

JULENICE BONIFÁCIO DE OLIVEIRA ROCHA

**RESILIÊNCIA DE CLONES DE EUCALIPTO
AO DÉFICE HÍDRICO E NUTRICIONAL**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

VIÇOSA
MINAS GERAIS – BRASIL
2013

**Ficha catalográfica preparada pela Seção de Catalogação e Classificação da
Biblioteca Central da UFV**

T

R672r
2013 Rocha, Julenice Bonifácio de Oliveira, 1970-
Resiliência de clones de eucalipto ao déficit hídrico e nutricional /
Julenice Bonifácio de Oliveira Rocha. - Viçosa, MG, 2013.
xiv, 71 f. : il. (algumas color.) ; 29 cm.

Inclui anexo.

Orientador: Júlio César Lima Neves.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Viçosa.

Referências bibliográficas: f. 52-59.

1. Eucalipto - Irrigação. 2. Eucalipto - Nutrição. I. Universidade
Federal de Viçosa. Departamento de Solos. Programa de
Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas. II. Título.

CDD 22. ed. 634.973766

JULENICE BONIFÁCIO DE OLIVEIRA ROCHA

**RESILIÊNCIA DE CLONES DE EUCALIPTO
AO DÉFICE HÍDRICO E NUTRICIONAL**


Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

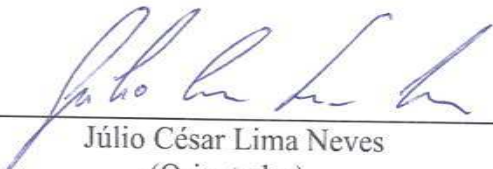
APROVADA: 18 de setembro de 2013.


Lafayette Gonçalves Campelo Martins


Genelício Crusoé Rocha


Wagner Luiz Araújo


Nairam Félix de Barros
(Coorientador)


Júlio César Lima Neves
(Orientador)

AGRADECIMENTOS

A Deus, Senhor e Autor da minha vida.

À Universidade Federal de Viçosa, pela oportunidade de realizar este Curso.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela concessão da bolsa de estudo.

Aos professores Júlio César Lima Neves e Nairam Félix de Barros, pela orientação, pela dedicação e pelo apoio em todos os momentos.

Aos membros da banca de avaliação desta tese, Genelício Crusoé Rocha, Lafayette Gonçalves C. Martins e Wagner Luiz Araujo, pelas valiosas considerações que enriqueceram sobremaneira este trabalho.

Ao professor Victor Hugo V., pelos ensinamentos, pelas sugestões e pelos esclarecimentos durante o desenvolvimento deste trabalho.

Aos pós-doutorandos Carol Muller e Danilo de Menezes Daloso, pela prontidão, pela dedicação e pelas sugestões durante a execução do experimento e das análises.

Aos estagiários Greice e Robson, pelo auxílio tanto na coleta dos dados como nas análises em laboratório.

A todos os funcionários do viveiro Madeira Legal, em especial à Luciene, pela ajuda na implantação, manutenção e coleta dos dados do experimento.

Aos funcionários do DPS, em especial à Luciana e ao Beto.

À minha família: José Carlos, meu marido; Júlia, Aline e Gabriel, meus filhos; e Lair Maria, minha mãe, pelo incentivo, pela paciência e pelo suporte nos momentos difíceis.

BIOGRAFIA

JULENICE BONIFÁCIO DE OLIVEIRA ROCHA, filha de Luiz Bonifácio da Silva e de Lair Maria da Silva, nasceu no município de Ipanema, Minas Gerais, em 1º de agosto de 1970.

Em março de 1989, ingressou no Curso de Agronomia na Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG. Durante o Curso, foi monitora da disciplina Sistemática das Espermatófitas, do Departamento de Botânica da UFV. Gradou-se em agosto de 1994.

Em junho de 2000, foi contratada pela empresa Aracruz Celulose, onde atuou no programa de Fomento Florestal até julho de 2003.

Em maio de 2006, iniciou o Curso, em nível de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas, vinculado ao Departamento de Solos da Universidade Federal de Viçosa, defendendo a dissertação no dia 30 de maio de 2008.

Em agosto de 2009, também nesta mesma Instituição e no mesmo Programa, iniciou o Curso, em nível de Doutorado, concentrando seus estudos na área de Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas, com defesa da tese em 18 de setembro de 2013.

