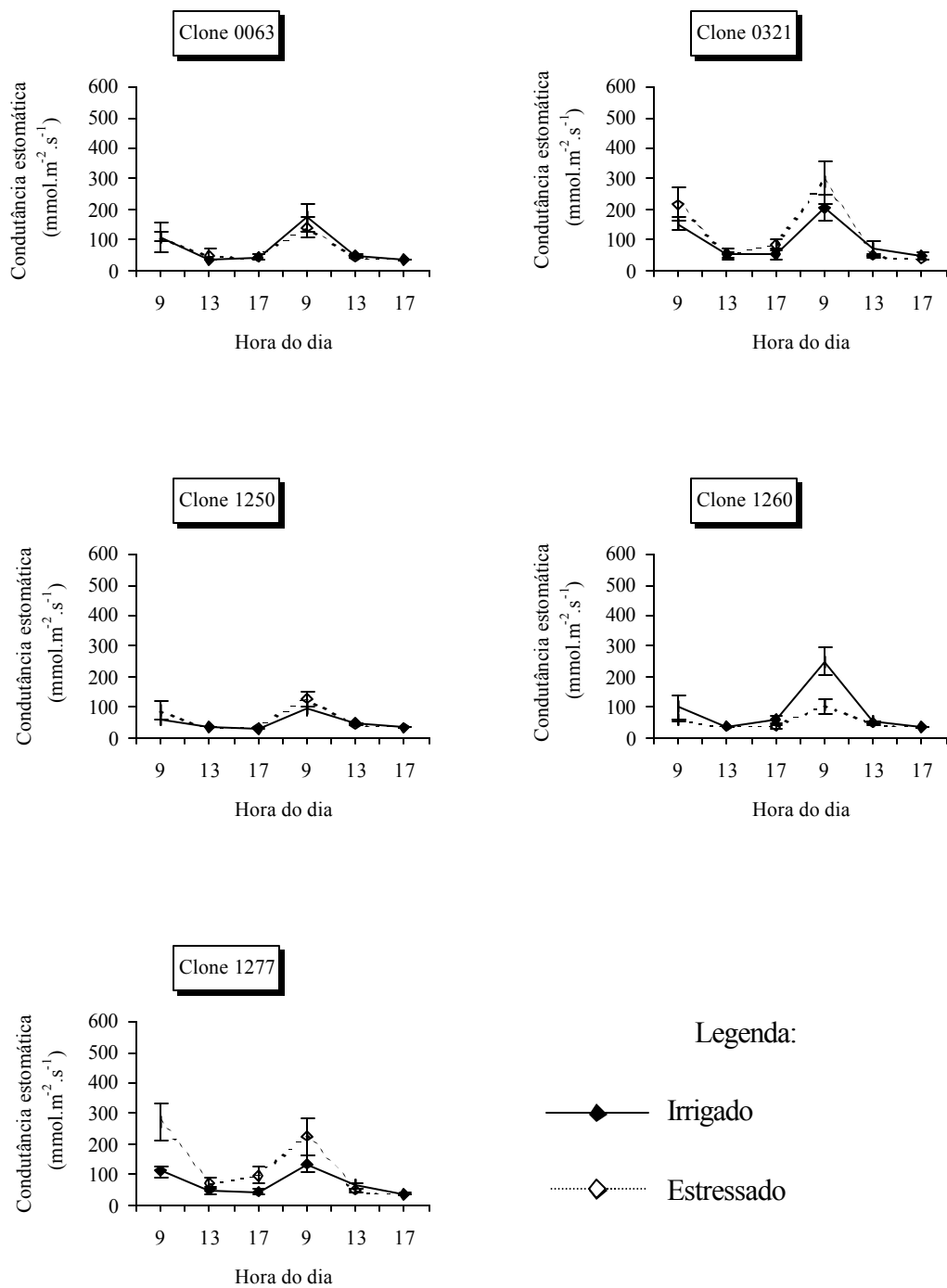


Figura 7— Condutância estomática de plantas de cinco clones de eucalipto, crescendo em tubetes sob diferentes regimes hídricos – quinto ciclo de seca (as barras referem-se ao erro padrão da média de três plantas).

sendo que, às 9:00 h, as plantas apresentaram os estômatos abertos, com seu fechamento parcial às 13:00 h, permanecendo fechados às 17:00 h. Estas avaliações foram realizadas no período de verão, caracterizado por apresentar dias longos e quentes, com elevada demanda evaporativa mesmo às 17:00 h. Desta forma, as plantas mantiveram seus estômatos mais abertos apenas na parte da manhã (9:00 h), quando a demanda evaporativa era reduzida.

Os clones 0063, 0321 e 1277 mantiveram seus estômatos mais abertos em relação aos clones 1250 e 1260, nos dois níveis de irrigação, sugerindo menor consumo de água pelas plantas desses últimos clones (Figuras 3 a 7).

Ao final de cada ciclo de seca, a condutância estomática nas plantas do tratamento Estressado mostrou-se semelhante para os cinco clones, ou seja, independentemente do clone, os estômatos das plantas se fecharam. Por exemplo, na última leitura do primeiro ciclo de seca, às 13:00 h do segundo dia de estresse, as plantas do tratamento Estressado apresentaram condutância estomática de 25,0, 26,8, 27,0, 26,1 e 27,3 $\text{mmol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$, enquanto que, no tratamento Irrigado, esses valores foram de 60,4, 56,5, 38,1, 29,5 e 51,9 $\text{mmol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$, para os clones 0063, 0321, 1250, 1260 e 1277, respectivamente (Figura 3), mostrando haver diferenças entre clones quando as plantas são mantidas irrigadas. A redução na condutância estomática das plantas submetidas ao déficit hídrico evita a perda excessiva de água pela transpiração (SCHULZE, 1986; KOZLOWSKY e PALLARDY, 1996).

No último ciclo de seca, as plantas dos clones 0321 e 1277, no tratamento Estressado, tenderam a manter seus estômatos mais abertos em relação ao Irrigado às 9:00 h dos dois dias do ciclo (Figura 7). Esses dois clones apresentaram intensa redução em área foliar em resposta ao déficit hídrico. Dessa forma, apesar desses clones apresentarem estômatos mais abertos, o consumo de água após experimentar vários ciclos de seca foi menor ao final do experimento, em razão de uma menor superfície transpiracional. A abscisão foliar pode ser uma estratégia de adaptação utilizada pelas plantas desses clones quando submetidas a déficit hídrico acentuado (LARCHER, 1995), no sentido de reduzir

rapidamente sua superfície transpiracional e, conseqüentemente, o uso de água pelas plantas.

Os clones 1250 e 1260 mantiveram seus estômatos mais fechados em relação aos demais, em todos os ciclos de seca, indicando haver menor consumo de água pelas plantas desse clone.

O quarto e o quinto ciclo de seca foram mais longos, quando comparados aos três primeiros ciclos, estendendo-se até às 17:00 h do segundo dia do ciclo de seca (Figuras 6 e 7). Esta resposta indica que houve adaptação dos clones ao déficit hídrico, promovendo um melhor controle estomático. Após experimentar vários ciclos de deficiência hídrica, mudas de eucalipto podem apresentar adaptações relativas ao controle estomático (REIS et al., 1988b). Além disso, a perda em área foliar apresentada por alguns clones no tratamento Estressado pode explicar a perda de água mais lenta no substrato nos últimos ciclos de seca.

3.2.2. Transpiração foliar

A transpiração foliar (Figuras 8 a 12) seguiu a mesma tendência de comportamento da condutância estomática, conforme tem sido observado por alguns autores (GOMES, 1994; MIELKE et al., 1999), uma vez que a transpiração se dá, principalmente, pela perda de água pelos estômatos (KRAMER e BOYER, 1995). Não foi observada diferença entre os tratamentos Irrigado e Estressado, embora tenha havido diferença entre os diversos clones e os diferentes ciclos de seca. No primeiro ciclo de seca, observou-se tendência de maior transpiração nas plantas do tratamento Irrigado em comparação com as do tratamento Estressado (Figura 8). No quarto e quinto ciclos de seca, a diferença entre os dois tratamentos de irrigação foi menor, sendo que, para os clones 0321 e, principalmente o 1277, foi observada tendência de transpiração maior nas plantas do tratamento Estressado em relação às do tratamento Irrigado (Figuras 11 e 12). Isto se deu, provavelmente, em razão da elevada perda em área foliar

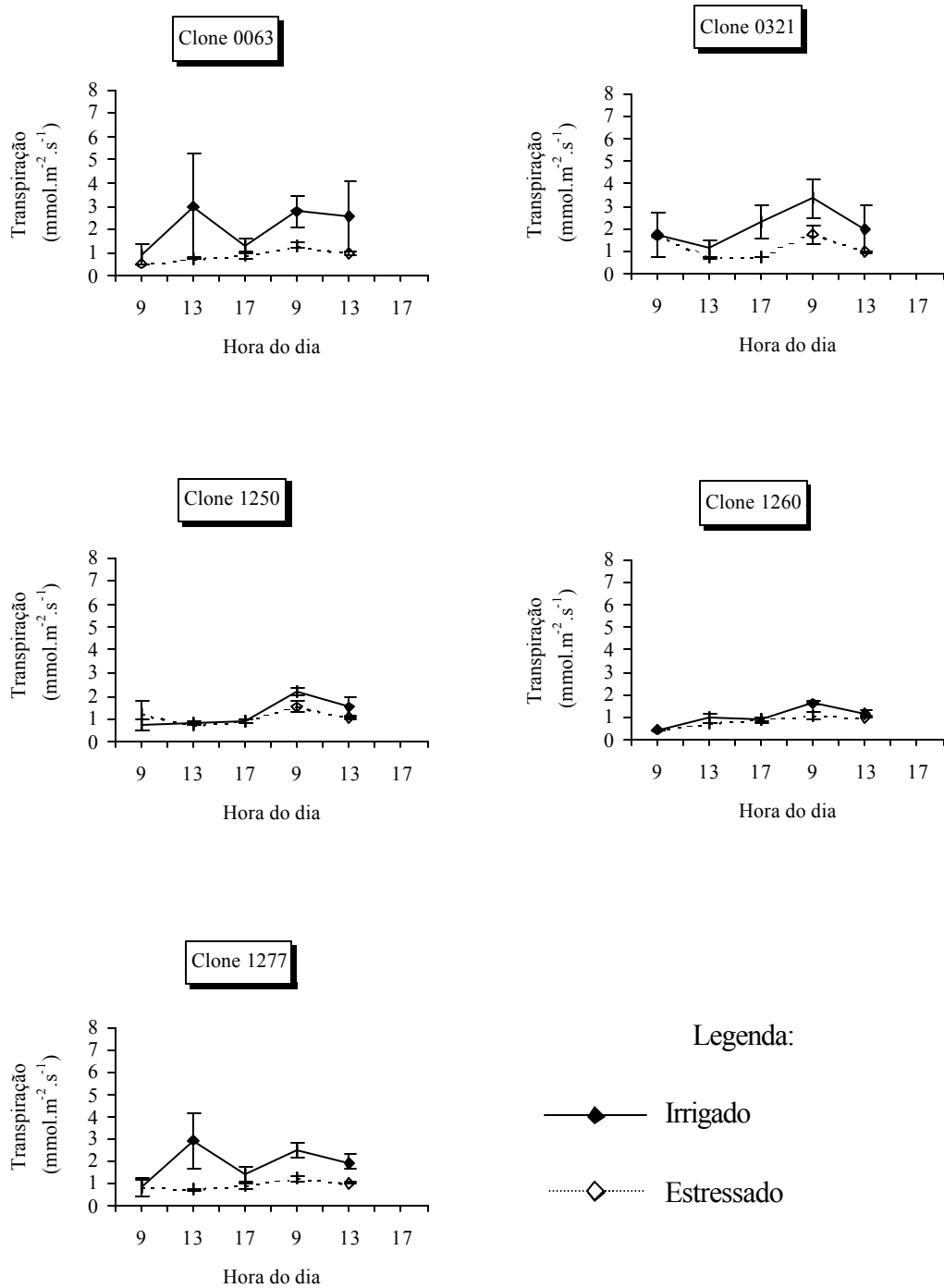


Figura 8 – Transpiração foliar de plantas de cinco clones de eucalipto, crescendo em tubetes sob diferentes regimes hídricos – primeiro ciclo de seca (as barras referem-se ao erro padrão da média de três plantas).

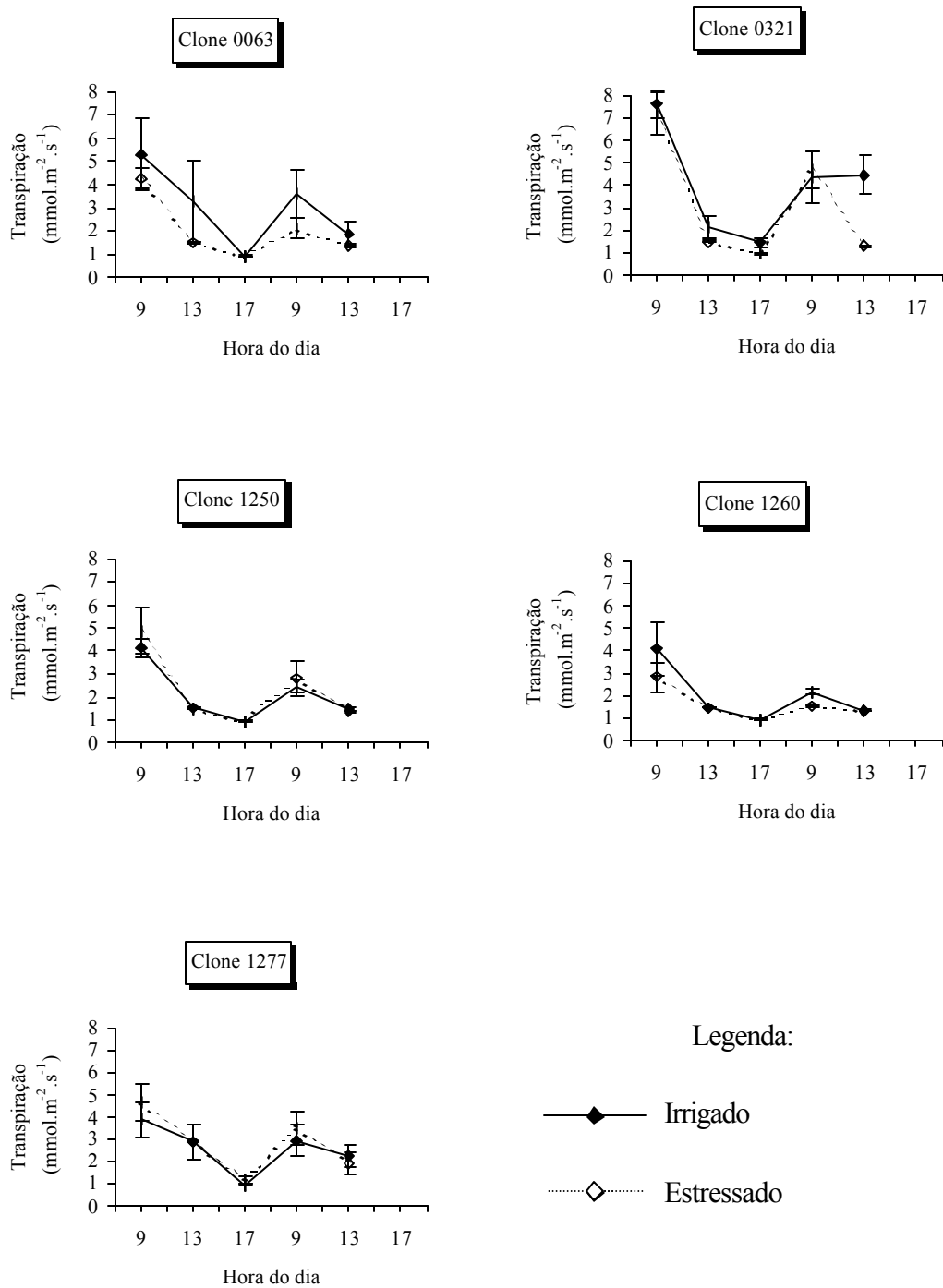


Figura 9 – Transpiração foliar de plantas de cinco clones de eucalipto, crescendo em tubetes sob diferentes regimes hídricos – segundo ciclo de seca (as barras referem-se ao erro padrão da média de três plantas).

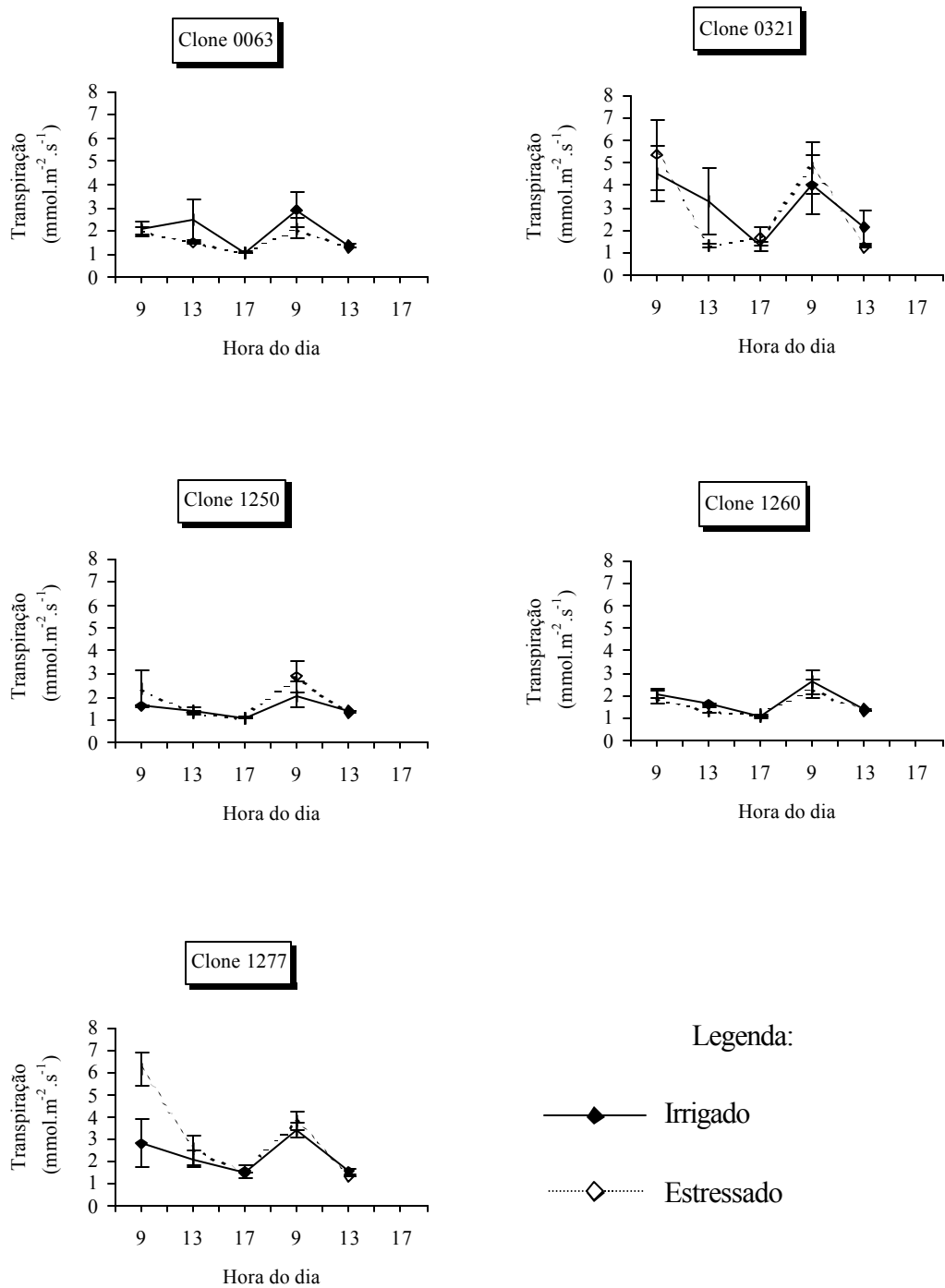


Figura 10 – Transpiração foliar de plantas de cinco clones de eucalipto, crescendo em tubetes sob diferentes regimes hídricos – terceiro ciclo de seca (as barras referem-se ao erro padrão da média de três plantas).

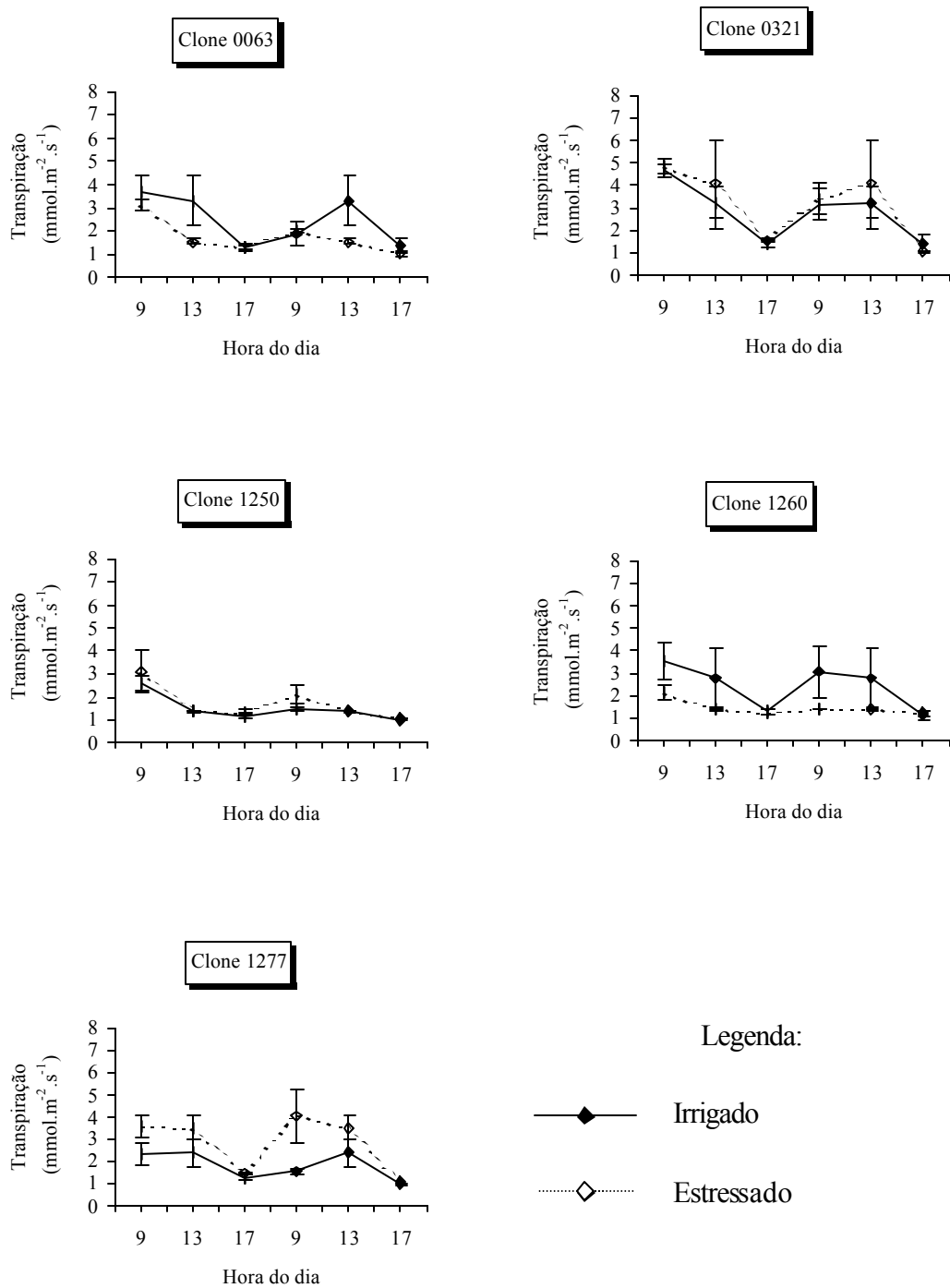


Figura 11 – Transpiração foliar de plantas de cinco clones de eucalipto, crescendo em tubetes sob diferentes regimes hídricos – quarto ciclo de seca (as barras referem-se ao erro padrão da média de três plantas).

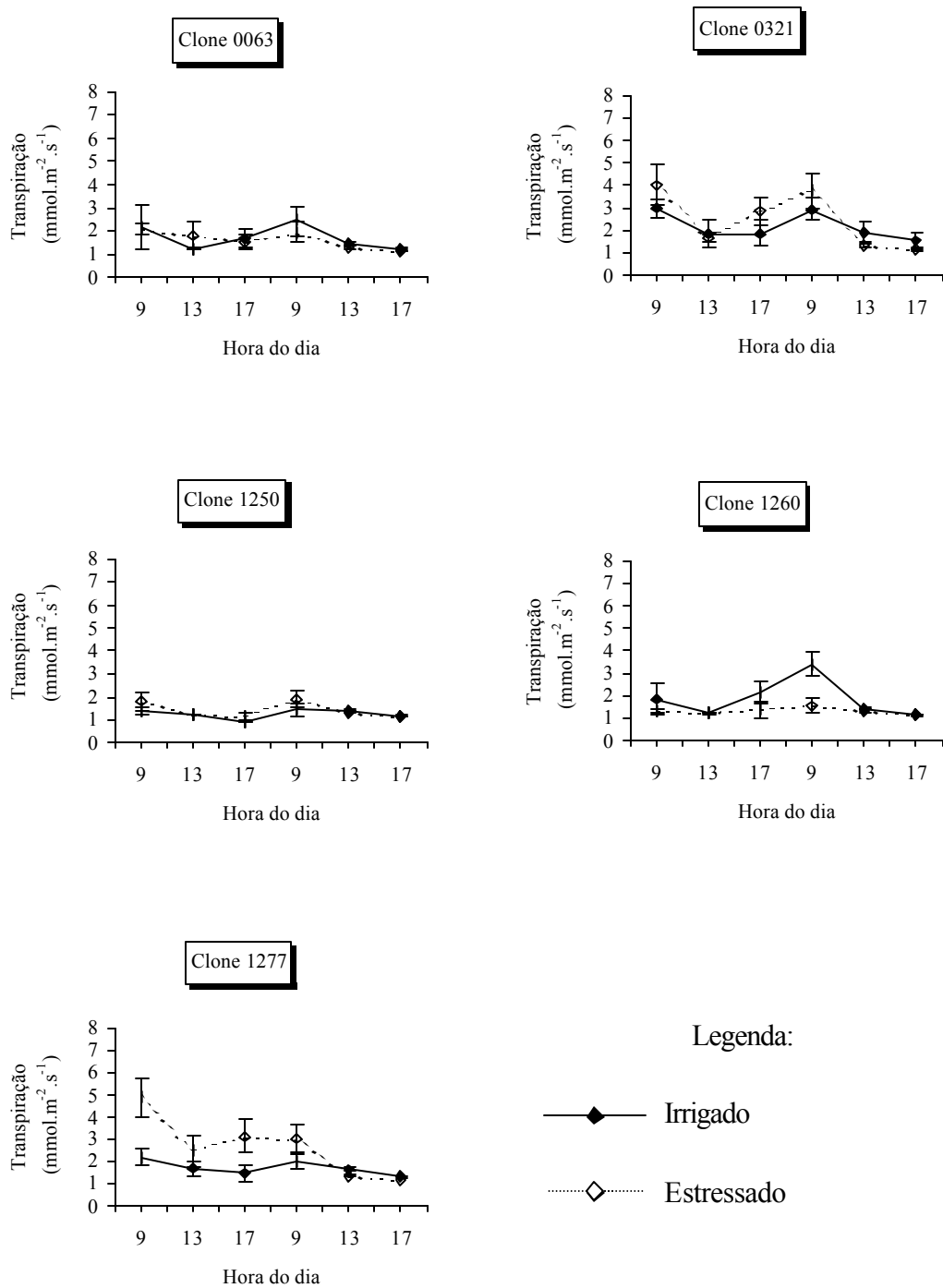


Figura 12 – Transpiração foliar de plantas de cinco clones de eucalipto, crescendo em tubetes sob diferentes regimes hídricos – quinto ciclo de seca (as barras referem-se ao erro padrão da média de três plantas).

desses dois clones, durante os vários ciclos de seca, em especial no primeiro ciclo, reduzindo a sua superfície transpiracional e, conseqüentemente, mantendo maior disponibilidade de água no substrato durante o ciclo. Algumas espécies de eucalipto podem reduzir sua superfície transpiracional através da abscisão foliar, de modo a reduzir a perda excessiva de água pelas plantas (POOK, 1985).

3.2.3. Temperatura foliar

A temperatura foliar média aumentou nas plantas do tratamento estressado, embora esse aumento não tenha sido significativo (Quadro 2). A menor condutância estomática, causada pelo fechamento dos estômatos nas plantas estressadas, no último dia de cada ciclo de seca, reduziu a transpiração foliar, reduzindo a dissipação de calor das folhas das plantas (TAIZ e ZEIGER, 1991; KRAMER e BOYER, 1995). Essa ligeira redução da taxa transpiratória favoreceu o aumento da temperatura foliar nas plantas do tratamento estressado. As menores diferenças de temperatura foliar entre os tratamentos de irrigação foram observadas nos clones 0321 e 1277, provavelmente, em razão da elevada taxa transpiratória apresentada pelas plantas desses dois clones, no tratamento Estressado.

Quadro 2 – Temperatura de folhas (°C) de plantas de cinco clones de eucalipto, crescendo em tubetes sob diferentes regimes hídricos - média de cinco ciclos de seca (I – Irrigado, ES – Estressado).

Hora	Clones									
	0063		0321		1250		1260		1277	
	I	ES	I	ES	I	ES	I	ES	I	ES
9:00	25,8	26,2	25,6	25,8	26,1	26,2	26,0	26,5	25,7	25,6
13:00	32,2	32,6	32,1	32,1	32,3	32,8	32,4	33,0	31,9	32,4
17:00	30,1	30,5	29,9	30,3	30,4	30,4	29,9	30,3	29,9	30,1

3.2.4. Potencial hídrico foliar

As plantas submetidas ao déficit hídrico apresentaram abaixamento do potencial hídrico foliar ao final dos ciclos de seca, variando de -0,8 MPa para o clone 1250 a -1,98 MPa para o clone 1277, nas plantas do tratamento Estressado, enquanto nas plantas do tratamento Irrigado o potencial hídrico foliar variou de -0,25 a -0,35 MPa (Figura 13). Resultado semelhante foi observado por REIS et al. (1988b), em que mudas de *E. grandis* e *E. camaldulensis*, em tubetes, apresentaram potencial hídrico foliar próximo de -2,0 MPa, após o surgimento de sintomas drásticos de murcha foliar. Segundo KOZLOWSKI e PALLARDY (1996), plantas sob déficit hídrico quase sempre apresentam células não completamente túrgidas e potencial hídrico substancialmente menor que zero. Os primeiros efeitos visíveis do déficit hídrico são a paralisação do crescimento, fechamento dos estômatos e murchamento das folhas e tecidos jovens. Ao final de cada ciclo, o abaixamento do potencial hídrico foi acompanhado por esses efeitos, indicando que o nível de estresse utilizado foi adequado para avaliação desses clones.

Os resultados demonstraram que o clone 1277 foi o mais afetado pelo déficit hídrico, ao final de cada ciclo, e o clone 1250 foi o que melhor tolerou a deficiência hídrica. Essa diferença no uso de água entre esses dois clones ocorreu em razão das diferenças na transpiração entre os mesmos. O clone 1250 mostrou-se mais conservativo, mantendo seus estômatos parcialmente fechados o dia todo desde o início de cada ciclo de seca, exibindo menor consumo de água (Figuras 8 a 12). Além da redução na taxa de perda de água, a eficiência no controle osmótico pode ser a causa de uma menor redução do potencial hídrico foliar desse clone. Dessa forma, os clones podem ter eficiência diferenciada quanto ao controle osmótico. Segundo LARCHER (1995), não há processo vital que não seja afetado pelo declínio no potencial hídrico. A deficiência hídrica leva ao decréscimo no volume celular, aumento na concentração do conteúdo celular e progressiva desidratação do protoplasma.

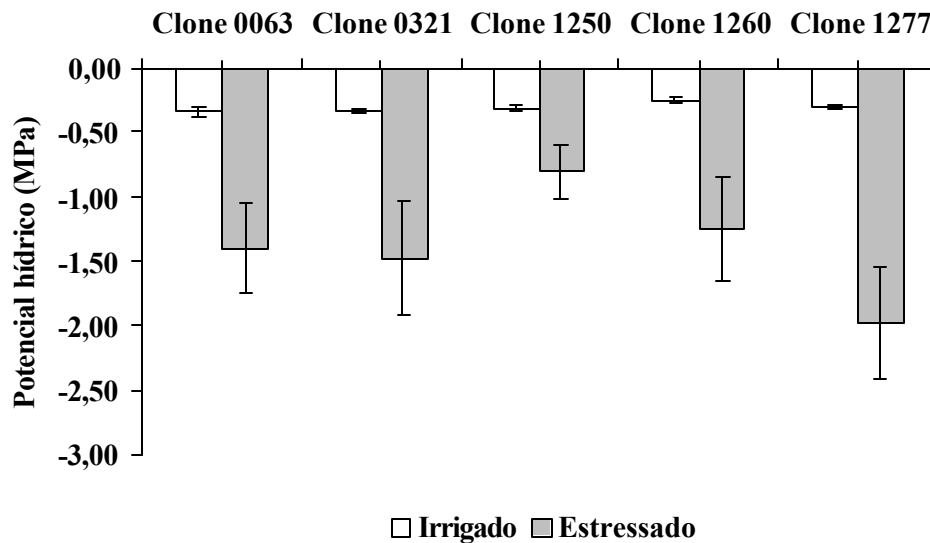


Figura 13 – Potencial hídrico foliar de plantas de cinco clones de eucalipto, crescendo em tubetes sob diferentes regimes hídricos - média dos cinco ciclos de seca (as barras referem-se ao erro padrão da média de cinco plantas).

3.3. Fotossíntese

As plantas do tratamento Estressado apresentaram, ao final dos cinco ciclos de seca, uma taxa de fotossíntese líquida maior que as plantas do tratamento Irrigado, exceto para o clone 1250 (Figura 14). Essas avaliações foram realizadas três dias após o último ciclo de seca, com as plantas plenamente irrigadas. Este resultado mostra não ter havido efeito detrimental do déficit hídrico sobre o aparelho fotossintético das folhas em que foram feitas as medições, e que o tempo entre o fim do déficit hídrico e a medição da fotossíntese (três dias) foi suficiente para que as plantas recuperassem a capacidade fotossintética. Segundo KOZLOWSKI e PALLARDY (1996), os efeitos prejudiciais do déficit hídrico podem durar vários dias, dependendo da severidade e duração do estresse hídrico, sendo que a capacidade das plantas estressadas recuperarem a sua capacidade fotossintética pode estar, portanto, associada à resistência ao déficit hídrico.

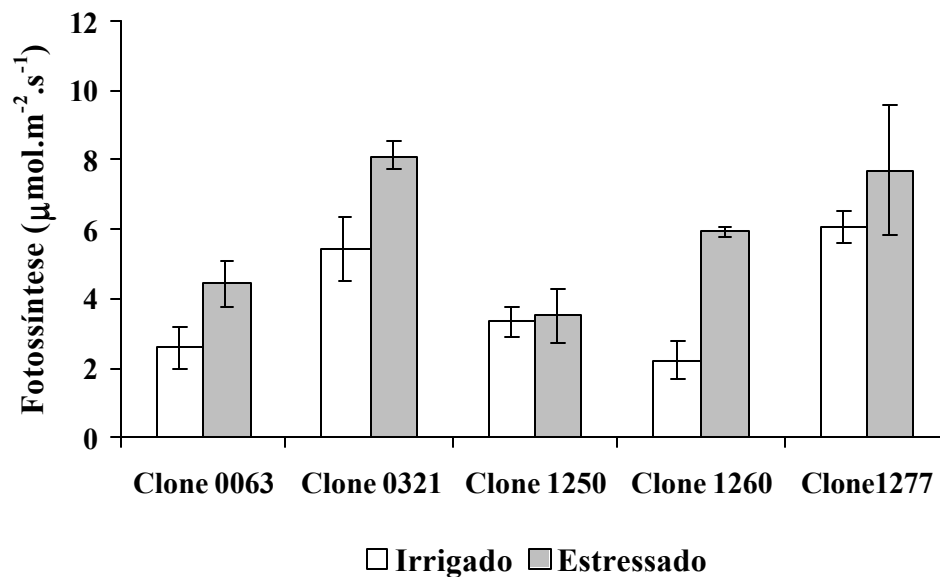


Figura 14 – Fotossíntese líquida de plantas de cinco clones de eucalipto, crescendo em tubetes sob diferentes regimes hídricos, ao final dos cinco ciclos de seca (as barras referem-se ao erro padrão da média de três plantas).

Durante o período de déficit hídrico, a fotossíntese é inibida em razão do fechamento dos estômatos ou pela interferência no processo fotossintético (KAISER, 1987; REID et al. 1991, KOZLOWSKI e PALLARDY, 1996). STONEMAN et al. (1994) submeteram mudas de *E. marginata* a ciclos sucessivos de seca e avaliaram a fotossíntese durante e após o déficit hídrico. As plantas apresentaram, durante o déficit hídrico, redução drástica na taxa fotossintética, recuperando os valores de fotossíntese dois dias após a reirrigação.

Ao final dos cinco ciclos de seca, as plantas do tratamento Estressado apresentaram área foliar menor do que as do tratamento Irrigado, em razão da abscisão foliar provocada pelo déficit hídrico. Dessa forma, as plantas anteriormente sob déficit hídrico aumentaram a taxa fotossintética líquida por unidade de área foliar para a retomada do crescimento. Também é possível ter havido nas plantas do tratamento Irrigado inibição da fotossíntese em razão do acúmulo de fotoassimilados.

Observaram-se, nas plantas do tratamento Irrigado, sintomas de deficiência nutricional, principalmente nitrogênio e potássio, dois nutrientes

importantes na fotossíntese. Esses sintomas não foram observados com a mesma intensidade nas plantas do tratamento Estressado. Dessa forma, acredita-se ter havido, em razão do déficit hídrico, maior ciclagem interna de alguns nutrientes, das folhas senescentes (fonte) para as folhas em crescimento ativo (dreno). Por outro lado, a irrigação frequente nas plantas do tratamento Irrigado pode ter promovido a lixiviação de nutrientes nos tubetes. Estes fatos podem, também, explicar a maior taxa de fotossíntese líquida apresentada nas plantas do tratamento Estressado. Os clones 0321 e 1277 apresentaram elevada abscisão foliar, tendo apresentado, também, os maiores valores de fotossíntese líquida.

A menor diferença na taxa de fotossíntese líquida entre os tratamentos Irrigado e Estressado foi observada para o clone 1250, com valores de 3,34 e 3,50 $\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$, respectivamente. Este foi, também, o clone menos afetado pelo déficit hídrico, inclusive apresentando menor taxa de abscisão foliar. Estes resultados indicam que o déficit hídrico favoreceu, de alguma maneira, o aumento na taxa fotossintética líquida após a reirrigação dos clones mais sensíveis ao estresse.

3.4. Crescimento

3.4.1. Caracterização inicial das plantas

A caracterização inicial do crescimento das plantas foi realizada antes da aplicação dos tratamentos de irrigação nos cinco clones de eucalipto, aos quatro meses após o início de produção das mudas (Quadro 3). O clone 1260 apresentou os maiores valores em todas as características de crescimento avaliadas, à exceção da matéria seca de raízes e do número de folhas, sendo que, em relação à matéria seca total, foi seguido pelos clones 1277, 0063, 0321 e 1250, respectivamente. Para área foliar, o clone 1260 também apresentou os maiores valores, seguido pelo clone 0063. Os demais clones (0321, 1250 e 1277) apresentaram área foliar similar antes da aplicação dos tratamentos de irrigação.

Quadro 3 – Matéria seca de raízes, haste e ramos, folhas e total, área foliar, número médio de folhas, altura e diâmetro de plantas de cinco clones de eucalipto, antes da aplicação dos tratamentos de irrigação em tubetes.

Clone	Matéria seca (g)				Área foliar (cm ²)	Número de folhas	Altura (cm)	Diâmetro (mm)
	Raiz	Haste e ramos	Folha	Total				
0063	1,12	1,09	1,65	3,85	156	8,7	39,2	3,1
0321	0,98	1,05	1,63	3,65	126	7,6	35,9	3,3
1250	0,78	0,86	1,39	3,03	126	8,3	38,2	3,0
1260	1,04	1,40	2,15	4,59	171	8,5	45,6	4,0
1277	1,26	1,13	1,86	4,25	125	8,1	35,9	3,6

3.4.2. Matéria Seca

A produção de matéria seca foi reduzida nas plantas do tratamento Estressado em comparação às do tratamento Irrigado, durante os vários ciclos de seca (Figura 15). O clone 1277 foi o mais afetado, apresentando redução na produção de matéria seca total de 30,4% em relação ao tratamento Irrigado. Essa redução ocorreu, principalmente, em razão da perda de folhas pelas plantas desse clone. A redução na matéria seca de raízes se deu, provavelmente, em razão da perda de folhas, provocando um desequilíbrio entre a parte aérea e o sistema radicular. Os clones 0063, 0321, 1260 e 1250 apresentaram redução de sua matéria seca total de 4,9, 6,9, 9,6 e 12,0%, respectivamente. A deficiência hídrica promoveu a desaceleração no crescimento, refletindo negativamente na produção total de matéria seca. A redução na biomassa das plantas pode ocorrer em razão da redução na expansão foliar (OSÓRIO et al., 1998) ou pela abscisão das folhas.

De maneira geral, o componente da planta mais afetado pelo déficit hídrico foi a folha, com a maior redução observada para o clone 1277, com 36,2% em relação ao tratamento Irrigado e, a menor redução foi observada no clone 1250 (12,4%).

Devido ao tamanho limitado do tubete, o déficit hídrico praticamente não exerceu efeito sobre a biomassa de raízes. Entretanto, o déficit hídrico diminuiu a produção de raízes, para o clone 1277, possivelmente em razão de ter havido

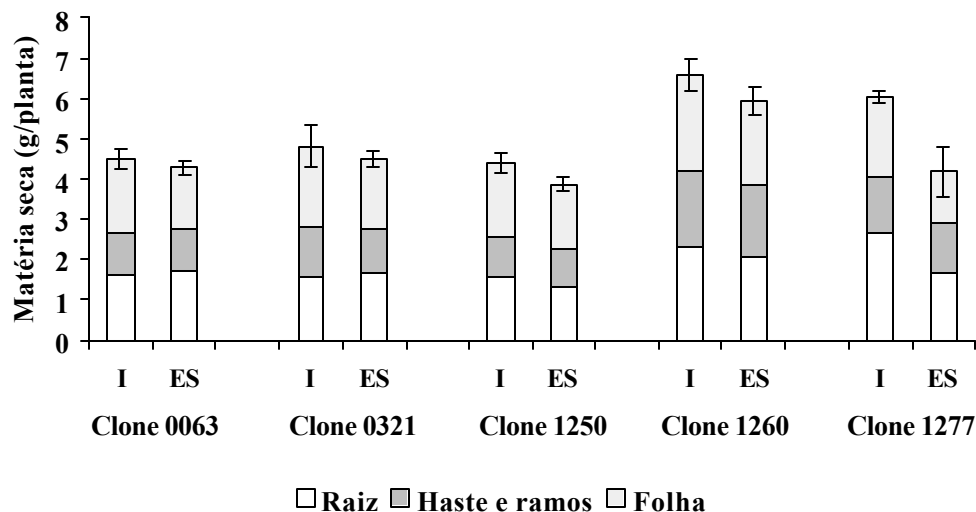


Figura 15 – Matéria seca de raízes, haste e ramos e folhas de plantas de cinco clones de eucalipto, crescendo em tubetes sob diferentes regimes hídricos, I - Irrigado, ES – Estressado (as barras referem-se ao erro padrão da média da matéria seca total de quatro plantas).

morte de raízes finas provocada pela drástica redução na quantidade de folhas nas plantas sob deficiência hídrica. Estudos em recipientes de maior volume possibilitarão melhor avaliação das alterações no sistema radicular, especialmente no que se refere ao seu crescimento em profundidade.

O déficit hídrico não reduziu a matéria seca de haste e ramos, possivelmente em razão de o experimento ter sido conduzido com mudas de cerca de quatro meses e em recipiente de tamanho reduzido, o que impõe severas restrições ao seu crescimento. Dessa forma, é possível que os efeitos do estresse no crescimento sejam mais intimamente observados em folhas, através da avaliação da expansão ou abscisão foliar.

3.4.3. Área Foliar

O déficit hídrico reduziu a área foliar das plantas de todos os clones, exceto a do 1250 (Figura 16). Para esse clone, não houve diferença entre os tratamentos de irrigação, mantendo-se inalterada sua área foliar ao longo da

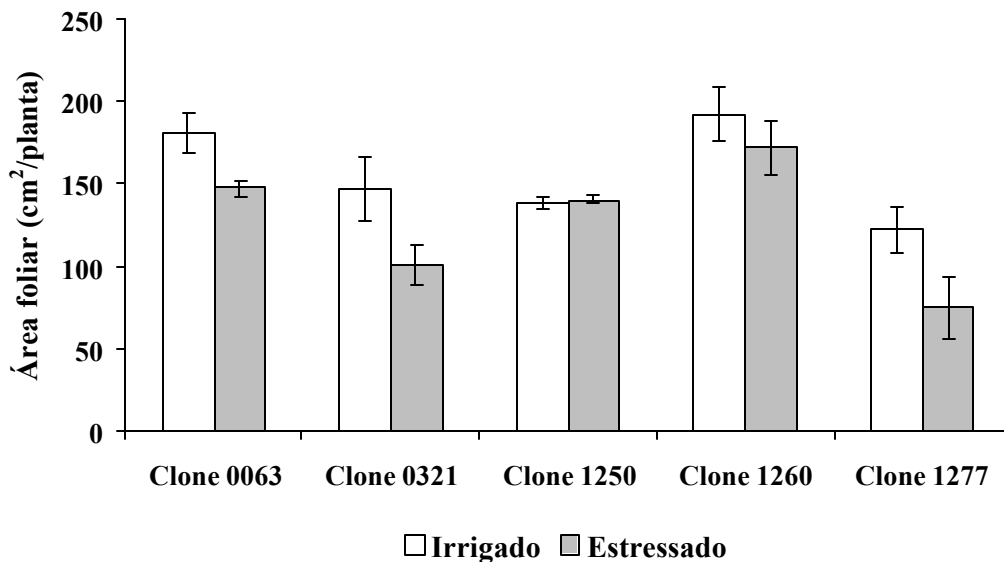


Figura 16 – Área foliar de plantas de cinco clones de eucalipto, crescendo em tubetes sob diferentes regimes hídricos (as barras referem-se ao erro padrão da média de quatro plantas).

seqüência dos ciclos de seca. A redução menos drástica do potencial hídrico foliar nas plantas desse clone (Figura 13) não foi suficiente para promover a abscisão foliar. Quando se compararam os dois tratamentos de irrigação, os clones 0321 e 1277 mostraram-se os mais sensíveis ao déficit hídrico, apresentando redução na área foliar das plantas do tratamento Estressado de 31,5 e 39,2%, respectivamente, em comparação às plantas do tratamento Irrigado, enquanto os clones 1260 e 0063 apresentaram as menores reduções (10,6 e 18,8%, respectivamente). Diversos trabalhos têm sido realizados submetendo as plantas a déficit hídrico, sob diferentes condições experimentais, em mudas de várias espécies do gênero *Eucalyptus*, tendo sido observado, também, reduções na área foliar (FAÇANHA, 1983; STONEMAN et al., 1994; OSORIO et al. 1998; LIMA, 1996; LI et al., 2000).

A menor área foliar apresentada pelas plantas do tratamento Estressado dos clones 0063, 0321 e 1277 (Figura 16) se deu, principalmente, em razão da abscisão foliar, uma vez que essas plantas apresentaram área foliar menor que a do início do experimento (Quadro 3). Neste caso, a abscisão foliar pode ter sido uma estratégia das plantas para evitar a perda excessiva de água, podendo ser

considerada, para algumas espécies do gênero *Eucalyptus*, como característica de resistência à seca (POOK, 1985). Para o clone 1260, não foi observada abscisão foliar, ou seja, a redução na área foliar se deu pela paralisação da expansão foliar nas plantas do tratamento Estressado.

3.4.4. Número de Folhas

O déficit hídrico reduziu o número de folhas nas plantas do tratamento Estressado ao final dos ciclos de seca para os clones 1250, 1260, 0063, 1277 e 0321, que apresentaram redução de 4,9, 22,6, 30,2, 30,5 e 31,8%, respectivamente, em comparação às plantas do tratamento Irrigado (Figura 17). O clone 1250 apresentou menor redução em número de folhas conforme observado quando da análise da área foliar (Figura 16). Para todos os clones, no tratamento Irrigado, as plantas, ao final do experimento (Figura 17), aumentaram o número de folhas em relação ao início da aplicação dos tratamentos (Quadro 3), indicando ter havido contínuo crescimento durante o período de experimentação. O clone que apresentou o maior aumento no número de folhas nas plantas do tratamento Irrigado em relação ao início da experimentação foi o 1260 (33,6%) e o menor foi o 1277, em que o número de folhas manteve-se aproximadamente constante. As plantas do tratamento Estressado apresentaram redução no número de folhas após vários ciclos de seca, para os clones 0063 (10,7%), 0321 (15,8%) e 1277 (32,2%), enquanto os clones 1260 e 1250 aumentaram em 3,4 e 15,0%, respectivamente. Com base nos resultados relativos a produção de matéria seca, área foliar e número de folhas, verifica-se que o clone 1277 foi mais sensível ao déficit hídrico no tubete.

3.4.5. Expansão foliar

O déficit hídrico reduziu a expansão foliar para todos os clones, ao final dos cinco ciclos de seca, exceto para o clone 1250 (Quadro 4), à semelhança do

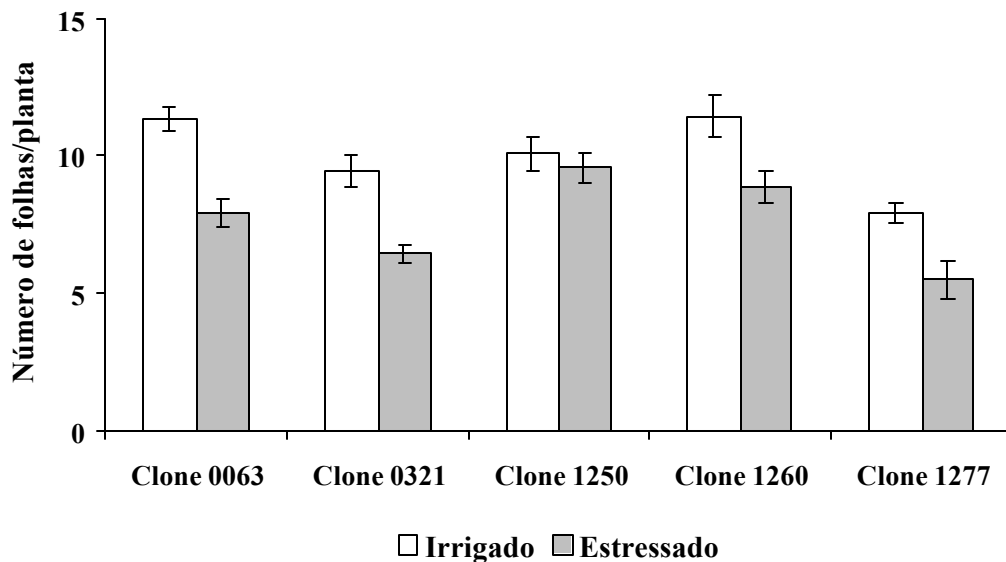


Figura 17 – Número de folhas de plantas de cinco clones de eucalipto, crescendo em tubetes sob diferentes regimes hídricos (as barras referem-se ao erro padrão da média de quatro plantas).

Quadro 4 – Expansão foliar (cm^2/cm^2) de plantas de cinco clones de eucalipto, crescendo em tubetes sob diferentes regimes hídricos.

Clone	Níveis de Irrigação	
	Irigado	Estressado
0063	8,8	3,3
0321	9,5	8,8
1250	3,0	3,0
1260	9,6	1,5
1277	6,8	3,8

que foi observado para área foliar e número de folhas por planta. O clone mais afetado pelo déficit hídrico foi o 1260, tendo sido observada menor expansão foliar no tratamento estressado. As plantas desse clone no tratamento Irrigado apresentaram a maior expansão foliar quando comparado aos demais clones, o que resultou em maior diferença entre os tratamentos de irrigação desse clone, seguido pelo 0063.

Embora os clones 0321 e 1277 tenham sido os mais afetados pelo déficit hídrico, verificado pelas perdas em área foliar e número de folhas, estes não foram os clones que apresentaram a menor expansão foliar. Uma explicação para este fato foi que, pela perda de folhas nos primeiros ciclos de seca a que as

plantas foram submetidas, os primórdios foliares marcados para a avaliação da expansão foliar mantiveram-se túrgidos, favorecendo o seu crescimento. A maior fotossíntese líquida apresentada pelas plantas desses dois clones no tratamento Estressado (Figura 14) sugere que as folhas remanescentes estariam crescendo numa taxa elevada. Dessa forma, este crescimento estaria sendo refletido na expansão foliar dessas plantas.

A expansão foliar do clone 1250 praticamente não foi afetada pelo déficit hídrico, indicando mais uma vez que este clone desenvolveu algum mecanismo que evitou, de alguma maneira, os efeitos deletérios do déficit hídrico nas plantas em tubetes. Dentre outros, este mecanismo pode ter envolvido um melhor ajustamento osmótico da planta. OSÓRIO et al. (1998) atribuiu ao ajustamento osmótico as diferenças encontradas na expansão foliar em mudas de clones de *E. globulus* submetidas à deficiência hídrica.

3.4.6. Crescimento em altura e diâmetro

O crescimento em altura e diâmetro das mudas não foram afetados pelo déficit hídrico (Figuras 18 e 19). Este resultado se deu em razão do experimento ter sido conduzido em recipiente de tamanho muito reduzido, o que restringe severamente o crescimento das plantas (ISMAIL et al., 1994). Resultado semelhante foi observado por REIS et al. (1989), em que os autores não encontraram diferenças no crescimento em altura e diâmetro em mudas de três espécies de eucalipto, crescidas em recipientes com restrição do sistema radicular (60 e 500 ml) e submetidas a déficit hídrico. Entretanto, os autores justificaram o fato em razão dos ciclos de seca não serem suficientemente longos para promover substancial redução no turgor, com conseqüente redução do crescimento das plantas.

A avaliação da altura e do diâmetro não se mostrou, portanto, eficiente na identificação dos efeitos do déficit hídrico nas plantas. REIS et al. (1988b), aplicando déficit hídrico em mudas de *E. grandis* e *E. camaldulensis*, em tubetes,

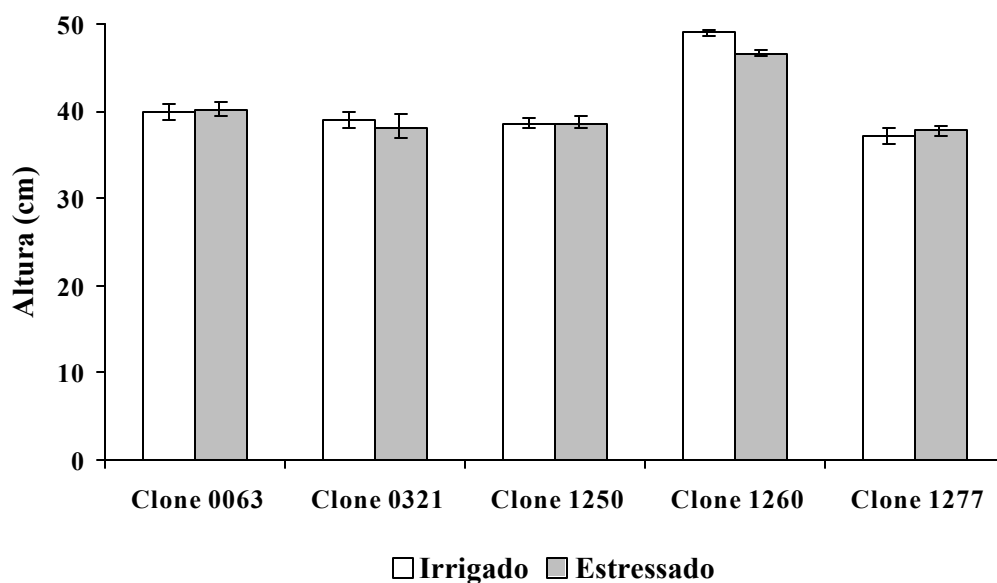


Figura 18 – Altura das plantas de cinco clones de eucalipto, crescendo em tubetes sob diferentes regimes hídricos (as barras referem-se ao erro padrão da média de quatro plantas).

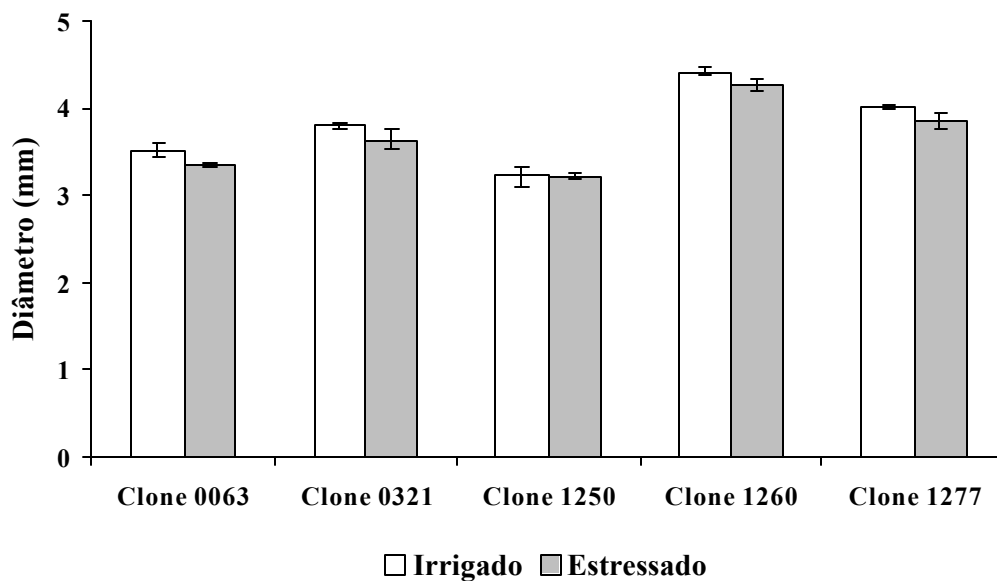


Figura 19 – Diâmetro das plantas de cinco clones de eucalipto, crescendo em tubetes sob diferentes regimes hídricos (as barras referem-se ao erro padrão da média de quatro plantas).

observaram efeitos no crescimento em altura e diâmetro das mudas. Entretanto, o período de experimentação foi bem maior (10 meses), além dos autores terem iniciado os tratamentos com as mudas mais jovens do que as do presente experimento.

3.5. Capacidade de retomada de crescimento das plantas após serem submetidas a diferentes regimes hídricos

3.5.1. Caracterização inicial das plantas

O Quadro 5 resume as características de crescimento avaliadas após a aplicação dos tratamentos Irrigado e Estressado em tubetes e antes do transplântio para os tubos de PVC visando avaliar a capacidade de retomada de crescimento das plantas. Os dados referem-se à avaliação feita ao final da aplicação dos tratamentos de irrigação em tubetes, discutidos anteriormente.

Quadro 5 – Matéria seca de raízes, haste e ramos, folhas e total, área foliar, número médio de folhas, e altura e diâmetro de plantas de cinco clones de eucalipto, antes do transplântio para tubos de PVC e após serem submetidas a diferentes regimes hídricos em tubetes.

Clone	Níveis de irrigação	Matéria seca (g)				Área foliar (cm ²)	Número de folhas	Altura (cm)	Diâmetro (mm)
		Raiz	Haste e ramos	Folha	Total				
0063	Irrigado	1,63	1,01	1,85	4,48	181	11,3	40,0	3,5
	Estressado	1,70	1,07	1,49	4,26	147	7,9	40,2	3,3
0321	Irrigado	1,54	1,25	2,02	4,81	146	9,4	39,0	3,8
	Estressado	1,68	1,07	1,74	4,49	100	6,4	38,2	3,6
1250	Irrigado	1,57	0,99	1,83	4,39	138	10,1	38,6	3,2
	Estressado	1,35	0,91	1,60	3,86	140	9,6	38,7	3,2
1260	Irrigado	2,32	1,85	2,39	6,56	192	11,4	48,9	4,4
	Estressado	2,07	1,80	2,07	5,93	172	8,8	46,6	4,3
1277	Irrigado	2,63	1,43	1,98	6,04	122	7,9	37,2	4,0
	Estressado	1,66	1,28	1,27	4,20	74	5,5	37,8	3,9

3.5.2. Matéria seca

As plantas que foram submetidas ao déficit hídrico em tubetes e mantidas plenamente irrigadas depois de transplantadas para tubos de PVC de 15 cm de diâmetro e 100 cm de altura apresentaram produção de matéria seca total menor que as provenientes do tratamento Irrigado, exceto para o clone 1250 (Figura 20), aos 45 dias após o transplantio. O clone 1250 foi pouco afetado pelo déficit hídrico em tubete, ou seja, sua área foliar na época do transplantio era similar nos dois tratamentos de irrigação (Figura 16). O clone que apresentou a menor diferença entre os tratamentos de irrigação em tubetes, aos 45 dias após o transplantio, foi o 1277 (11,6%). As plantas do tratamento Estressado dos clones 1260, 0063 e 0321, produziram, respectivamente 23,1, 23,4 e 24,9% menos matéria seca, quando comparadas às suas plantas provenientes do tratamento Irrigado. Essa diferença foi maior do que a observada ao final dos ciclos de seca em tubetes (Figura 15), exceto para o clone 1277, que, ao final dos ciclos de seca, apresentou no tratamento Estressado redução de 30,4% na produção de matéria seca, comparada ao tratamento Irrigado. Este resultado sugere que este clone possui acentuada capacidade de recuperação após déficit hídrico. REIS et al. (1991) não encontraram diferenças na capacidade de retomada de crescimento em mudas de *E. grandis* e *E. camaldulensis*, submetidas a deficiência hídrica em tubetes, e transplantadas para recipientes de maior volume.

Aos 80 dias após o transplantio das mudas para os tubos de PVC, a produção de matéria seca do clone 1250 não diferiu entre os tratamentos de irrigação e os clones 0321 e 1277 mostraram capacidade de recuperação da produção de matéria seca total nas plantas que sofreram déficit hídrico. A capacidade de recuperação das plantas do clone 1277 pode estar associada à retomada do crescimento do seu sistema radicular, uma vez que apresentou a maior relação raiz/parte aérea aos 80 dias após o transplantio em tubos de PVC (Quadro 6). Essa característica do clone 1277 pode ser uma estratégia eficiente para a absorção de água e nutrientes, facilitando a retomada de crescimento após ser submetido ao déficit hídrico. AWE et al. (1976) sugeriram que a capacidade

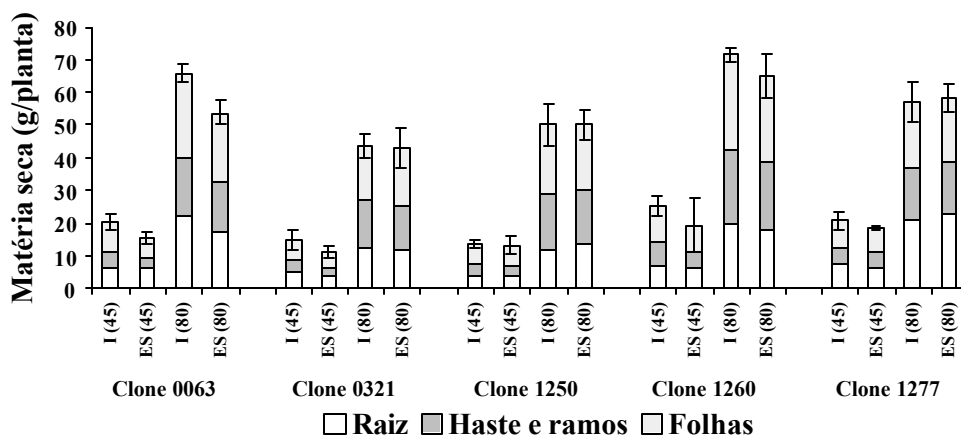


Figura 20 – Matéria seca de raízes, haste e ramos e folhas de plantas de cinco clones de eucalipto, aos 45 e 80 dias após transplântio para tubos de PVC, após serem submetidas a diferentes regimes hídricos em tubetes, I – Irrigado, ES – Estressado (as barras referem-se ao erro padrão da média da matéria seca total de quatro plantas).

Quadro 6 – Relação raiz/parte aérea de plantas de cinco clones de eucalipto, aos 45 e 80 dias após transplântio para tubos de PVC, após serem submetidas a diferentes regimes hídricos em tubetes (I – Irrigado, ES – Estressado).

Clone	Níveis de Irrigação			
	I (45)	ES (45)	I (80)	ES (80)
0063	0,44	0,60	0,50	0,47
0321	0,46	0,43	0,41	0,37
1250	0,42	0,37	0,30	0,36
1260	0,40	0,46	0,38	0,39
1277	0,56	0,55	0,56	0,64

que o *E. camaldulensis* possui de se desenvolver em solos secos está relacionada ao rápido desenvolvimento do seu sistema radicular em profundidade. O clone 1277, é um híbrido de *E. camaldulensis*, podendo ter herdado a característica de desenvolver mais agressivamente o seu sistema radicular. Os clones 0063 e 1260, aos 80 dias após o transplântio, apresentaram menor produção de matéria seca nas plantas do tratamento Estressado, com redução de 18,4 e 9,4%, respectivamente, em relação às do tratamento Irrigado.

REIS et al. (1991) não encontraram diferenças na produção de matéria seca total de mudas de *E. grandis* e *E. camaldulensis*, após déficit hídrico em

tubetes, aos 60 dias após transplântio em recipientes maiores. Segundo os autores, o estresse provocado pelo tamanho reduzido do recipiente e o tempo de estocagem das mudas foi maior que o estresse provocado pela falta d'água.

É importante considerar que quaisquer diferenças entre plantas foram devidas aos tratamentos de irrigação pelos quais as mudas foram submetidas em tubetes, antes do transplântio para tubos de PVC, uma vez que, durante o período de retomada de crescimento nestes tubos, as plantas foram mantidas plenamente irrigadas.

3.5.3. Área foliar

Os resultados observados para área foliar, no período de recuperação das mudas, foi semelhante aos apresentados pela produção de matéria seca (Figura 21). OSÓRIO et al. (1998) atribuíram a redução na produção de matéria seca total à redução em área foliar, provocada pelo déficit hídrico, em mudas de clones de *E. globulus*. Dessa forma, a redução na área foliar explica a menor produção de matéria seca. Aos 45 dias após o transplântio, o clone 1250 apresentou apenas 3,3% menos área foliar nas plantas provenientes do tratamento Estressado em tubetes, em comparação àquelas provenientes do tratamento Irrigado. Para os clones 1277, 0321, 1260 e 0063, essa diferença foi de 7,6, 12,7, 26,9 e 27,0%, respectivamente. A reduzida diferença apresentada pelo clone 1250 foi também observada ao final dos ciclos de déficit hídrico antes do transplântio para os tubos de PVC (Figura 16). Em contrapartida, os clones 1277 e 0321, que apresentaram, dentre os clones estudados, as maiores reduções na área foliar ao final dos ciclos de seca em tubetes, no tratamento Estressado, comparado ao tratamento Irrigado (39,2 e 31,5%, respectivamente), demonstraram capacidade de recuperação do crescimento, reduzindo a diferença entre os tratamentos de irrigação, já aos 45 dias após o transplântio.

Aos 80 dias após o transplântio, a diferença entre as áreas foliares das plantas provenientes dos dois tratamentos de irrigação em tubetes foi reduzida

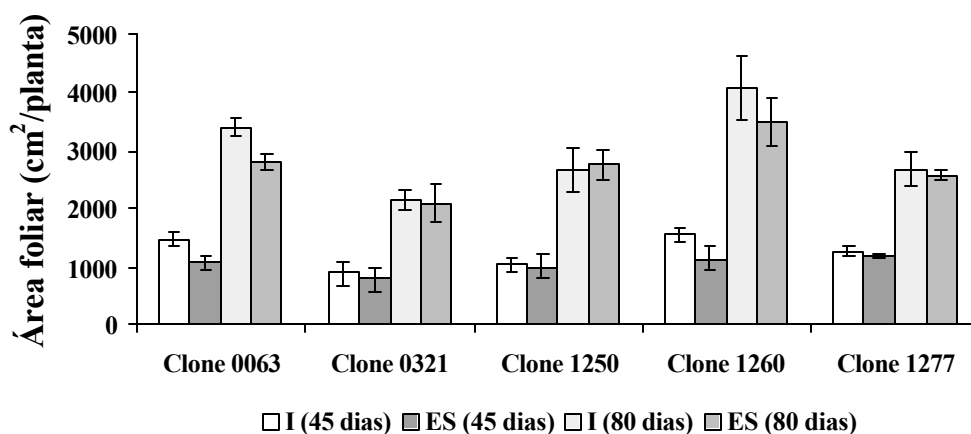


Figura 21 – Área foliar de plantas de cinco clones de eucalipto, aos 45 e 80 dias após transplântio para tubos de PVC, após serem submetidas a diferentes regimes hídricos em tubetes, I – Irrigado, ES – Estressado (as barras referem-se ao erro padrão da média de quatro plantas).

para todos os clones. Os clones 0321, 1250 e 1277, nesta ocasião, apresentaram, praticamente, a mesma área foliar nos tratamentos de irrigação. Os clones 1260 e 0063 apresentaram aumento de 14,6 e 17,5%, respectivamente, no tratamento Irrigado em relação ao Estressado. Estes resultados indicam que os clones 0321 e 1277, principalmente, possuem alta capacidade de recuperação, já que, quando do transplântio, possuíam a maior diferença na área foliar entre os tratamentos de irrigação (Quadro 5). Segundo OSÓRIO et al. (1998), as diferenças na capacidade de recuperação da área foliar entre genótipos, após déficit hídrico, podem estar associadas às diferenças no ajustamento osmótico.

3.5.4. Crescimento em altura e diâmetro

Aos 45 dias após o transplântio das mudas para os tubos de PVC, as plantas provenientes do tratamento Estressado tenderam a apresentar altura total e diâmetro do coleto menores, quando comparadas àquelas provenientes do

tratamento Irrigado (Figuras 22 e 23), embora não tenha sido observada diferença no crescimento ao final dos ciclos de seca em tubetes (Quadro 5). As menores diferenças entre os tratamentos de irrigação foram observadas para os clones 1250 e 1277. Aos 80 dias após o transplântio, o comportamento apresentado pela altura foi semelhante ao apresentado aos 45 dias, embora a diferença entre os tratamentos de irrigação tenha reduzido. A altura, quando se consideram mudas jovens, pode não indicar de forma eficiente a capacidade de recuperação, uma vez que as plantas podem não estar crescendo em altura, mas, por outro lado, podem estar crescendo em área foliar e matéria seca, através da emissão de ramos. Observa-se que as diferenças entre clones, observadas para a área foliar e matéria seca, foram mais evidentes que a apresentada para a altura.

O crescimento em diâmetro teve o mesmo comportamento observado para a altura, tanto aos 45 quanto aos 80 dias após o transplântio, à exceção do clone 1250, aos 80 dias após o transplântio, cujas plantas provenientes do tratamento Estressado tiveram diâmetro do coleto superior àquelas provenientes do tratamento Irrigado (Figura 23).

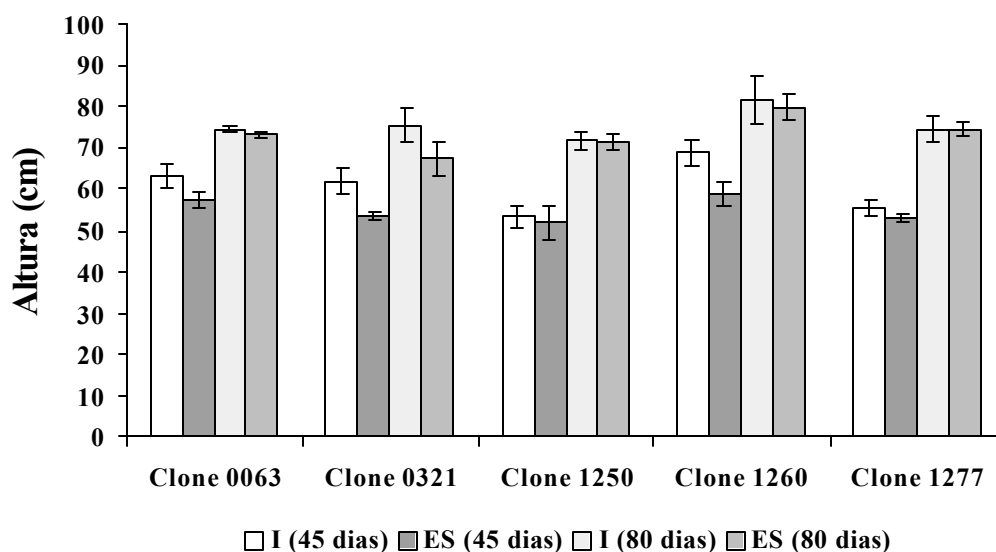


Figura 22 – Altura de plantas de cinco clones de eucalipto, aos 45 e 80 dias após transplântio para tubos de PVC, após serem submetidas a diferentes regimes hídricos em tubetes, I – Irrigado, ES – Estressado (as barras referem-se ao erro padrão da média de oito plantas).

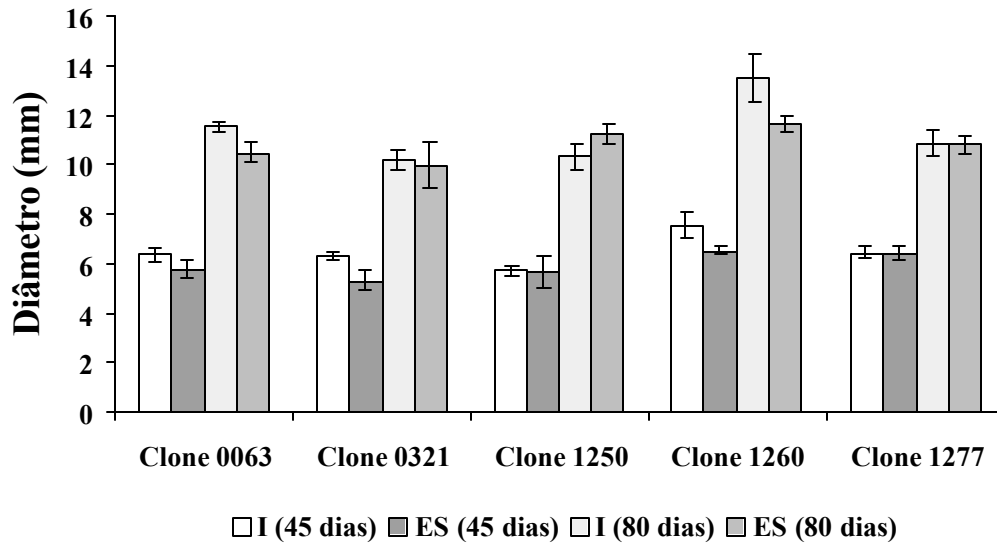


Figura 23 – Diâmetro de plantas de cinco clones de eucalipto, aos 45 e 80 dias após transplântio para tubos de PVC, após serem submetidas a diferentes regimes hídricos, I – Irrigado, ES – Estressado (as barras referem-se ao erro padrão da média de oito plantas).

4. RESUMO E CONCLUSÕES

O presente estudo foi desenvolvido com o objetivo de identificar características fisiológicas e ou morfológicas de clones de eucalipto, crescendo em tubetes plásticos, de modo a subsidiar a seleção precoce para plantio em ambientes com diferentes disponibilidades de água no solo.

Foram utilizadas mudas de cinco clones de eucalipto, escolhidos com base nas suas respostas em plantios comerciais da COPENER FLORESTAL Ltda., estabelecidos em locais com diferentes níveis de precipitação pluviométrica. O experimento foi constituído de dez tratamentos, sendo dois níveis de irrigação (Irigado e Estressado) e cinco clones, em esquema fatorial (2x5), estabelecido em um Delineamento Inteiramente Casualizado, com quatro repetições e 24 plantas por unidade experimental. Foram avaliadas as seguintes características fisiológicas: condutância estomática, transpiração foliar, temperatura foliar, potencial hídrico foliar e fotossíntese líquida. Avaliaram-se, também, as seguintes características de crescimento: diâmetro da estaca e altura total da planta, número e tamanho de folhas, área foliar, expansão foliar e matéria seca de folhas, haste e ramos e raízes. Após cinco ciclos sucessivos de seca em tubetes, duas plantas por repetição de cada tratamento foram transplantadas em tubos de PVC de 15 x 100 cm e mantidas plenamente irrigadas, com o objetivo de avaliar a capacidade de retomada de crescimento. Foram feitas duas

avaliações, aos 45 e 80 dias após o transplante, quando foram avaliados o diâmetro da base da muda, altura total, área foliar e matéria seca de folhas, haste e ramos e raízes.

Os principais resultados e conclusões do presente trabalho foram:

- Os clones não apresentaram diferenças em condutância estomática e transpiração entre os tratamentos de irrigação, exceto ao final de cada ciclo de seca, quando as plantas do tratamento Estressado fecharam parcialmente seus estômatos. Os clones 0321 e 1277 apresentaram, de modo geral, maior condutância estomática e transpiração, principalmente nos dois últimos ciclos de seca, ao passo que o clone 1250 apresentou os menores valores, indicando menor consumo de água.

- O potencial hídrico foliar nas plantas dos cinco clones, foi reduzido com o déficit hídrico, sendo que os clones 0321 e 1277 apresentaram potencial hídrico foliar mais negativo, em razão de sua maior taxa transpiratória. O clone 1250 foi o que apresentou os valores mais elevados de potencial hídrico foliar.

- A taxa fotossintética líquida foi maior nas plantas que sofreram déficit hídrico em tubetes, principalmente para os clones 0321 e 1277 que apresentaram maior abscisão foliar durante os ciclos de seca. A abscisão foliar pode ter favorecido a taxa fotossintética líquida nas folhas remanescentes.

- A produção de matéria seca foi afetada negativamente pelo déficit hídrico, principalmente para o clone 1277. De maneira geral, o componente da planta mais afetado pelo déficit hídrico foi a folha, com a menor redução observada no clone 1250. A redução na produção de matéria seca parece estar relacionada ao abaixamento do potencial hídrico foliar, que promoveu a abscisão das folhas.

- Os clones 0321 e 1277 apresentaram as maiores reduções em área foliar e número de folhas, indicando maior sensibilidade ao déficit hídrico. Resultado oposto apresentou o clone 1250, uma vez que a sua área foliar e número de folhas não foram afetados pelo déficit hídrico. Isto se deu em razão deste clone ter apresentado a menor taxa transpiratória, apresentando, portanto, menor consumo de água por unidade de área foliar.

- O clone 1277 mostrou capacidade de retomada de crescimento, observada através das avaliações feitas aos 45 e 80 dias após o transplântio para tubos de PVC. A capacidade de recuperação das plantas desse clone pode estar ligada à retomada do crescimento do seu sistema radicular, uma vez que este clone apresentou os maiores valores da relação raiz/parte aérea aos 80 dias após o transplântio.

- A avaliação da altura e diâmetro não se mostrou eficiente na identificação dos efeitos do déficit hídrico nas plantas.

- A avaliação do potencial hídrico foliar se mostrou eficiente para a avaliação dos efeitos do déficit hídrico, podendo ser associado ao crescimento das plantas.

CAPÍTULO 2

CRESCIMENTO, FOTOSSÍNTESE E RELAÇÕES HÍDRICAS EM MUDAS DE CINCO CLONES DE EUCALIPTO, EM CONDIÇÕES SIMULADAS DE CAMPO, SOB TRÊS REGIMES DE IRRIGAÇÃO

1. INTRODUÇÃO

O uso de material genético de eucalipto capaz de se estabelecer e desenvolver em condições de deficiência hídrica no solo pode ser de relevância para o êxito de um povoamento florestal. A identificação desses genótipos para implantação em condições ambientais adversas, especialmente em relação à deficiência de água no solo, é um desafio para muitas empresas florestais, uma vez que tem sido observado que a elevada resistência à seca em plantas de eucalipto está, quase sempre, associada à reduzida taxa de crescimento (TUOMELA, 1997).

As plantas podem desenvolver mecanismos de adaptação à seca quando sob deficiência hídrica, que pode incluir adaptações morfológicas e ou fisiológicas (LARCHER, 1995). A identificação desses mecanismos pode explicar as causas da resistência à seca de clones de eucalipto e servir como base para programas de melhoramento florestal. Entretanto, sob condições de campo,

torna-se difícil o controle das condições ambientais, uma vez que vários fatores atuam sobre a planta ao mesmo tempo. Dessa forma, estudos em condições controladas simulando campo têm sido amplamente realizados (FAÇANHA, 1983; LIMA, 1996; TUOMELA, 1997; OSÓRIO et al., 1998). Nesses estudos simulando campo, o uso de recipientes que apresentam mínima limitação ao crescimento do sistema radicular é difícil, mas de fundamental importância, uma vez que o sistema radicular pode ser melhor estudado, visto que, em muitas situações, pode estar associado à sobrevivência das plantas em condições de baixa disponibilidade hídrica.

Visando verificar os efeitos do déficit hídrico em plantas de diferentes clones de eucalipto em condições simuladas de campo, o presente estudo foi conduzido em recipientes com volume de solo suficiente para limitar minimamente o crescimento radicular das plantas, sob três regimes de irrigação. Dessa forma, o objetivo do presente estudo é identificar características fisiológicas e ou morfológicas de clones de eucalipto, em condições iniciais de desenvolvimento no campo, de modo a subsidiar a seleção precoce de genótipos para plantios em ambientes com diferenças na disponibilidade de água no solo.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Material experimental e delineamento estatístico

Foram utilizadas mudas de cinco clones de eucalipto produzidas pela COPENER FLORESTAL Ltda., localizada no norte do Estado da Bahia. As mudas foram produzidas em tubetes plásticos de aproximadamente 60 ml pelo método de estaquia. A escolha dos clones foi baseada nas suas respostas em plantios comerciais na empresa, estabelecidos em locais com diferentes níveis de precipitação pluviométrica (Quadro 1). O substrato utilizado na produção das mudas foi constituído de vermiculita e composto orgânico à base de casca de coco, na proporção volumétrica de 1:1. A adubação mineral foi feita com base na recomendação proposta pela empresa.

O experimento foi conduzido em casa de vegetação no Viveiro de Pesquisas Florestais do Departamento de Engenharia Florestal da Universidade Federal de Viçosa, localizado no Município de Viçosa, Minas Gerais.

Aos cinco meses após o início da produção das mudas, estas passaram por uma seleção para que se obtivessem mudas o mais uniforme possível. As mudas selecionadas foram transplantadas para tubos de PVC de 15 cm de diâmetro e 50 cm de altura, com capacidade de $8,83 \text{ dm}^3$, contendo material de

Quadro 1 – Clones selecionados para a realização do experimento em tubos de PVC e suas características de origem.

Clone	Espécie	Procedência dos Parentais	Origem	Precipitação ¹ (mm/ano)
0063	<i>E. grandis</i>	Mtao Forest	Coff's Harbour	1200
	x	x	x	
0321	<i>E. urophylla</i>	Rio Claro	Timor	1200
	<i>E. grandis</i>	Mtao Forest	Coff's Harbour	
1250	X	x	x	900
	<i>E. urophylla</i>	Rio Cla ro	Timor	
1260	<i>E. grandis</i>	Mtao Forest	Coff's Harbour	900
	X	x	x	
1277	<i>E. urophylla</i>	Rio Claro	Timor	700
	<i>E. camaldulensis</i>	Petford	Petford	
	x			
	<i>E. spp</i>			

¹ Refere-se à precipitação média nas áreas onde foi estabelecido com sucesso o plantio comercial com plantas do referido clone na Copener Florestal Ltda, localizada no norte do Estado da Bahia.

solo extraído às camadas de, aproximadamente, 30 a 100 cm de um Latossolo vermelho-amarelo, na região de Viçosa, MG, No interior dos tubos, foram inseridas, verticalmente, duas mangueiras de 2 cm de diâmetro nas laterais dos tubos, perfuradas a cada 5 cm em toda a sua extensão, de forma a permitir uma irrigação mais uniforme ao longo do solo no tubo. A acidez foi corrigida usando-se uma mistura de CaCO₃ e MgCO₃, na relação 4:1 em moles, na dose de 2 t/ha. A adubação foi feita de modo a fornecer, por dm³ de solo, 400 mg de fósforo e 100 mg de potássio, aplicados na forma de superfosfato simples e cloreto de potássio, respectivamente. Na ocasião do transplante e a cada 30 dias, foram feitas adubações de cobertura de modo a fornecer 20 mg de nitrogênio, 2 mg de zinco, 0,406 mg de boro e 0,65 mg de cobre por dm³ de solo, aplicados na forma de nitrato de amônio, sulfato de zinco, ácido bórico e sulfato de cobre, respectivamente. As mudas cresceram nos vasos por um período de aproximadamente três meses, quando, então, foram iniciados os tratamentos de irrigação diferenciados nos tubos de PVC. Durante o período de crescimento, as

mudas foram mantidas irrigadas diariamente, de modo a manter o solo próximo à capacidade de campo.

O experimento foi constituído de 15 tratamentos, sendo três níveis de irrigação (Irigado, Estresse Moderado e Estresse Severo) e cinco clones, em esquema fatorial (3 x 5), estabelecidos em Delineamento Inteiramente Casualizado, com quatro repetições e uma planta por U.E.

No tratamento Irrigado (I), as plantas dos diferentes clones foram mantidas irrigadas de modo a manter, aproximadamente, $-0,01$ MPa de potencial hídrico do solo, mediante aplicação de, no mínimo, duas irrigações diárias. Nos tratamentos em que as mudas foram submetidas aos tratamentos de estresse Moderado (M) e estresse Severo (S), a irrigação foi suspensa até que o solo atingisse o potencial hídrico de $-0,5$ MPa e de $-1,5$ MPa, respectivamente, quando foi interrompido o ciclo de seca. O controle do potencial hídrico no solo foi feito por meio de sensores de umidade do solo da CAMPBELL SCIENTIFIC, modelo 257L, colocados no centro do vaso, à profundidade de 20 cm, aproximadamente. A calibração dos sensores foi feita contra o método gravimétrico, a partir da curva de retenção de água do solo (Figura 1).

O experimento foi conduzido no período de 08 de abril a 13 de maio de 2000, até que se completassem quatro ciclos sucessivos de seca. Entre cada ciclo de seca, as plantas tiveram um período de recuperação de quatro a cinco dias, em que estas foram mantidas plenamente irrigadas.

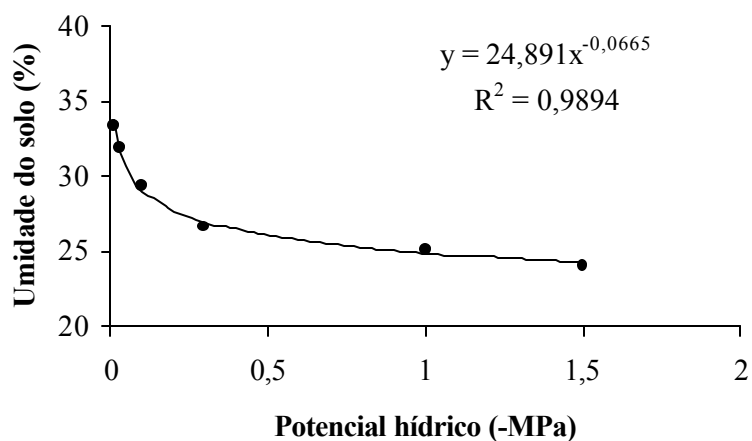


Figura 1 – Curva de retenção de umidade do solo.

2.2. Descrição das características avaliadas

2.2.1. Características fisiológicas

Durante todos os dias de cada ciclo de seca, foram medidas na superfície abaxial de folhas totalmente expandidas da parte mediana da copa de três plantas, a temperatura foliar, a condutância estomática e a transpiração foliar, com o porômetro de difusão de estado estacionário, modelo LI-1600 da LI-COR, às 9:00, 13:00 e 17:00h. No último dia de cada ciclo de seca, o potencial hídrico foliar foi determinado por meio de uma bomba de pressão (SHOLANDER et al., 1965), às 5:00, 9:00, 13:00 e 17:00 h, em folhas totalmente expandidas.

Após o último ciclo de seca, foi feita a determinação da fotossíntese líquida a $800 \mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ de intensidade de radiação fotossinteticamente ativa com um analisador de gases a infravermelho portátil, modelo LI-6400 da LI-COR, entre 9:00 h e 10:30 h, para verificar o efeito dos tratamentos sobre a capacidade de recuperação da taxa fotossintética da planta. A escolha desse horário deveu-se ao fato de que as plantas apresentam maior eficiência na fixação de carbono, acentuando as respostas das mesmas aos tratamentos. Para essa medição, foram utilizadas três repetições de cada tratamento, avaliando-se sempre folhas totalmente expandidas localizadas na parte mediana da copa da muda.

2.2.2. Características de crescimento

Antes e após a aplicação dos tratamentos de suspensão da irrigação das mudas nos tubos de PVC, todas as plantas tiveram avaliados o diâmetro a nível do coleto, a altura total e o número de folhas, com o intuito de verificar o efeito do déficit hídrico sobre o crescimento das plantas. Três plantas de cada clone foram utilizadas para avaliação da área foliar inicial e da biomassa seca de folhas, da haste e ramos e das raízes. A área foliar foi medida através do medidor de área

foliar portátil, modelo LI-3000A, da LI-COR. A biomassa foi determinada após secagem do material vegetal, em estufa a 75 °C, até peso constante. Ao final do experimento, todas as plantas foram medidas conforme descrito anteriormente.

A expansão foliar foi avaliada em todas as plantas do experimento, que tiveram um par de primórdios foliares marcados e, posteriormente, medidos o comprimento e a largura foliar a cada 5 a 7 dias. A partir dessas medições, foi estimada a área foliar pela equação: $\hat{y} = 0,5214 + 0,6549 * C * L$, onde C = comprimento e L = largura (REIS et al., 1988a). A expansão foliar foi determinada por divisão das médias das áreas foliares obtidas em cada medição pela área foliar média obtida na primeira medição.

Os resultados das características avaliadas foram analisados estatisticamente por meio de estatística descritiva, análise de variância e teste Tukey a 5% de probabilidade.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Extensão dos ciclos de seca

O tempo de duração dos ciclos de seca aumentou, à medida em que avançaram os ciclos seqüenciais de deficiência hídrica correspondentes aos estresses Moderado e Severo (Quadro 2). A condição climática pode ter sido a principal causa do aumento da duração dos últimos ciclos de seca, uma vez que a temperatura média dentro da casa de vegetação diminuiu, do primeiro para o quarto ciclo de seca, em razão da entrada da estação fria. Com isso, a perda de água pela evapotranspiração pode ter sido mais lenta nos últimos ciclos de seca. Outra possível explicação seria a adaptação dos clones ao déficit hídrico, por meio de uma menor abertura estomática, fazendo com que a perda de vapor d'água através dos estômatos se tornasse mais lenta, principalmente nas plantas do tratamento Severo. Foi nesse tratamento que o tempo de duração aumentou de forma mais acentuada à medida em que se avançaram os ciclos de seca, comparado às plantas do tratamento Moderado. A menor área foliar das plantas do tratamento Severo também favoreceu para que a depleção de água do solo fosse mais lenta, em razão da redução da superfície transpiracional da planta.

Quadro 2 – Duração média (dias) de cada ciclo de seca, para os cinco clones de eucalipto, crescendo em tubos de PVC sob diferentes regimes hídricos (M – Moderado, S – Severo).

Ciclo de seca	Clone									
	0063		0321		1250		1260		1277	
	M	S	M	S	M	S	M	S	M	S
Primeiro	3,0	4,0	3,0	4,0	3,0	4,0	3,0	4,0	3,0	4,0
Segundo	3,0	5,0	3,0	5,0	3,0	5,0	3,0	5,0	3,0	5,0
Terceiro	3,3	6,3	3,6	6,0	3,3	7,0	3,3	6,6	3,3	6,3
Quarto	3,3	7,6	3,0	5,6	3,0	8,0	3,0	7,3	3,0	7,3
Média	3,1	5,7	3,1	5,1	3,0	6,0	3,0	5,7	3,0	5,6

3.2. Relações hídricas

3.2.1. Condutância estomática

As plantas do tratamento Irrigado apresentaram, de modo geral, maior condutância estomática em relação às plantas dos tratamentos Moderado e Severo, para todos os clones (Figuras 2 a 5). Às 9:00 h e às 13:00 h, as plantas apresentaram os estômatos abertos, ocorrendo fechamento parcial às 17:00 h. Comportamento semelhante foi observado para eucalipto por alguns autores (REIS e REIS, 1991; GOMES, 1994), em condições controladas e no campo.

O clone 0321 manteve seus estômatos mais abertos em relação aos demais, nos três níveis de irrigação, sugerindo maior consumo de água pelas plantas desse clone. Resultado similar foi observado no experimento em tubetes (Capítulo 1). No primeiro ciclo de seca, o clone 1250 também apresentou abertura estomática elevada, semelhante ao 0321, nos tratamentos Irrigado e Severo, porém, a partir do segundo ciclo de seca, a abertura estomática desse clone manteve-se intermediária, comparada aos demais. O clone 1260 manteve seus estômatos mais fechados, em todos os tratamentos, a partir do segundo ciclo de seca, corroborando os resultados obtidos no experimento realizado em tubetes (Capítulo 1).

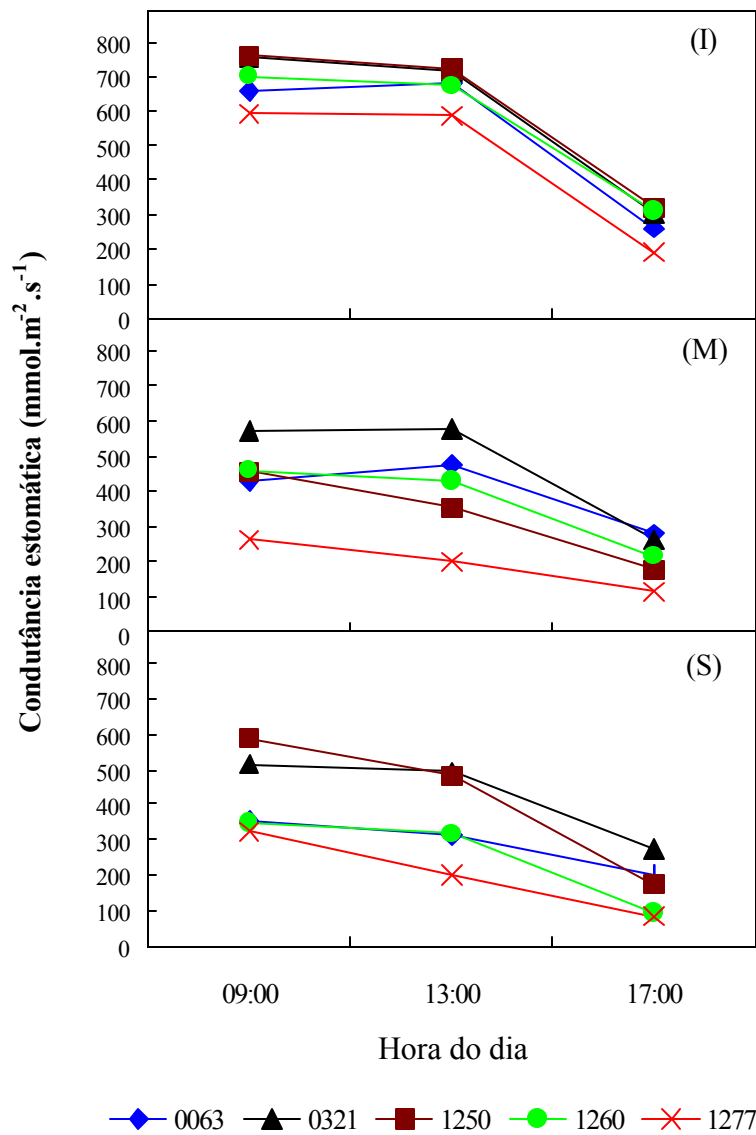


Figura 2 – Condutância estomática de plantas de cinco clones de eucalipto, crescendo em tubos de PVC sob diferentes regimes hídricos – média das avaliações realizadas no primeiro ciclo de seca (I - Irrigado, M - estresse Moderado, S - estresse Severo).

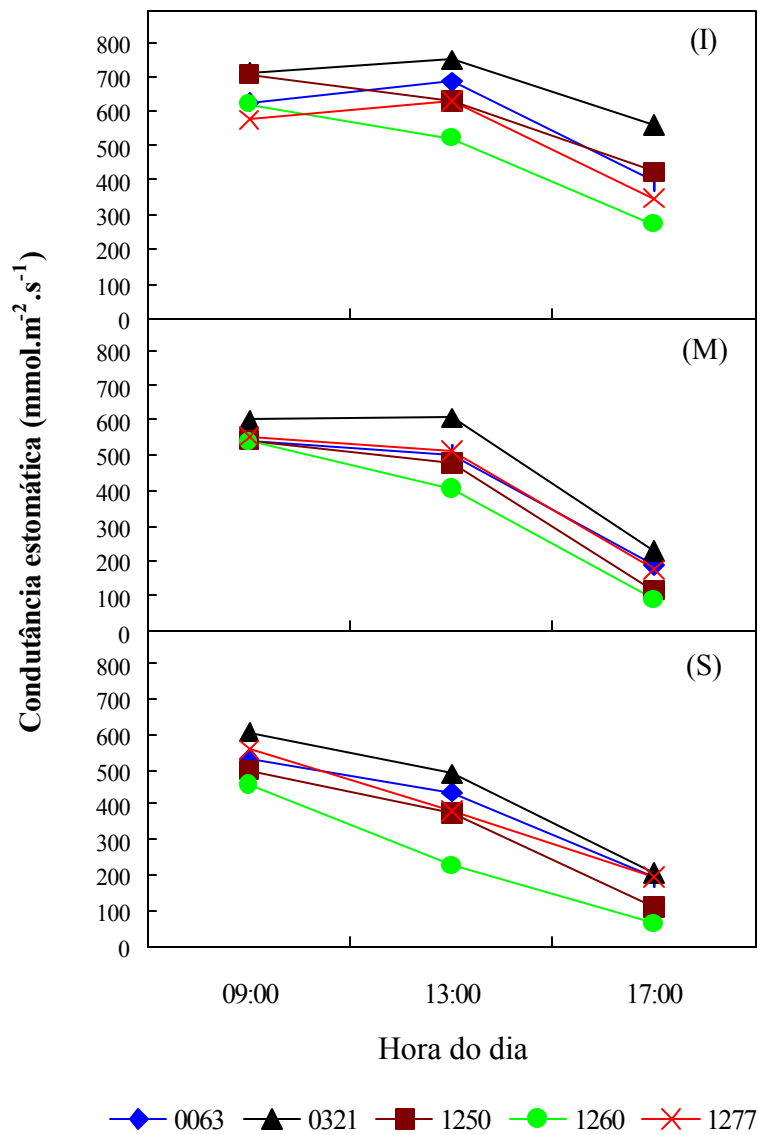


Figura 3 – Condutância estomática de plantas de cinco clones de eucalipto, crescendo em tubos de PVC sob diferentes regimes hídricos – média das avaliações realizadas no segundo ciclo de seca (I - Irrigado, M - estresse Moderado, S - estresse Severo).

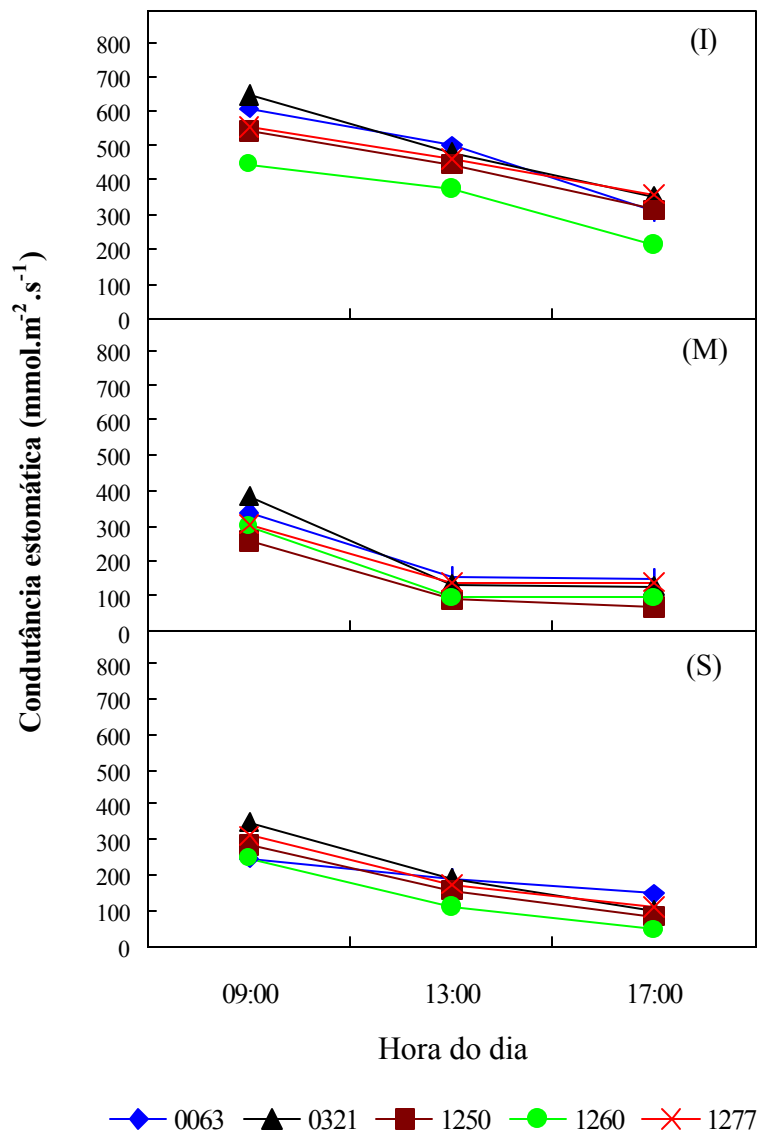


Figura 4 – Condutância estomática de plantas de cinco clones de eucalipto, crescendo em tubos de PVC sob diferentes regimes hídricos – média das avaliações realizadas no terceiro ciclo de seca (I - Irrigado, M - estresse Moderado, S - estresse Severo).

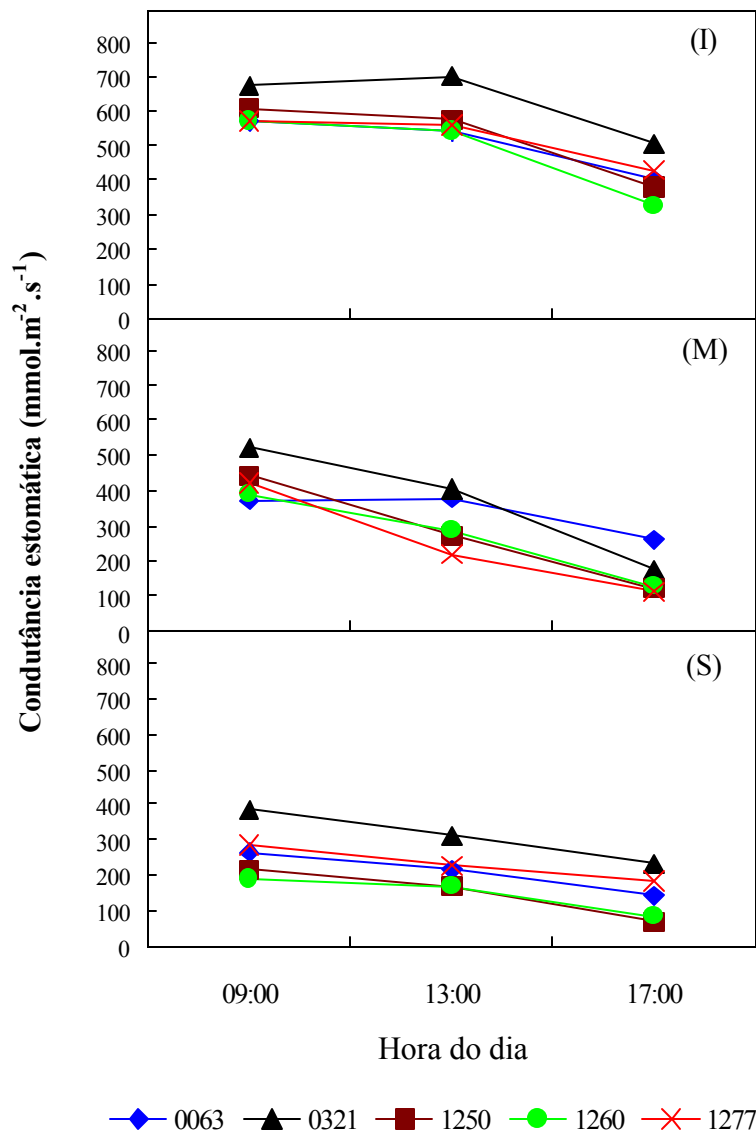


Figura 5 – Condutância estomática de plantas de cinco clones de eucalipto, crescendo em tubos de PVC sob diferentes regimes hídricos – média das avaliações realizadas no quarto ciclo de seca (I - Irrigado, M - estresse Moderado, S - estresse Severo).

No primeiro ciclo de seca, as plantas do clone 1277 apresentaram menor condutância estomática, tendo sido o que mais perdeu área foliar ao final do primeiro ciclo de seca em decorrência do déficit hídrico nos tratamentos Moderado e Severo. Este clone possuía, no início do experimento, área foliar maior que a dos demais, o que pode ter sido a causa de queda mais abrupta no teor de água no solo. A partir do segundo ciclo de seca, a sua condutância estomática manteve-se intermediária, comparada à dos demais, em razão das plantas desse clone terem reduzido a área foliar sob déficit hídrico, reduzindo a superfície transpiracional. Estes resultados coincidem com os observados no experimento realizado em tubetes (Capítulo 1). Segundo NAUTIYAL et al. (1994), o fechamento estomático e adaptações morfológicas, como a presença de folhas pendentes que diminuem a incidência dos raios solares, podem diminuir a perda de água, tornando-se importantes características de adaptação à deficiência hídrica. O clone 1277 é um híbrido de *E. camaldulensis*, possuindo folhas pendentes. Este foi um dos clones que mantiveram os estômatos mais fechados, principalmente nas plantas dos tratamentos de déficit hídrico no primeiro ciclo. Essas características podem contribuir para que esse clone venha a apresentar um bom desenvolvimento em condições de campo sob acentuada deficiência hídrica.

3.2.2. Transpiração foliar

A transpiração foliar apresentou comportamento similar ao da condutância estomática, para todos os clones e tratamentos, em todos os ciclos de seca (Figuras 6 a 9). A transpiração às 13:00 h foi maior que a apresentada às 9:00 h, embora não tenha havido maior abertura estomática naquele horário. Este comportamento ocorreu em razão da maior demanda evaporativa às 13:00 h ser muito elevada, acentuando o diferencial entre a temperatura da folha e do ar. Mesmo tendo havido o fechamento estomático parcial às 13:00 h (Figuras 2 a 5), foi registrada uma transpiração foliar elevada, em razão, possivelmente, de um aumento da transpiração cuticular. No final da tarde (17:00 h), houve redução na

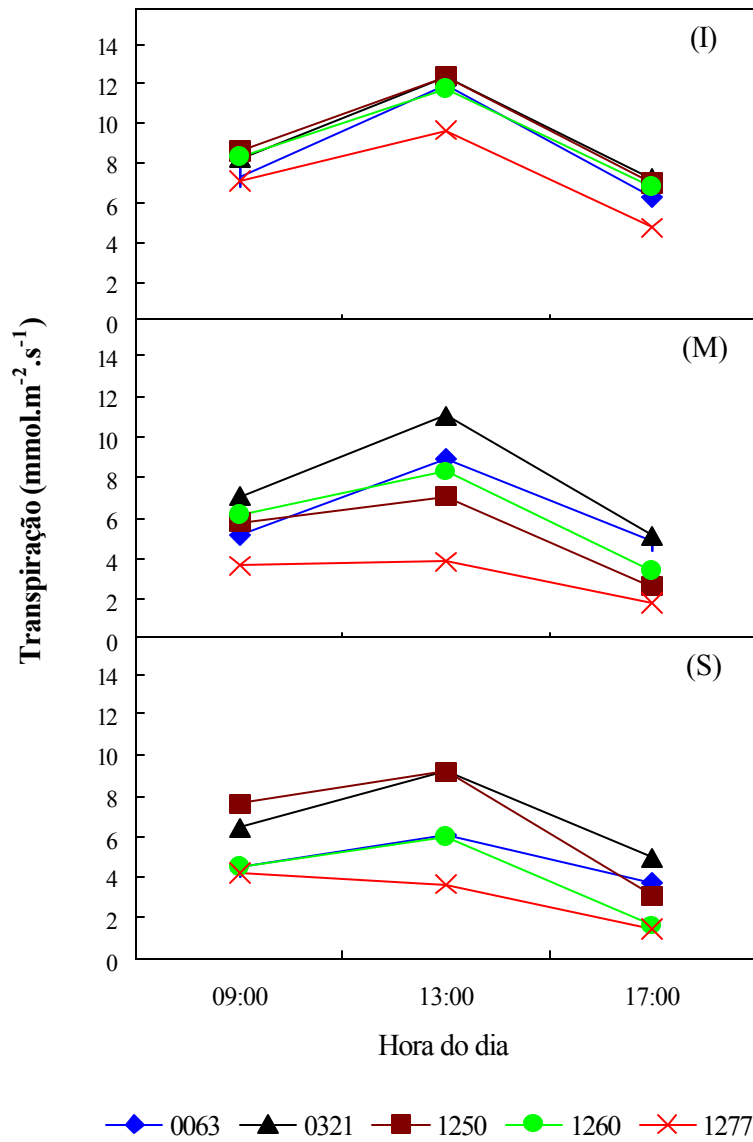


Figura 6 – Transpiração foliar de plantas de cinco clones de eucalipto, crescendo em tubos de PVC sob diferentes regimes hídricos – média das avaliações realizadas no primeiro ciclo de seca (I - Irrigado, M - estresse Moderado, S - estresse Severo).

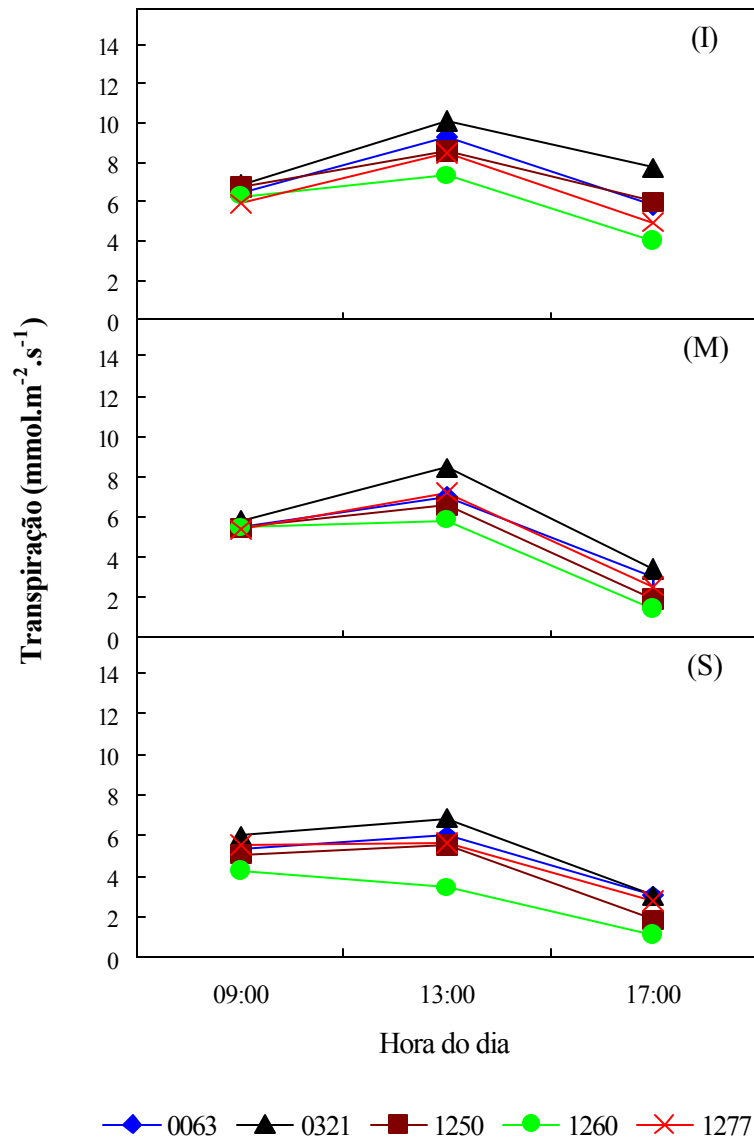


Figura 7 – Transpiração foliar de plantas de cinco clones de eucalipto, crescendo em tubos de PVC sob diferentes regimes hídricos – média das avaliações realizadas no segundo ciclo de seca (I - Irrigado, M - estresse Moderado, S - estresse Severo).

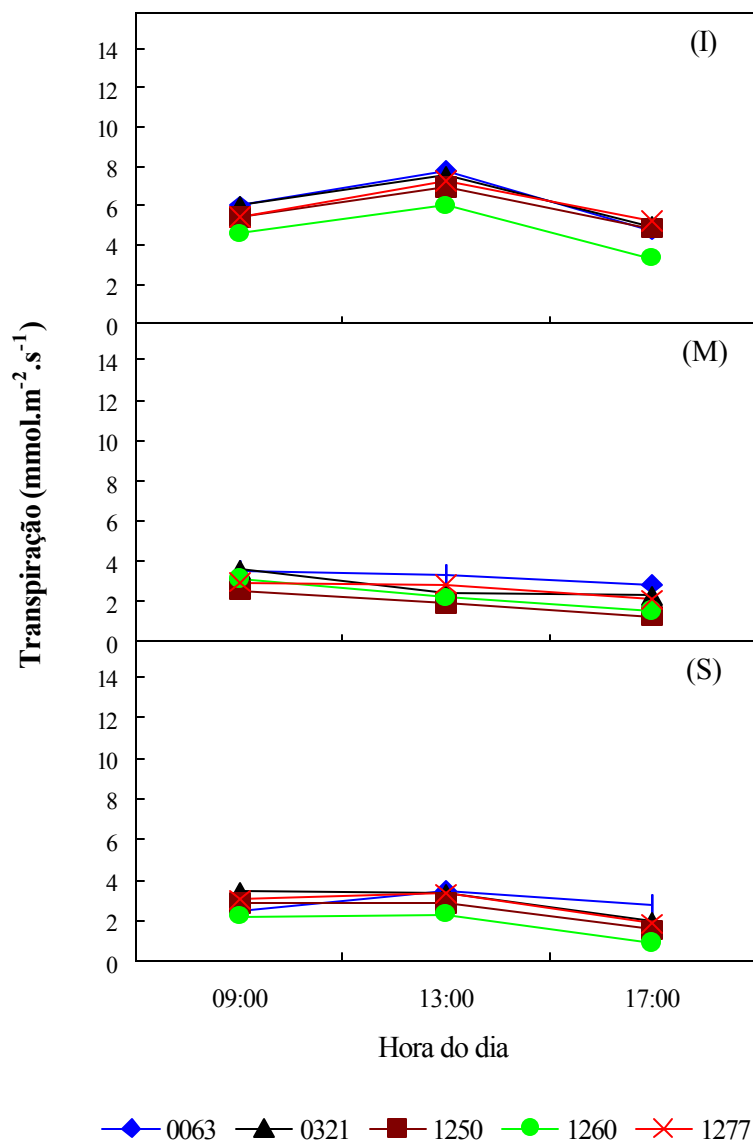


Figura 8 – Transpiração foliar de plantas de cinco clones de eucalipto, crescendo em tubos de PVC sob diferentes regimes hídricos – média das avaliações realizadas no terceiro ciclo de seca (I - Irrigado, M - estresse Moderado, S - estresse Severo).

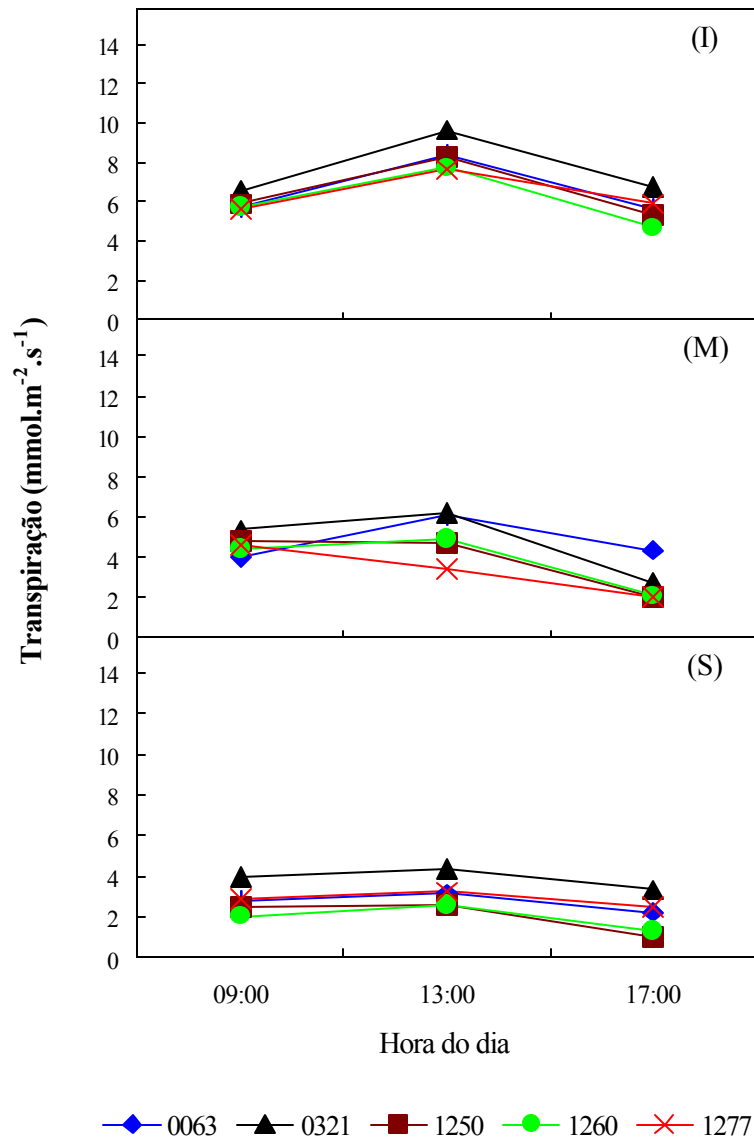


Figura 9 – Transpiração foliar de plantas de cinco clones de eucalipto, crescendo em tubos de PVC sob diferentes regimes hídricos – média das avaliações realizadas no quarto ciclo de seca (I - Irrigado, M - estresse Moderado, S - estresse Severo).

transpiração foliar, causada principalmente pelo fechamento estomático e diminuição da intensidade da radiação solar.

As plantas do tratamento Irrigado apresentaram a maior transpiração, em comparação às dos tratamentos Moderado e Severo, devido, provavelmente, ao fechamento parcial dos estômatos nestes dois últimos tratamentos. A redução da transpiração em consequência do fechamento estomático é uma das primeiras respostas no sentido de reduzir o uso de água pelas plantas sob deficiência hídrica (LARCHER, 1995; KOZLOWSKI e PALLARDY, 1996).

Embora os cinco clones em todos os tratamentos de irrigação tenham apresentado cursos de transpiração ao longo do dia semelhantes, elevando-se das 9:00 h às 13:00 h e reduzindo-se às 17:00 h, os mesmos apresentaram diferenças na magnitude da transpiração. O clone 0321 apresentou alta transpiração em todos os tratamentos de irrigação nos quatro ciclos de seca, sugerindo elevado consumo de água pelas plantas. No primeiro ciclo (Figura 6), o clone 1250 também apresentou alta transpiração foliar, em decorrência de, também, ter apresentado elevada condutância estomática, similarmente ao observado com o clone 0063, no terceiro ciclo de seca (Figura 8), embora em ciclos posteriores o clone tenha apresentado taxas transpiratórias mais baixas.

Contrariamente, os clones 1260 e 1277 apresentaram, de modo geral, menor transpiração, nos vários ciclos de seca, podendo ser uma estratégia para evitar a rápida desidratação da planta (KOZLOWSKI e PALLARDY, 1996; MONNEVEUX e BELHASSEN, 1996).

3.2.3. Temperatura foliar

A temperatura foliar aumentou nas plantas dos tratamentos de déficit hídrico, para todos os clones ao longo do dia (Quadro 3), comparada às plantas do tratamento Irrigado. O aumento da temperatura foliar nas plantas que receberam déficit hídrico se deu em razão da menor transpiração foliar nessas plantas, uma vez que a transpiração é o principal mecanismo de dissipação do calor das plantas. (TAIZ e ZEIGER, 1991; KRAMER e BOYER, 1995).

Quadro 3 – Temperatura de folhas de plantas de cinco clones de eucalipto, crescendo em tubos de PVC sob diferentes regimes hídricos – média de cada ciclo de seca (I – Irrigado, M – Moderado, S – Severo).

Hora	Clone														
	0063			0321			1250			1260			1277		
	I	M	S	I	M	S	I	M	S	I	M	S	I	M	S
1º ciclo															
9:00	23,4	24,4	24,6	23,3	24,1	24,3	23,6	25,2	24,6	24,2	25,8	25,3	24,4	26,2	25,3
13:00	27,0	27,8	27,9	26,7	27,8	27,7	26,7	28,7	27,8	26,9	27,7	28,0	26,1	27,8	27,7
17:00	26,3	27,5	27,6	25,0	26,6	26,2	24,7	26,0	25,7	24,3	25,6	25,6	24,4	25,5	25,3
2º ciclo															
9:00	22,0	22,4	22,3	21,8	22,4	22,1	21,9	22,3	22,5	22,2	23,0	23,1	22,0	22,4	22,0
13:00	23,6	25,4	25,9	25,0	25,5	26,2	25,2	25,7	26,6	25,3	25,9	27,1	24,7	25,1	26,2
17:00	24,0	25,0	26,2	23,5	24,2	25,5	23,8	24,3	25,6	24,2	24,0	23,9	23,9	23,6	24,8
3º ciclo															
9:00	21,7	21,1	21,8	21,4	21,1	21,7	21,9	21,4	22,2	22,3	21,7	22,9	21,7	22,0	22,2
13:00	25,6	27,7	26,4	25,5	26,0	26,7	25,8	28,7	27,5	26,2	28,2	27,4	25,2	27,5	26,9
17:00	21,0	24,6	25,6	22,6	23,8	25,0	23,4	23,4	25,2	23,2	22,9	24,5	22,7	22,8	24,1
4º ciclo															
9:00	20,4	22,1	20,9	20,6	22,0	21,4	20,4	22,3	21,1	20,5	22,4	21,4	20,3	22,2	21,1
13:00	23,6	25,1	25,0	24,3	25,2	24,9	23,5	26,0	25,3	23,9	25,9	25,7	23,4	25,3	25,3
17:00	21,5	24,7	24,5	22,2	24,0	24,0	21,4	23,8	23,3	21,8	23,8	23,1	21,4	24,2	23,0

A temperatura foliar indica a eficiência na dissipação do calor. No presente estudo, não foi possível estabelecer diferenças entre os diversos clones estudados. Há de se considerar que a ventilação em casas de vegetação e em viveiros experimentais pode ser afetada, dificultando a dissipação de calor pelas folhas das plantas nesses ambientes. O controle da temperatura da copa pode ser usado para identificar materiais genéticos de eucalipto resistentes à seca (OLIVA et al., 1984; GONÇALVES, 1992). Entretanto, a temperatura foliar pode sofrer grandes variações de acordo com a posição da folha em relação à copa e à posição do sol (GOMES, 1994).

O clone 1260 apresentou, de maneira geral, as maiores temperaturas foliares em razão de possuir folhas com limbo bastante expandido e posicionado horizontalmente, facilitando a interceptação da radiação solar, além de ter apresentado a menor taxa de transpiração. Com isso, o controle da temperatura na região limítrofe à folha não foi feito de forma eficiente, principalmente

considerando que a ventilação pode ter sido comprometida dentro da casa de vegetação.

3.2.4. Potencial hídrico foliar

As plantas submetidas à deficiência hídrica apresentaram abaixamento do potencial hídrico foliar, para todos os clones. As plantas do tratamento Irrigado mantiveram-se túrgidas ao longo do dia, com o potencial hídrico variando de -0,22 MPa no potencial do antemanhã a -1,01 MPa às 13:00 h (Figura 10), não tendo sido observada diferença entre os clones.

Entretanto, nos tratamentos Moderado e Severo, foram observadas diferenças de comportamento entre os clones quanto ao potencial hídrico foliar. O clone 0321 foi o que apresentou os valores mais altos, principalmente no tratamento de estresse Severo, quando comparado às plantas dos outros clones no mesmo tratamento de irrigação. O potencial hídrico do solo no tratamento Severo, para o clone 0321, atingiu rapidamente -1,5 MPa, no terceiro e quarto ciclos, promovendo encurtamento na duração desses dois ciclos de seca em relação aos demais clones (Quadro 2). Com isso, as plantas do clone 0321 ficaram submetidas ao déficit hídrico por um tempo mais curto, evitando queda acentuada do potencial hídrico foliar nas plantas deste clone. O clone 1250 também apresentou, no tratamento de estresse Severo, potencial hídrico semelhante ao do 0321 até às 13:00 h, embora tenha apresentado duração maior nos dois últimos ciclos de seca.

O clone 1277 apresentou potencial hídrico menor nas plantas do tratamento Moderado, em relação às plantas dos demais clones no mesmo tratamento de estresse. Este resultado indica que, sob déficit hídrico moderado, as plantas desse clone são mais sensíveis à deficiência hídrica, comparado às plantas dos demais clones. No tratamento Moderado, houve intensa queda de folhas nas plantas desse clone no primeiro ciclo de seca, indicando que o abaixamento do potencial hídrico foliar acelerou a abscisão foliar. Resultado

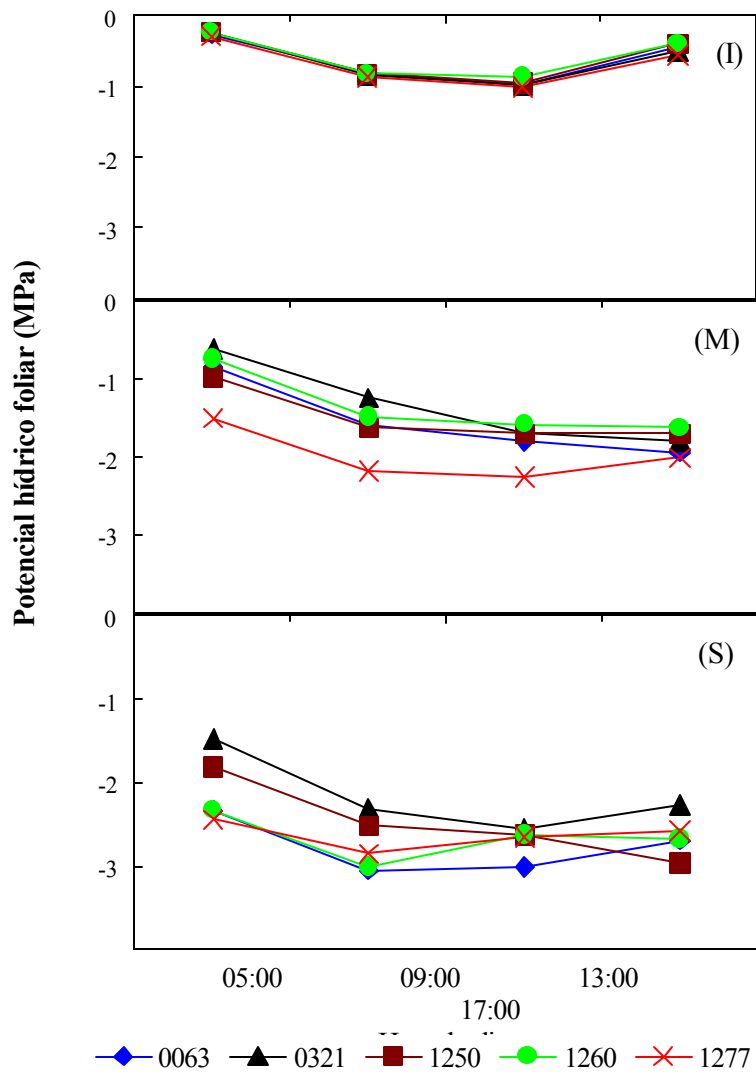


Figura 10 – Potencial hídrico foliar de plantas de cinco clones de eucalipto, crescendo em tubos de PVC sob diferentes regimes hídricos – média das avaliações realizadas ao longo dos vários ciclos de seca (I - Irrigado, M - estresse Moderado, S - estresse Severo).

semelhante foi observado no experimento realizado em tubetes (Capítulo 1). Segundo KOZLOWSKI e PALLARDY (1996), o abaixamento do potencial hídrico foliar pode se dar em consequência do abaixamento do potencial hídrico do solo, baixa taxa de absorção de água e rápida perda de água pelas plantas.

O potencial hídrico foliar foi menor nas plantas do tratamento de estresse Severo, para todos os clones, comparado aos demais tratamentos de irrigação. Esse abaixamento do potencial hídrico foliar pode ter sido a principal causa da redução em área foliar nas plantas desse tratamento de estresse hídrico, em razão da síntese de etileno (LARCHER, 1995).

3.3. Fotossíntese

O déficit hídrico Severo promoveu ligeira redução na fotossíntese líquida das plantas ao final dos ciclos de seca, exceto para o clone 0321 (Figura 11). Neste clone, o período entre o término do último ciclo de seca e a medição da fotossíntese líquida foi maior, em razão de ter apresentado um ciclo de seca de menor duração, ou seja, o seu período de recuperação foi maior em comparação aos demais, justificando a manutenção da taxa de fotossíntese líquida nas plantas dos tratamentos de estresse Moderado e Severo.

O clone 0063 apresentou as maiores diferenças entre os três tratamentos de irrigação, ou seja, o déficit hídrico promoveu redução acentuada na fotossíntese líquida. O clone 1277 apresentou menor diferença entre os tratamentos de irrigação, tendo sido o clone que apresentou a maior taxa de fotossíntese líquida. Estes resultados corroboram os obtidos no experimento realizado em tubetes, em que os clones 0321 e 1277 apresentaram maior fotossíntese líquida nos tratamentos de déficit hídrico.

O déficit hídrico Moderado não afetou substancialmente a fotossíntese ao final dos vários ciclos de seca, exceto para o clone 0063. Nas plantas que receberam estresse Severo, o período necessário para haver a recuperação total da fotossíntese líquida parece ser maior, uma vez que três dias após o fim dos ciclos

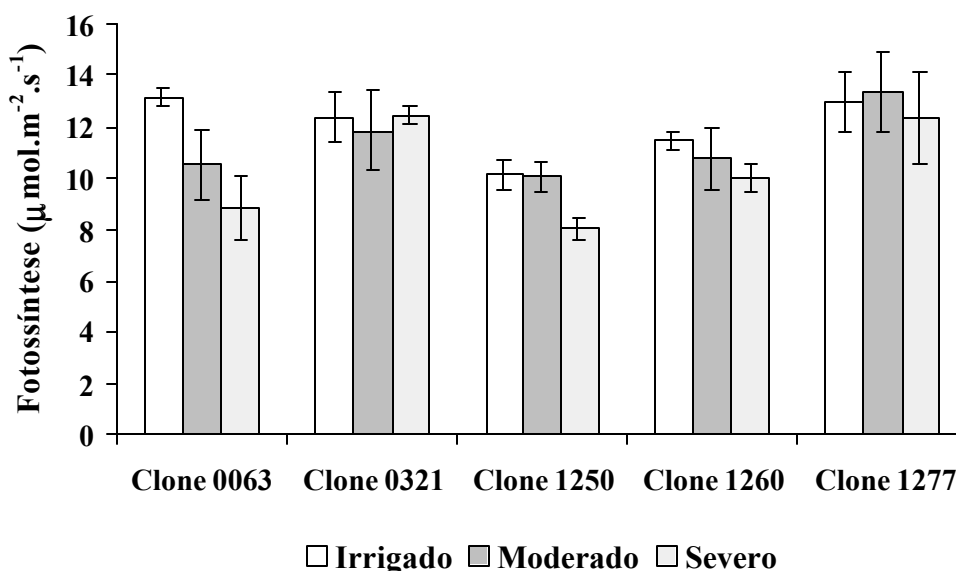


Figura 11 – Fotossíntese líquida das plantas de cinco clones de eucalipto, crescendo em tubos de PVC sob diferentes regimes hídricos (as barras referem-se ao erro padrão da média de três plantas).

de seca, a fotossíntese líquida foi menor que a apresentada nos outros tratamentos de irrigação.

Embora o decréscimo na fotossíntese líquida ao final dos ciclos de seca não tenha sido muito pronunciado, é razoável supor que durante os ciclos de seca, a taxa fotossintética líquida foi menor nas plantas que sofreram os tratamentos de estresse Moderado e Severo. Vários autores registraram queda na fotossíntese durante o período de déficit hídrico em espécies florestais (STONEMAN et al., 1994; CALBO e MORAES, 1997). STONEMAN et al. (1994) registraram decréscimo na fotossíntese líquida em plantas de *E. marginata* sob déficit hídrico, verificando que dois dias após a suspensão do déficit hídrico, as plantas praticamente recuperaram a capacidade fotossintética, sendo que, aos cinco dias após a reirrigação, não mais existiam diferenças entre as plantas previamente estressadas e aquelas completamente irrigadas. Nesse trabalho, os autores estabeleceram relação entre a fotossíntese líquida e o potencial do antemanhã, e encontraram que a fotossíntese não mais era realizada durante o dia quando o potencial do antemanhã atingia valores de $-2,2$ MPa.

Assim, no tratamento de estresse Severo, principalmente, é provável que a fotossíntese líquida tenha atingido valores próximos de zero, ou seja, paralisação total da fotossíntese durante os ciclos de seca. Neste sentido, para que pudessem ser observadas maiores diferenças entre clones e tratamentos de irrigação, seria necessário o monitoramento da fotossíntese líquida ao longo dos vários ciclos de seca.

O maior prejuízo em relação à fotossíntese líquida das plantas sob déficit hídrico está relacionado com a perda na superfície foliar. Entretanto, segundo NAUTIYAL et al. (1994), a redução na fotossíntese líquida por unidade de superfície foliar também é importante. No presente trabalho, foi observada redução na fotossíntese líquida por unidade de superfície foliar, bem como pela redução de área foliar por planta.

3.4. Crescimento

3.4.1. Caracterização inicial das plantas

O Quadro 4 resume as características de crescimento avaliadas antes da aplicação dos tratamentos de irrigação. O clone 1277 apresentou a maior produção de matéria seca total, devido à maior produção de raízes e folhas neste clone. Da mesma forma, a área foliar neste clone foi maior, em razão do maior número de folhas. Contrariamente, os clones 0321 e 1250 foram os que apresentaram os menores valores de matéria seca total, área foliar e número de folhas.

3.4.2. Matéria seca

A produção de matéria seca total das plantas foi reduzida sob déficit hídrico em relação às plantas do tratamento Irrigado (Figura 12). As maiores reduções foram observadas nas plantas do tratamento Severo, em níveis de 26,8,

Quadro 4 – Matéria seca de raízes, haste e ramos, folhas e total, área foliar, número médio de folhas, altura e diâmetro de plantas de cinco clones de eucalipto, antes da aplicação dos tratamentos de irrigação em tubos de PVC.

Clone	Matéria seca (g)				Área foliar (cm ²)	Número de folhas	Altura (cm)	Diâmetro (cm)
	Raiz	Haste e ramos	Folha	Total				
0063	12,99	12,31	17,89	43,20	2213	154	76,7	0,90
0321	8,04	11,03	13,97	33,04	1775	126	75,8	0,92
1250	8,97	9,87	14,39	33,23	1783	133	62,4	0,89
1260	11,34	14,07	18,19	43,61	2266	131	77,3	1,02
1277	14,10	14,12	20,86	49,07	3049	177	73,8	0,96

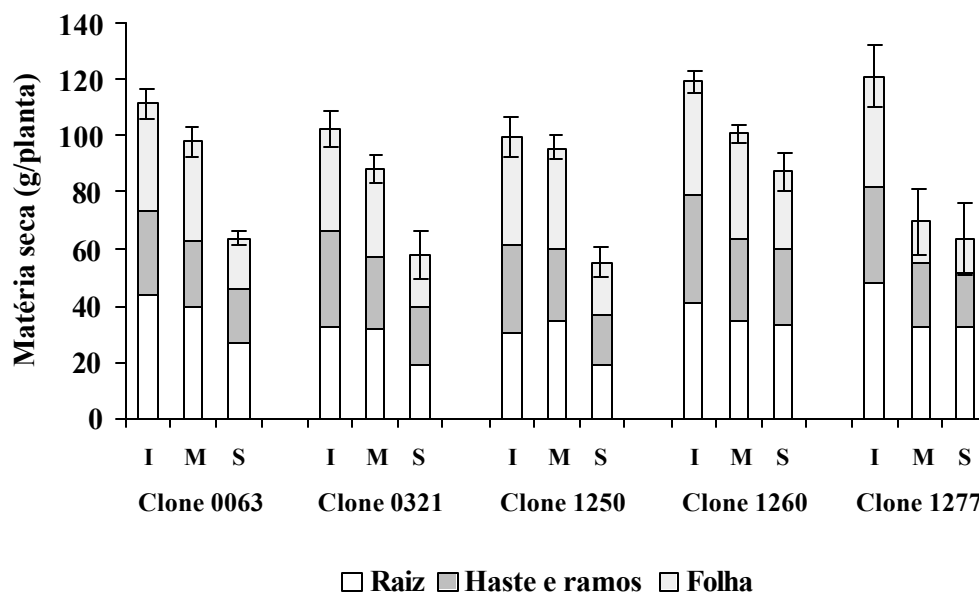


Figura 12 – Matéria seca de raízes, haste e ramos e folhas de plantas de cinco clones de eucalipto, crescendo em tubos de PVC sob diferentes regimes hídricos, I – Irrigado, M – Moderado, S – Severo (as barras referem-se ao erro padrão da média da matéria seca total de quatro plantas).

42,6, 43,5, 44,5 e 47,2% para os clones 1260, 0063, 0321, 1250 e 1277, respectivamente, principalmente em razão da abscisão e da redução na expansão foliar. A maior redução na matéria seca das folhas foi observada para o clone 1277, com 68,6%, e a menor, para o 1260, com 31,7%. Entretanto, as raízes e a haste e ramos também tiveram seu crescimento reduzido pelo tratamento de estresse Severo (Figura 12).

Embora o déficit hídrico tenha promovido a desaceleração do crescimento, houve crescimento das plantas em relação ao início da aplicação dos tratamentos (Quadro 4), provavelmente, em razão dos períodos de recuperação entre ciclos, quando as plantas eram mantidas plenamente irrigadas. O clone 1260 foi o que mais cresceu, mesmo sob déficit hídrico Severo, indicando ser um clone que, nestas condições, consegue manter elevada taxa de crescimento. Em termos de competição, o rápido crescimento mesmo sob déficit hídrico pode ser uma estratégia que possibilite o seu estabelecimento e desenvolvimento no campo (NAUTIYAL et al., 1994).

O déficit hídrico Moderado também afetou o crescimento das plantas. A redução no crescimento variou de 3,9% para o clone 1250 a 42,4% para o clone 1277. Nota-se, novamente, que o clone 1277 foi o mais afetado pelo déficit hídrico Moderado. Esse resultado corrobora o obtido no experimento em tubetes, mostrando que esse clone é o mais sensível à falta d'água, ou seja, mesmo sob déficit hídrico moderado, há redução no crescimento das plantas desse clone. Sob condições ótimas de umidade do solo, as plantas desse clone apresentaram elevada taxa de crescimento, sendo o clone que produziu a maior quantidade de matéria seca total (Figura 12). A raiz é o principal componente responsável pela alta produção de matéria seca desse clone, quando comparado aos demais, sugerindo que o desenvolvimento do sistema radicular deve ser o principal responsável por conferir algum tipo de resistência ao déficit hídrico nesse clone, em condições de campo. A exploração de grande volume de solo a maiores profundidades pode evitar que as plantas desse clone experimentem déficit hídrico capaz de prejudicar o seu crescimento em condições de campo (AWE et al., 1976; REIS e HALL, 1987; SASSE e SANDS, 1996).

O presente trabalho, através das duas etapas realizadas, indica que o clone 1277 é afetado pelo déficit hídrico no solo, quando as plantas estão ainda jovens. Entretanto, o mesmo possui acentuada capacidade de recuperação, já que é capaz de lançar grande quantidade de folhas, tão logo a umidade do solo seja restabelecida.

O comportamento da produção de matéria seca foi semelhante ao observado por OSÓRIO et al. (1998), com a diferença de que a redução na produção de matéria seca observada por esses autores foi maior, em razão da maior duração do seu experimento. Esses autores avaliaram o efeito do déficit hídrico Moderado e Severo na produção de matéria seca em plantas de três clones de *E. globulus* e encontraram redução média de 52 e 65% na produção total de matéria seca nas plantas com déficit Moderado e Severo, respectivamente. Embora tenha havido diferença entre os tratamentos de estresse, os autores não encontraram diferenças entre clones.

3.4.3. Área foliar

A área foliar das plantas foi reduzida pelo déficit hídrico, sendo que essa redução foi maior nas plantas do tratamento de estresse Severo, comparada às plantas do tratamento Irrigado, com redução variando de 30,5%, para o clone 1260 a 63,7%, para o clone 1277 (Figura 13). Esse resultado foi semelhante ao obtido para a produção de matéria seca, indicando que os clones 1260 e 1277 foram, respectivamente, os clones menos e mais afetados pelo déficit hídrico severo.

A redução em área foliar nas plantas do tratamento de estresse Severo se deu tanto pela abscisão das folhas quanto pela redução na expansão foliar. A área foliar é uma excelente característica para se avaliarem os efeitos do déficit hídrico sobre o crescimento das plantas. O clone 1277 apresentou intensa queda de folhas, principalmente após o primeiro ciclo de seca, refletindo na redução em área foliar.

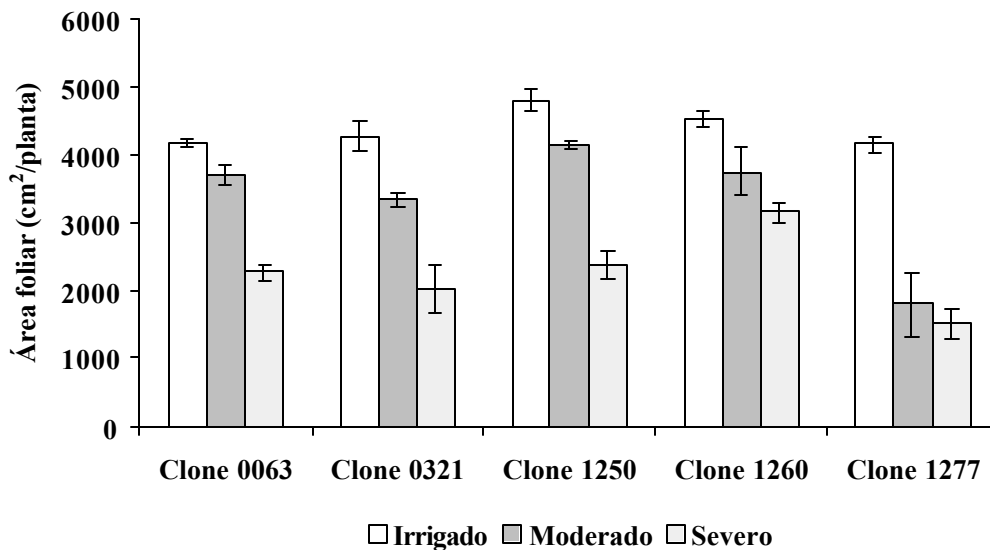


Figura 13 – Área foliar de plantas de cinco clones de eucalipto, crescendo em tubos de PVC sob diferentes regimes hídricos (as barras referem-se ao erro padrão da média de quatro plantas).

Em relação ao início da experimentação (Quadro 4), os clones 1250 e 1260 foram os que apresentaram maior aumento em área foliar nas plantas do tratamento de estresse Severo (33,0 e 39,1%, respectivamente). Esses resultados corroboram aqueles obtidos no experimento realizado em tubetes (Capítulo 1), em que esses clones foram pouco afetados pelo déficit hídrico, indicando que, nas condições experimentais em questão, conseguem suportar melhor a redução do potencial hídrico no solo.

Nas plantas do estresse Moderado, a redução em área foliar não foi tão intensa quanto nas plantas do estresse Severo, à exceção do clone 1277, que apresentou redução de 56,8% na área foliar, comparada à área foliar das plantas do tratamento Irrigado. Essa redução foi, respectivamente, de 11,1, 14,0, 17,2 e 22,1% para os clones 0063, 1250, 1260 e 0321, tendo sido menor do que a observada por OSÓRIO et al. (1998) em plantas de *E. globulus* (50 e 65% de redução no estresse Moderado e Severo, respectivamente). Essa redução foi atribuída à menor expansão foliar e produção de haste e ramos nas plantas estressadas, levando a conseqüente redução na área foliar.

3.4.4. Número de folhas

O número de folhas foi reduzido à medida em que se aumentava o nível de déficit hídrico aplicado às plantas dos cinco clones estudados (Figura 14). O déficit hídrico pode reduzir o número de folhas de duas formas: pela abscisão foliar e pela redução no lançamento de novas folhas. As plantas do tratamento de estresse Moderado tiveram redução no número de folhas de 11,6, 15,3, 20,1, 20,9 e 22,9% em relação ao tratamento Irrigado, para os clones 0063, 1260, 0321, 1250 e 1277, respectivamente.

O clone 1250 foi o que apresentou as maiores diferenças entre os tratamentos de irrigação, com relação ao número de folhas. Isto se deveu às plantas do tratamento Irrigado terem lançado muitas folhas durante o período de experimentação. Mesmo sob déficit hídrico Moderado, as plantas desse clone possuem a capacidade de lançar grande quantidade de folhas. Entretanto, esse foi o clone que, no tratamento de estresse Severo, apresentou a maior redução no número de folhas (54,5%).

O clone 0321 foi o que apresentou o menor número de folhas, em todos os tratamentos de irrigação, sugerindo ser uma característica genética do mesmo. Sob déficit hídrico Severo, este clone reduziu o número de folhas em 43,5%, quando comparado às plantas do tratamento Irrigado.

Embora o clone 1277 tenha sido o mais afetado pelo déficit hídrico, indicado pela redução na produção de matéria seca total (Figura 12) e pela redução em área foliar (Figura 13), o número de folhas neste clone não foi afetado na mesma proporção que nas características anteriormente analisadas. Este fato se deu em razão de que, neste clone, houve lançamento de grande quantidade de folhas novas durante os últimos ciclos de seca. Esses lançamentos aconteceram após ter havido intensa queda de folhas no primeiro ciclo de seca. Estes resultados indicam grande capacidade de recuperação desse clone e que a abscisão foliar, mesmo sob déficit hídrico Moderado, pode ser uma das estratégias de adaptação desse clone ao déficit hídrico, ocorrendo,

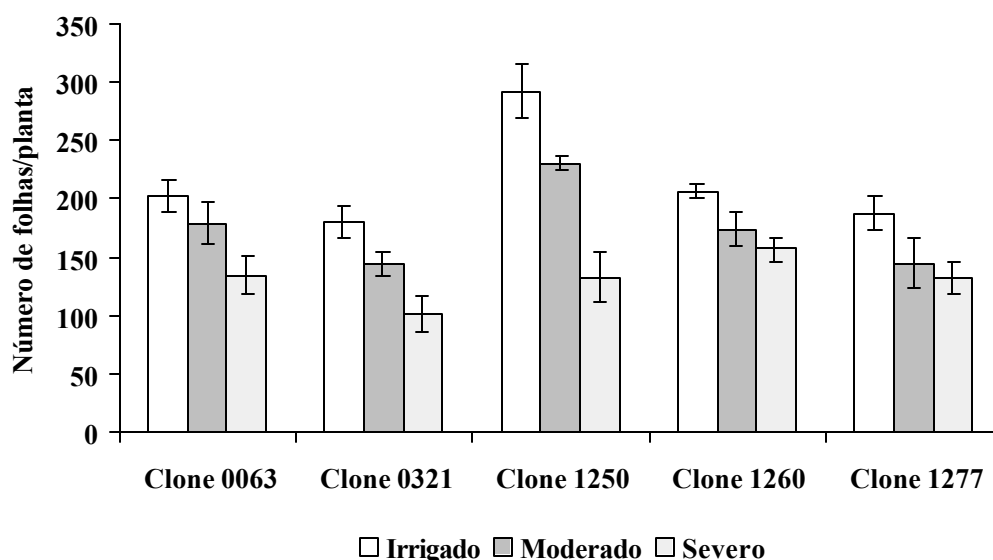


Figura 14 – Número de folhas de plantas de cinco clones de eucalipto, crescendo em tubos de PVC sob diferentes regimes hídricos (as barras referem-se ao erro padrão da média de quatro plantas).

provavelmente, em razão do ajustamento osmótico pouco eficiente. Segundo LEMCOFF et al. (1994), o baixo ajustamento osmótico em plantas de *E. camaldulensis* poderia ser compensada por outras características de adaptação à seca, como o desenvolvimento de um sistema radicular ramificado e profundo. O clone 1277 é um híbrido de *E. camaldulensis*, podendo ter herdado essas características, porém, no presente experimento, não pôde ser uma característica adequadamente analisada em razão de restrições impostas pelo tamanho do recipiente. Por outro lado, os mesmos autores chamam a atenção para o fato de que o ajustamento osmótico pode ser uma importante característica adaptativa, possibilitando o estabelecimento de materiais genéticos em condições limitantes de deficiência hídrica.

No tratamento de estresse Severo, o clone 1260 foi o que apresentou a menor redução no número de folhas (23,8%), indicando que as plantas desse clone suportam déficit hídrico acentuado no solo, sem haver queda de folhas. Isto pode se dar através de um ajustamento osmótico mais eficiente nas plantas desse clone. O ajustamento osmótico pode também ter sido a razão das plantas do

clone 1250 não terem reduzido o número de folhas em relação ao início da experimentação (Quadro 4), mantendo constante o número de folhas ao longo dos vários ciclos de seca, embora tenham apresentado redução no número de folhas nas plantas do tratamento de estresse Severo em relação às do tratamento Irrigado.

3.4.5. Expansão foliar

O déficit hídrico diminuiu a expansão foliar para todos os clones ao final dos quatro ciclos de seca, exceto nas plantas do clone 0321 e do 1260 no tratamento Moderado (Figura 15). Os mais afetados foram os clones 0063 e 1277, que apresentaram expansão foliar muito menor sob déficit hídrico em relação às plantas do tratamento Irrigado, apresentando, também, as maiores diferenças entre os tratamentos de irrigação.

O clone 1250 apresentou pouca diferença entre os três tratamentos de irrigação, pelo fato deste clone possuir folhas de tamanho mais reduzido. Segundo LIMA (1996), quando se analisa a expansão foliar de materiais genéticos distintos, há que se considerar o tamanho das folhas. Espécies com folhas menores podem apresentar menor expansão foliar, quando se avalia a expansão de folhas individualizadas. Comportamento reverso apresentou o clone 0321, uma vez que as plantas apresentaram áreas foliares reduzidas nos tratamentos sob deficiência hídrica por apresentarem menor número de folhas, e não por ter sido afetado pela expansão foliar.

O clone 1260 seguiu a mesma tendência observada para a área foliar (Figura 13) e número de folhas (Figura 14), ou seja, embora o déficit hídrico Severo tenha afetado o crescimento, o déficit hídrico Moderado praticamente não comprometeu o desenvolvimento das plantas, o que pode ser claramente observado quando se analisa a expansão foliar nas plantas desse clone (Figura 15).

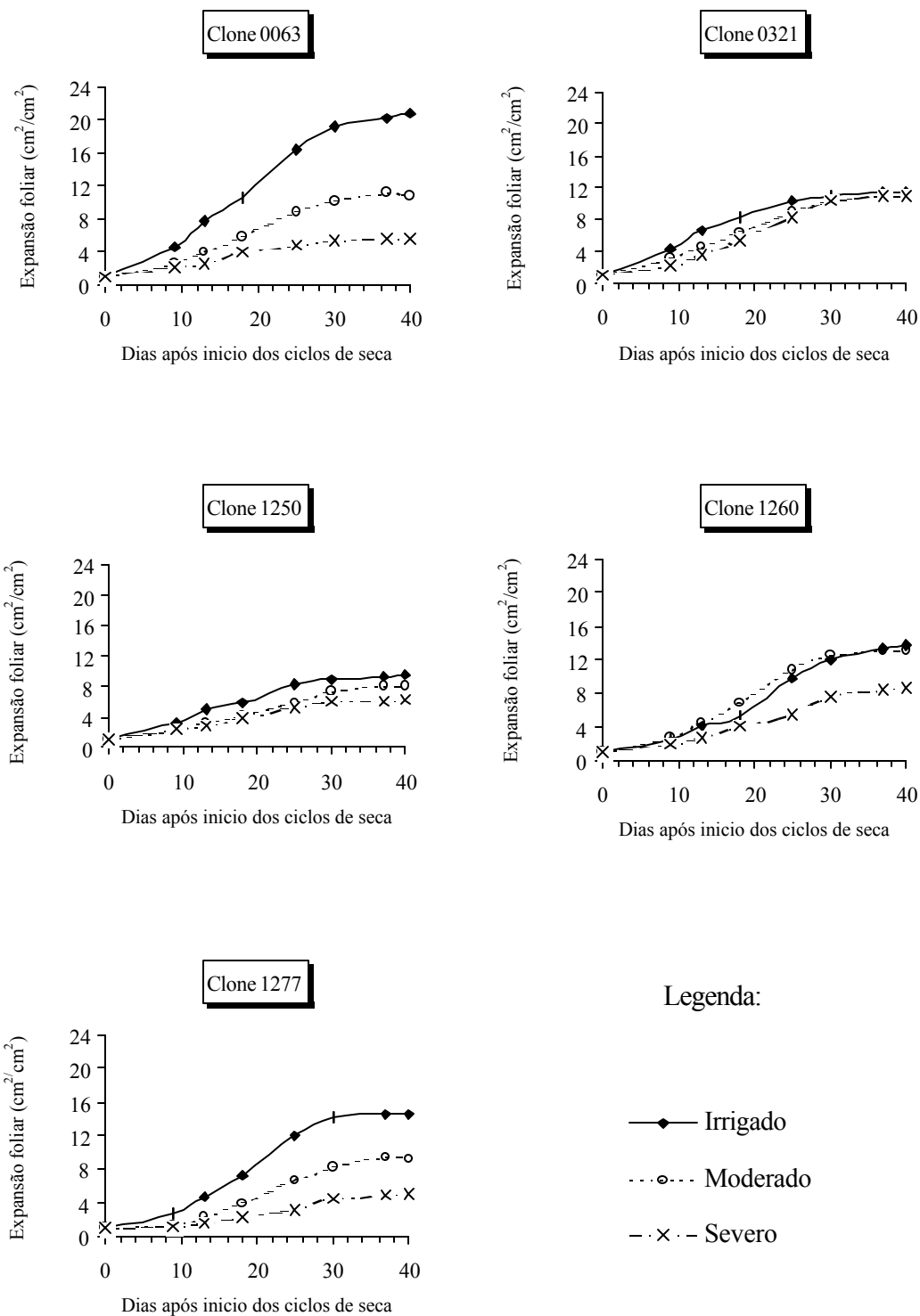


Figura 15 – Expansão foliar (cm²/cm²) de plantas de cinco clones de eucalipto, crescendo em tubos de PVC sob diferentes regimes hídricos.

As plantas do tratamento de estresse Moderado do clone 1277 apresentaram expansão foliar mais elevada do que o esperado, uma vez que as plantas desse tratamento sofreram de forma bastante severa os efeitos do déficit hídrico Moderado. Uma possível explicação é que, pelo fato dessas plantas terem perdido grande quantidade de folhas logo após o primeiro ciclo de seca, os primórdios foliares marcados mantiveram-se mais túrgidos, o que permitiu o seu crescimento a uma taxa elevada durante os ciclos de seca subsequentes. Fato semelhante foi observado no experimento realizado em tubetes (Capítulo 1), para os clones 0321 e 1277.

As plantas do tratamento Moderado dos clones 0321 e 1260 e do tratamento Severo do clone 0321 apresentaram expansão foliar elevada, podendo estar relacionada ao potencial hídrico foliar elevado nas plantas desses tratamentos. A queda do potencial hídrico foliar é a principal causa da redução na expansão foliar (LARCHER, 1995). Segundo STONEMAN et al. (1994), a expansão foliar em mudas de *E. marginata* decresceu linearmente com o decréscimo no potencial hídrico do antemanhã, atingindo valores próximos a zero com o potencial hídrico foliar de $-1,5$ MPa. OSÓRIO et al. (1998) observaram redução na expansão foliar em plantas de três clones de *E. globulus*, em que as plantas que foram submetidas aos estresses Moderado e Severo apresentaram redução de 20 e 50% no tamanho final das folhas.

3.4.6. Crescimento em altura e diâmetro

A altura e o diâmetro do coleto das plantas, assim como no experimento realizado em tubetes (Capítulo 1), apresentaram pequena redução com o déficit hídrico (Figuras 16 e 17), não sendo considerados eficientes na identificação de material genético para reflorestamento em áreas com diferenças na disponibilidade hídrica. Possivelmente, esse efeito não foi detectado em razão da curta duração do experimento (aproximadamente 40 dias). Além disso, na idade em que as mudas se encontravam por ocasião da realização do experimento, o

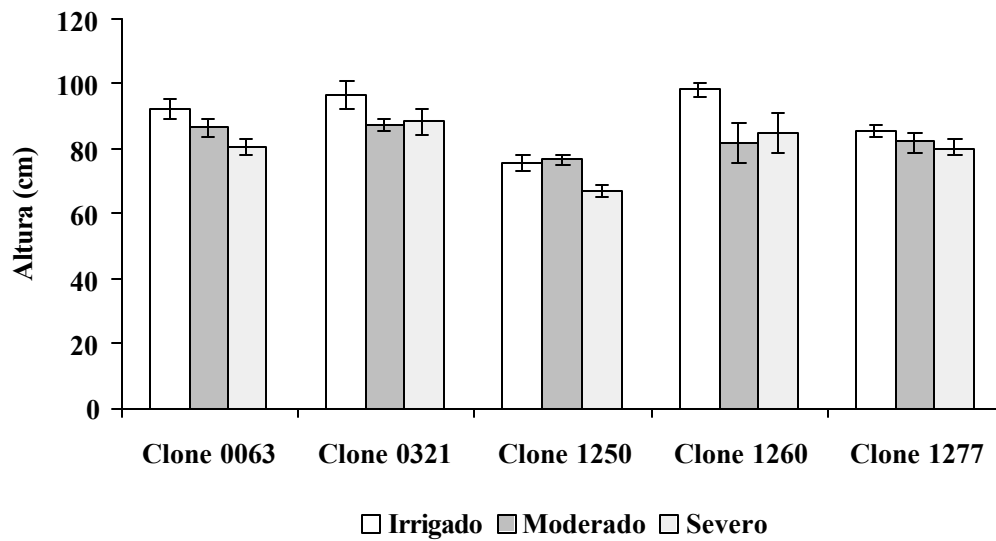


Figura 16 – Altura de plantas de cinco clones de eucalipto, crescendo em tubos de PVC sob diferentes regimes hídricos (as barras referem-se ao erro padrão da média de quatro plantas).

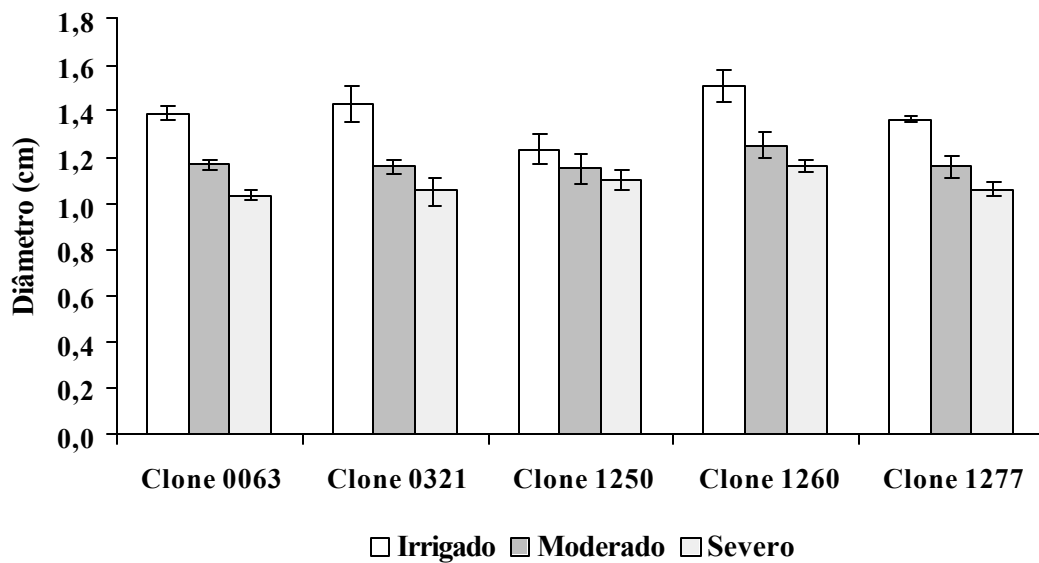


Figura 17 – Diâmetro de plantas de cinco clones de eucalipto, crescendo em tubos de PVC sob diferentes regimes hídricos (as barras referem-se ao erro padrão da média de quatro plantas).

crescimento lateral dos ramos pode ter sido mais prejudicado do que a altura das plantas. OSÓRIO et al. (1998) encontraram diferenças na altura das plantas de três clones de *E. globulus*, submetidas a déficit hídrico moderado e severo. Entretanto, o período de experimentação foi maior do que o adotado no presente trabalho, aliado ao fato desta espécie ser bastante sensível à deficiência hídrica. Os autores consideraram, ainda, que os maiores efeitos do déficit hídrico foram causados na produção de galhos e folhas, e não na altura das plantas.

Os clones avaliados parecem geneticamente próximos. Estudos feitos por diversos autores (FAÇANHA, 1983; LIMA, 1996; LI, 1998a) têm comparado materiais genéticos bastante distintos, como espécies diferentes ou procedências diferentes de uma mesma espécie. No presente trabalho, quatro clones são híbridos de um mesmo cruzamento (*E. grandis* x *E. urophylla*). Dessa forma, torna-se difícil perceber pequenas diferenças no comportamento desses materiais com relação ao déficit hídrico. Segundo Davidson e Reid (1989), citados por LEMCOFF et al. (1994), podem existir grandes diferenças quanto à resistência à seca em espécies de eucalipto, mesmo que algumas características fisiológicas e morfológicas pareçam pequenas.

4. RESUMO E CONCLUSÕES

O presente estudo foi desenvolvido com o objetivo de identificar características fisiológicas e ou morfológicas de clones de eucalipto, crescendo em tubos de PVC de 15 cm de diâmetro x 50 cm de altura, de modo a subsidiar a seleção precoce desse material genético para plantio em ambientes com diferentes disponibilidades de água no solo.

Foram utilizadas mudas de cinco clones de eucalipto, selecionados com base nas suas respostas em plantios comerciais em locais com diferentes níveis de precipitação pluviométrica, em áreas da COPENER FLORESTAL Ltda., localizada no norte do Estado da Bahia. O experimento foi constituído de quinze tratamentos, sendo três níveis de irrigação (Irrigado, estresse Moderado e estresse Severo) e cinco clones, em esquema fatorial (2x5), estabelecido em Delineamento Inteiramente Casualizado, com quatro repetições e uma planta por unidade experimental. Foram avaliadas as seguintes características fisiológicas: condutância estomática, transpiração foliar, temperatura foliar, potencial hídrico foliar e fotossíntese líquida. Avaliou-se, também, as seguintes características de crescimento: diâmetro e altura total da planta, número e tamanho de folhas, área foliar, expansão foliar e matéria seca de folhas, haste e ramos e raízes.

Os principais resultados e conclusões deste trabalho foram:

- O clone 0321 apresentou maior condutância estomática e transpiração foliar ao longo dos quatro ciclos de seca, podendo ter ocasionado maior consumo de água. Contrariamente, o clone 1260 apresentou, de modo geral, menor condutância estomática e transpiração, exceto no primeiro ciclo de seca, em que o clone 1277 foi o que apresentou os menores valores em todos os tratamentos de irrigação.

- O déficit hídrico promoveu abaixamento do potencial hídrico foliar nas plantas dos cinco clones, especialmente para o clone 1277, que apresentou redução mesmo no tratamento de déficit hídrico Moderado. O clone 0321 apresentou os valores mais altos de potencial hídrico foliar nas plantas sobre déficit hídrico.

- A taxa fotossintética líquida foi pouco reduzida nas plantas estressadas dos clones 0321 e 1277, decrescendo nas plantas do clone 0063.

- O déficit hídrico reduziu a produção de matéria seca total, principalmente no clone 1277, apresentando redução de 42,4% e 47,2% nas plantas do tratamento Moderado e Severo, respectivamente, em relação às plantas do tratamento Irrigado. O componente da planta mais afetado pelo déficit hídrico foi a folha, com reduções variando de 68,6% (1277) a 31,7% (1260).

- O clone 1277 apresentou maior desenvolvimento do sistema radicular, quando sob condições de adequada disponibilidade hídrica, o que pode conferir, em condições de campo, maior resistência à deficiência hídrica.

- A avaliação da altura e diâmetro não se mostrou eficiente na identificação dos efeitos do déficit hídrico nas plantas.

- Com base nos resultados das avaliações fisiológicas e de crescimento, o clone 1277 se mostrou mais sensível à deficiência hídrica. Contrariamente, o clone 1260 foi o menos sensível.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANDRADE, L.A. **Classificação ecológica do território brasileiro situado a Leste do meridiano de 44° Oeste e ao Norte do paralelo 16° Sul – Uma abordagem climática.** Viçosa: UFV, 1998. 147p. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, 1998.
- AWE, J.O., SHEPHERD, K.R., FLORENCE, R.G. Root development in provenances of *Eucalyptus camaldulensis* Dehn. **Australian Forestry**, Yarralumla, v.39, n.3, p.201-209. 1976.
- CALBO, M.E.R., MORAES, J.A.P.V. Fotossíntese, condutância estomática, transpiração e ajustamento osmótico de plantas de buriti submetidas a estresse hídrico. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, Brasília, v.9, n.2, p.117-123, 1997.
- FAÇANHA, J.G.V. **Aspectos fisiológicos do crescimento de *Eucalyptus* spp. submetidos a deficiência hídrica.** Viçosa: UFV, 1983. 47p. Tese (Mestrado em Fisiologia Vegetal) – Universidade Federal de Viçosa, 1983.
- FRAMPTON, L.J.Jr., FOSTER, G.S. Field testing vegetative propagules. In: AHUJA, M.R., LIBBY, W.J. **Clonal Forestry I. Genetics and Biotechnology**, Berlin, 1993. p.110-134.
- GOMES, R.T. **Efeito do espaçamento no crescimento e nas relações hídricas de *Eucalyptus* spp. na região de cerrado de Minas Gerais.** Viçosa: UFV, 1994. 85p. Tese (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, 1994.

- GONÇALVES, M.R. **Crescimento, acúmulo de nutrientes e temperatura de copa de cinco espécies de *Eucalyptus* spp. sob dois regimes hídricos.** Viçosa: UFV, 1992. 66p. Tese (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, 1992.
- GUICHERD, P., PELTIER, J.P., GOUT, E., BLINGNY, R., MARIGO, G. Osmotic adjustment in *Fraxinus excelsior* L.: malate and mannitol accumulation in leaves under drought conditions. **Trees: Structure and Function**, Berlin, v.11, n.3, p.155-161. 1997.
- HINCKLEY, T.M., RICHTER, H., SCHULTE, P.J. Water relations. In: RAGHAVENDRA, A.S. **Physiology of trees**, New York, 1991. p.137-162.
- ISMAIL, A.M., HALL, A.E., BRAY, E.A. Drought and pot size effects on transpiration efficiency and carbon-isotope discrimination of cowpea accessions and hybrids. **Australian Journal of Plant Physiology**, Victoria, v.21, n.1, p.23-35. 1994.
- IUCHI, S., YAMAGUCHI-SHINOZAKI, K., URAO, T., TERAU, T., SHINOZAKI, K. Novel drought-inducible genes in the highly drought-tolerant cowpea: cloning of cDNAs and analysis of the expression of the corresponding genes. **Plant and Cell Physiology**, Kyoto, v.37, n.8, p.1073-1082. 1996.
- KAISER, W.M. Effects of water deficit on photosynthetic capacity. **Physiologia Plantarum**, Copenhagen, v.71, p.142-149. 1987.
- KOZŁOWSKI, T.T., PALLARDY, S.G. **Physiology of woody plants**, 2.ed. San Diego, 1996. 411p.
- KRAMER, P.J. **Plant and soil water relationships: A modern synthesis.** New York, 1969. 482p.
- KRAMER, P.J., BOYER, J.S. **Water relations of plants and soils.** San Diego, 1995. 495p.
- LARCHER, W. **Physiological plant ecology.** 3.ed. New York, 1995. 506p.
- LEITE, F.P. **Crescimento, relações hídricas, nutricionais e lumínicas em povoamento de *Eucalyptus grandis* em diferentes densidades populacionais.** Viçosa: UFV, 1996. 90p. Tese (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Viçosa, 1996.
- LEMCOFF, J.H., GUARNASCHELLI, A.B., GARAU, A.M., BASCIALLI, M.E., GUERSA, C.M. Osmotic adjustment and its use as a selection in *Eucalyptus* seedlings. **Canadian Journal of Forest Research**, Ottawa, v.24, n.12, p.2404-2408. 1994.

- LI, C. Some aspects of leaf water relations in four provenances of *Eucalyptus microtheca* seedlings. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v.111, n.2-3, p.303-308. 1998a.
- LI, C. Variations of seedlings traits of *Eucalyptus microtheca* origins in different watering regimes. **Silvae Genetica**, Grosshansdorf, v.47, n.2-3. 1998b.
- LI, C.; BERNINGER, F., KOSKELA, J., SONNINEN, E. Drought responses of *Eucalyptus microtheca* provenances depend on seasonality of rainfall in their place of origin. **Australian Journal of Plant Physiology**, Victoria, v.27, n.3, p.231-238. 2000.
- LIMA, P.C. **Acúmulo e distribuição de matéria seca, carboidratos e macronutrientes em mudas de *Eucalyptus* spp. em solos com diferentes potenciais hídricos.** Viçosa: UFV, 1996. 106p. Tese (Doutorado em Fisiologia Vegetal) - Universidade Federal de Viçosa, 1996.
- MIELKE, M.S. **Regulação fisiológica e ambiental das trocas gasosas num plantio clonal de híbridos de *Eucalyptus grandis* Hill ex-Maiden.** Viçosa: UFV, 1997. 92p. Tese (Doutorado em Fisiologia Vegetal) - Universidade Federal de Viçosa, 1997.
- MIELKE, M.S., OLIVA, M.A., BARROS, N.F., PENCHEL, R.M., MARTINEZ, C.A., ALMEIDA, A.C. Stomatal control of transpiration in the canopy of a clonal *Eucalyptus grandis* plantation. **Trees: Structure and Function**, Berlin, v.13, p.152-160. 1999.
- MONNEVEUX, P., BELHASSEN, E. The diversity of drought adaptation in the wide. In: BELHASSEN, E. **Drought tolerance in higher plants: genetical, physiological and molecular biological analysis**, Dordrecht, p.7-14. 1996.
- NAUTIYAL, S., BADOLA, H.K., PAL, M., NEGI, D.S. Plant responses to water stress: changes in growth, dry matter production, stomatal frequency and leaf anatomy. **Biologia Plantarum**, Dordrecht, v.36, n.1, p.91-97. 1994.
- NEVES, J.C.L., GOMES, J.M., NOVAIS, R.F. Fertilização mineral de mudas de eucalipto. In: Barros, N.F., Novais, R.F. **Relação solo-eucalipto**, Viçosa, 1990. p.99-126.
- OLIVA, M.A., LOPES, N.F., FAÇANHA, J.G.V. Avaliação da resistência à seca de *Eucalyptus* spp., mediante termometria a infravermelho. **Revista Árvore**, Viçosa, v.8, n.2, p.112-122. 1984.
- OSÓRIO, J., OSÓRIO, M.L., CHAVES, M.M., PEREIRA, J.S. Water deficits are more important in delaying growth than in changing patterns of carbon allocation in *Eucalyptus globulus*. **Tree Physiology**, Victoria, v.18, n.6, p.363-373. 1998.

- POOK, E.W. Canopy dynamics of *Eucalyptus maculata* Hook. Effects of drought. **Australian Journal of Botany**, Victoria, v.33, n.1, p.65-79. 1985.
- REID, D.M., BEALL, F.D., PHARIS, R.P. Environmental cues in plant growth and development. IN: STEWARD, F.C. **Plant physiology: a treatise**. Vol (X): Growth and development, San Diego, p.65-181. 1991.
- REIS, G.G., HALL, A.E. Relações hídricas e atividade do sistema radicular em *Eucalyptus camaldulensis* Dehn. Em condições de campo. **Revista Árvore**, Viçosa, v.11, n.1, p.43-55. 1987.
- REIS, G.G., GOMES, R.T., MAESTRI, M., REIS, M.G.F. Determinação da área foliar em espécies e em procedências de *Eucalyptus*. **Revista Árvore**, Viçosa, v.12, n.1, p.25-33. 1988a.
- REIS, G.G., REIS, M.G.F., MAESTRI, M. Crescimento e relações hídricas de mudas de *Eucalyptus grandis* e *E. camaldulensis* em tubetes sob três regimes de irrigação. **Revista Árvore**, Viçosa, v.12, n.2, p.183-195. 1988b.
- REIS, G.G., REIS, M.G.F., MAESTRI, M., XAVIER, A., OLIVEIRA, L.M. Crescimento de *Eucalyptus camaldulensis*, *E. grandis* e *E. cloeziana* spp. sob diferentes níveis de restrição radicular. **Revista Árvore**, Viçosa, v.13, n.1, p.1-18. 1989.
- REIS, G.G., REIS, M.G.F. Respostas estomáticas e mudanças nos níveis de reservas de plantas intactas e de brotações de *Eucalyptus camaldulensis* Dehn. submetidas à deficiência hídrica no solo. **Revista Árvore**, Viçosa, v.15, n.2, p.112-125. 1991.
- REIS, G.G., REIS, M.G.F., BERNARDO, A.L., MAESTRI, M., REGAZZI, A.J., GARCIA, N.C.P. Efeito do tempo de estocagem de mudas de *Eucalyptus* produzidas em tubetes sobre a produção de biomassa após o transplântio. **Revista Árvore**, Viçosa, v.15, n.2, p.103-111. 1991.
- REIS, G.G., REIS, M.G.F. Competição por luz, água e nutrientes em povoamentos florestais. In: I SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA FLORESTAL, 1993, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte, 1993. v.1, p.161-172.
- RHODENBAUGH, E.G., PALLARDY, S.G. Water stress, photosynthesis and early growth patterns of cuttings of three *Populus* clones. **Tree Physiology**, Victoria, v.13, n.3, p.213-226. 1993.
- ROCHA, A.M.S., MORAES, J.A.P.V. Influência do estresse hídrico sobre as trocas gasosas em plantas jovens envasadas de *Stryphnodendron adstringens* (Mart.) Coville. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, Brasília, v.9, n.1, p.41-46. 1997.

- SASSAKI, R.M., MACHADO, E.C., LAGÔA, A.M.M.A., FELIPPE, G.M. Effect of water deficiency on photosynthesis of *Dalbergia miscolobium* Benth., a cerrado tree species. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, Brasília, v.9, n.2, p.83-87, 1997.
- SASSE, J., SANDS, R. Comparative responses of cuttings and seedlings of *Eucalyptus globulus* to water stress. **Tree Physiology**, Victoria, v.16, n.1-2, p.287-294, 1996.
- SCHOLANDER, P.F., HAMMEL, H.T., BRADSTREET, E.D., HEMMINGSEN, E.A. Sap pressure in vascular plants. **Science**, Cambridge, v.148, p.339-346. 1965.
- SCHULZE, E.D. Whole-plant responses to drought. **Australian Journal of Plant Physiology**, Victoria, v.13, n.1, p.127-141, 1986.
- STAPE, J.L., GOMES, A.N., ASSIS, T.F. Estimativa da produtividade de povoamentos monoclonais de *Eucalyptus grandis* x *urophylla* no nordeste no Estado da Bahia-Brasil em função das variabilidades pluviométricas e edáfica. In: IUFRO CONFERENCE ON SILVICULTURE AND IMPROVEMENT OF EUCALYPTS, 1997, Salvador. **Proceedings...** Salvador, 1997. v.4, p.192-198.
- STONEMAN, G.L., TURNER, N.C., DELL, B. Leaf growth, photosynthesis and tissue water relations of greenhouse-grown *Eucalyptus marginata* seedlings in response to water deficits. **Tree Physiology**, Victoria v.14, n.6, p.633-646. 1994.
- SUTCLIFFE, J.F. **As plantas e a água**, São Paulo, 1980. 126p. (Temas de Biologia, vol. 23).
- TAIZ, L., ZEIGER, E. **Plant physiology**, California, 1991. 559p.
- TUOMELA, K. Leaf water relations in six provenances of *Eucalyptus microtheca*: a greenhouse experiment. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v.92, n.1-3. p.1-10. 1997.

APÊNDICE

APÊNDICE

Quadro 1A – Resumo da análise de variância para transpiração e condutância estomática de plantas de cinco clones de eucalipto, crescendo em tubetes sob diferentes regimes hídricos.

Fontes de Variação	GL	Quadrados médios	
		Transpiração	Condutância estomática
Estresse (ES)	1	4,19 ^{ns}	7612,95 ^{ns}
Clone (CL)	4	38,98**	154413,84**
ES x CL	4	8,97 ^{ns}	29131,34 ^{ns}
Erro (a)	20	5,93	20464,28
Ciclo	4	33,74**	94726,27**
Ciclo x ES	4	5,21**	14802,42**
Ciclo x CL	16	1,72 ^{ns}	5056,91 ^{ns}
Ciclo x ES x CL	16	1,89 ^{ns}	4575,91 ^{ns}
Erro (b)	80	1,17	3835,45
Horário	4	67,13**	800384,34**
Horário x ES	4	3,71**	7531,47 ^{ns}
Horário x CL	16	3,42**	32034,83**
Horário x ES x CL	16	1,15 ^{ns}	8084,45 ^{ns}
Erro (c)	80	8,50.10 ⁻¹	4964,22
Ciclo x Horário	16	12,44**	43676,07**
Ciclo x Horário x ES	16	6,10.10 ^{-1ns}	2834,15 ^{ns}
Ciclo x Horário x CL	64	9,6.10 ^{-1ns}	3461,15 ^{ns}
Ciclo x Horário x ES x CL	64	6,00.10 ^{-1ns}	1638,65 ^{ns}
Erro (d)	320	6,70.10 ⁻¹	2854,64

* e ** = Significativo, pelo teste F, a 5% e 1% de probabilidade, respectivamente; ns = não significativo.

Quadro 2A – Resumo da análise de variância e do desdobramento para diâmetro (DIAM), altura (ALT), área foliar (AF), matéria seca (MS) e número de folhas (NF) de plantas de cinco clones de eucalipto, crescendo em tubetes sob diferentes regimes hídricos.

Fontes de Variação	GL	Quadrados médios				
		DIAM	ALT	AF	MS	NF
Tratamento	9	7,02.10 ^{-1**}	62,73**	5216,79**	3,43**	15,12**
Clone (CL)	4	1,53**	137,89**	9277,40**	5,61**	17,30**
Estresse (ES)	1	1,63.10 ^{-1**}	2,15 ^{ns}	7053,54**	5,03**	56,80**
CL x ES	4	1,00.10 ^{-1ns}	2,71 ^{ns}	696,98 ^{ns}	8,52.10 ^{-1ns}	2,52 ^{ns}
ES/CL1	1	5,38.10 ^{-2ns}	1,35.10 ^{-1ns}	1010,93 ^{ns}	9,68.10 ^{-2ns}	23,35**
ES/CL2	1	5,28.10 ^{-2ns}	1,43 ^{ns}	456,17 ^{ns}	2,15.10 ^{-1ns}	18,00**
ES/CL3	1	4,88.10 ^{-6ns}	4,39.10 ^{-3ns}	75,34 ^{ns}	5,57.10 ^{-1ns}	5,00.10 ^{-1ns}
ES/CL4	1	4,58.10 ^{-2ns}	10,84*	2446,50 ^{ns}	7,94.10 ^{-1ns}	13,35**
ES/CL5	1	5,08.10 ^{-2ns}	5,98.10 ^{-1ns}	5852,54**	6,77**	11,68**
CL/ES1	4	8,44.10 ^{-1**}	87,44**	4399,86**	3,87**	8,46**
CL/ES2	4	6,95.10 ^{-1**}	53,16**	5574,53**	2,59**	11,35**
Resíduo	30	1,97.10 ⁻²	2,59	726,74	4,83.10 ⁻¹	1,27
CV(%)		3,77	3,97	16,98	14,18	12,75

CL1 = Clone 0063; CL2 = Clone 0321; CL3 = Clone 1250; CL4 = Clone 1260; CL5 = Clone 1277.

ES1 = Irrigado; ES2 = Estressado.

* e ** = Significativo, pelo teste F, a 5% e 1% de probabilidade, respectivamente; ns = não significativo.

Quadro 3A – Resumo da análise de variância e do desdobramento para diâmetro (DIAM), altura (ALT), área foliar (AF) e matéria seca (MS) de plantas de cinco clones de eucalipto, aos 45 dias após o transplante em tubos de PVC, após serem submetidas a diferentes regimes hídricos em tubetes.

Fontes de Variação	GL	Quadrados médios			
		DIAM	ALT	AF	MS
Tratamento	9	1,61**	122,66**	230052,00*	73,24**
Clone (CL)	4	2,42**	167,16**	340630,30*	126,84**
Estresse (ES)	1	2,92*	324,90**	447094,10*	117,12*
CL x ES	4	4,65.10 ^{-1ns}	27,59 ^{ns}	65213,11 ^{ns}	8,68 ^{ns}
ES/CL1	1	6,61.10 ^{-1ns}	72,00 ^{ns}	312627,00 ^{ns}	45,41 ^{ns}
ES/CL2	1	2,00 ^{ns}	136,13*	25912,26 ^{ns}	27,12 ^{ns}
ES/CL3	1	1,13.10 ^{-2ns}	4,50 ^{ns}	2627,66 ^{ns}	4,08.10 ^{-1ns}
ES/CL4	1	2,10 ^{ns}	210,13**	348445,5 ^{ns}	67,22 ^{ns}
ES/CL5	1	1,25.10 ^{-3ns}	12,50 ^{ns}	18634,15 ^{ns}	11,66 ^{ns}
CL/ES1	4	1,76*	158,93**	310028,20*	88,14*
CL/ES2	4	1,12 ^{ns}	35,83 ^{ns}	95815,22 ^{ns}	47,38 ^{ns}
Resíduo	30	5,17.10 ⁻¹	27,57	96587,88	21,47
CV(%)		11,62	9,10	27,29	26,92

CL1 = Clone 0063; CL2 = Clone 0321; CL3 = Clone 1250; CL4 = Clone 1260; CL5 = Clone 1277.

ES1 = Irrigado; ES2 = Estressado.

* e ** = Significativo, pelo teste F, a 5% e 1% de probabilidade, respectivamente; ns = não significativo.

Quadro 4A – Resumo da análise de variância e do desdobramento para diâmetro (DIAM), altura (ALT), área foliar (AF), matéria seca (MS) e número de folhas (NF) de plantas de cinco clones de eucalipto, aos 80 dias após o transplante em tubos de PVC, após serem submetidas a diferentes regimes hídricos em tubetes.

Fontes de Variação	GL	Quadrados médios			
		DIAM	ALT	AF	MS
Tratamento	9	4,24**	64,4 ^{ns}	1540449,00**	371,28**
Clone (CL)	4	6,86**	110,59*	3100819,00**	738,00**
Estresse (ES)	1	2,05 ^{ns}	52,90 ^{ns}	617771,00 ^{ns}	140,66 ^{ns}
CL x ES	4	2,16 ^{ns}	21,09 ^{ns}	210749,70 ^{ns}	62,21 ^{ns}
ES/CL1	1	2,15 ^{ns}	2,00 ^{ns}	709836,10 ^{ns}	295,28 ^{ns}
ES/CL2	1	1,13.10 ^{-1ns}	128 ^{ns}	7320,80 ^{ns}	1,13 ^{ns}
ES/CL3	1	1,67 ^{ns}	1,13 ^{ns}	18050,00 ^{ns}	2,83.10 ^{-2ns}
ES/CL4	1	6,75*	6,13 ^{ns}	711028,10 ^{ns}	90,99 ^{ns}
ES/CL5	1	7,81.10 ^{-3ns}	0,00 ^{ns}	14535,12 ^{ns}	2,06 ^{ns}
CL/ES1	4	7,27**	50,80 ^{ns}	2289719,00**	520,53**
CL/ES2	4	1,74 ^{ns}	80,87 ^{ns}	1021849,00 ^{ns}	279,69 ^{ns}
Resíduo	30	1,23	40,53	381863,40	120,17
CV(%)		10,05	8,55	21,48	19,62

CL1 = Clone 0063; CL2 = Clone 0321; CL3 = Clone 1250; CL4 = Clone 1260; CL5 = Clone 1277.

ES1 = Irrigado; ES2 = Estressado.

* e ** = Significativo, pelo teste F, a 5% e 1% de probabilidade, respectivamente; ns = não significativo.

Quadro 5A – Resumo da análise de variância e do desdobramento para diâmetro (DIAM), altura (ALT), área foliar (AF), matéria seca (MS) e número de folhas (NF) de plantas de cinco clones de eucalipto, crescendo em tubos de PVC sob diferentes regimes hídricos.

Fontes de Variação	GL	Quadrados médios				
		DIAM	ALT	AF	MS	NF
Tratamento	14	8,49.10 ^{-2**}	263,55**	4678509,00**	1926,45**	8979,20**
Clone (CL)	4	3,54.10 ^{-2*}	567,93**	3476863,00**	808,48**	10153,94**
Estresse (ES)	2	4,79.10 ^{-1**}	486,12**	22602890,00**	10201,08**	33637,02**
CL x ES	8	1,10.10 ^{-2ns}	55,72 ^{ns}	798234,80**	416,77 ^{ns}	2227,38*
ES/CL1	2	1,30.10 ^{-1**}	144,08 ^{ns}	3959154,00**	2401,46**	4801,05**
ES/CL2	2	1,52.10 ^{-1**}	109,00 ^{ns}	5132422,00**	2078,09**	6175,25**
ES/CL3	2	1,77.10 ^{-2ns}	115,08 ^{ns}	6330912,00**	2414,19**	25737,33**
ES/CL4	2	1,28.10 ^{-1**}	312,25**	1919958,00**	1033,00*	2488,58 ^{ns}
ES/CL5	2	9,50.10 ^{-2**}	28,58 ^{ns}	8453388,00**	3941,44**	3345,33*
CL/ES1	4	4,05.10 ^{-2**}	342,88**	306952,10 ^{ns}	365,34 ^{ns}	8059,50**
CL/ES2	4	6,71.10 ^{-3ns}	74,33 ^{ns}	3335117,00**	634,38*	5001,80**
CL/ES3	4	1,02.10 ^{-2ns}	262,18**	1431264,00**	642,32*	1547,40 ^{ns}
Resíduo	45	9,49.10 ⁻³	45,91	189236,00	208,08	940,46
CV(%)		8,02	8,04	13,05	16,22	17,66

CL1 = Clone 0063; CL2 = Clone 0321; CL3 = Clone 1250; CL4 = Clone 1260; CL5 = Clone 1277.

ES1 = Irrigado; ES2 = Moderado; ES3 = Severo.

* e ** = Significativo, pelo teste F, a 5% e 1% de probabilidade, respectivamente; ns = não significativo.