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS	vi
LISTA DE QUADROS	vii
LISTA DE FIGURAS	viii
RESUMO	xi
ABSTRACT	xiii
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	3
3. HIPÓTESES	8
4. OBJETIVOS	9
5. MATERIAL E MÉTODOS	10
5.1. Condições de crescimento e descrição dos tratamentos	10
5.2. Variáveis avaliadas e período de avaliação	16
5.2.1. Crescimento	17
5.2.2. Matéria seca	17
5.2.3. Potencial hídrico foliar	17
5.2.4. Trocas gasosas	18
5.2.5. Florescência da clorofila <i>a</i>	18
5.2.6. Concentração de açúcares solúveis	19
5.2.7. Teores e conteúdo de nutrientes	20
5.2.8. Delineamento experimental e análise estatística	20
6. RESULTADOS	21
6.1. Crescimento em altura e diâmetro	21
6.2. Produção de matéria seca	23
6.3. Potencial hídrico foliar	25
6.4. Trocas gasosas	27
6.5. Fluorescência da clorofila <i>a</i>	33
6.6. Teores de açúcares	37
6.7. Teor de amido	39
6.8. Teores de nutrientes na folha	39
6.9. Conteúdo de nutrientes nas plantas	44
7. DISCUSSÃO	46
8. CONCLUSÕES	51
REFERÊNCIAS	52

APÊNDICE A.....	60
-----------------	----

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Análise química do solo	12
Tabela 2 - Análise granulométrica e classificação textural do solo.....	12
Tabela 3 - Descrição dos tratamentos	15
Tabela 4 - Altura, diâmetro e volume de caule dos clones GG100, I-144 e 1528, aos 4 e 10 meses, sem ou com estresse hídrico, e, ou, sem ou com 2 e 4 meses de atraso da adubação	23
Tabela 5 - Massa de matéria seca de folha, galhos, casca, caule e raízes fina e grossa da parte aérea e da raiz e total dos clones GG100, I-144 e 1528, com 10 meses de idade, nos tratamentos estudados	25

LISTA DE QUADROS

Quadro 1A - Média e EP do conteúdo de N, P e K em diferentes partes e total das plantas aos 10 meses	66
Quadro 2A - Média e EP do conteúdo de Ca, Mg e S em diferentes partes e total das plantas aos 10 meses	67
Quadro 3A - Média e EP do conteúdo de Cu, Mn e B em diferentes partes e total das plantas aos 10 meses	68
Quadro 4A - Análise de variância da altura (A), diâmetro (D), potencial hídrico foliar (Ψ_w), umidade do substrato (θ), teores foliares de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), enxofre (S), cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn) e boro (B) em três clones de eucalipto (GG100, I-144 e 1528), expostos a diferentes regimes hídricos (EH) e épocas de adubação (ENUT), aos 2, 4, 6 e 10 meses após o plantio. *significativo a 5% e **significativo a 1% pelo teste F	69
Quadro 5A - Análise de variância de trocas gasosas: fotossíntese (A), condutância estomática (g_s), relação carbono interno:carbono externo (Ci/Ca), transpiração (E), eficiência no uso de água (E/A), taxa transportadora de elétrons (ETR), coeficiente de extinção fotoquímico (qL), Y(II)- rendimento quântico efetivo do Fotossistema II, Y(NPQ) - rendimento quântico de dissipação de energia regulada no Fotossistema II e Y(NO) - rendimento quântico de dissipação de energia não regulada no Fotossistema II; e açúcares solúveis: glicose, sacarose e frutose, em três clones de eucalipto expostos a diferentes regimes hídricos (EH) e épocas de adubação (ENUT), aos 2, 4, 6 e 10 meses após o plantio. *significativo a 5% e **significativo a 1% pelo teste F.....	70
Quadro 6A - Análise de variância da matéria seca de folhas, galho, casca, caule, raízes fina e grossa, total, parte aérea e radicular das plantas em três clones de eucalipto (GG100, I-144 e 1528) expostos a diferentes regimes hídricos, sem ou com estresse hídrico até 4 meses após o plantio (EH), e 0, 2 ou 4 meses de atraso da adubação, após o plantio (ENUT). Análise realizada aos 10 meses	71
Quadro 7A - Análise de variância do conteúdo total de nutrientes nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), enxofre (S), cobre (Cu), manganês (Mn) e boro (B) nas plantas em três clones de eucalipto (GG100, I-144 e 1528) expostos a diferentes regimes hídricos, sem ou com estresse hídrico até 4 meses após o plantio (EH), e 0, 2 ou 4 meses de atraso da adubação, após o plantio (ENUT). Análise realizada aos 10 meses.....	71

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 - (a) Valores mensais de precipitação (mm); médias das temperaturas máximas ($T_{\text{máx}}$), médias ($T_{\text{méd}}$) e mínimas (T_{min}) ($^{\circ}\text{C}$) diárias do ar; umidade relativa máxima ($UR_{\text{máx}}$), média ($UR_{\text{méd}}$) e mínima (UR_{min}) (%) diárias do ar; velocidade do vento (m s^{-1}); radiação solar ($\text{Mj m}^{-2} \text{d}^{-1}$); e evapotranspiração potencial (ET_o) mensais, durante a condução do experimento (mar./2012 a dez./2012); (b) déficit de pressão de vapor ao longo do dia para os dias de medição aos 2, 4, 6 e 10 meses. 11
- Figura 2 - Curva de retenção de água do solo..... 13
- Figura 3 - Crescimento em altura (cm) dos clones GG100 (A), I-144 (B) e 1528 (C), aos 2, 4, 6 e 10 meses após o plantio, influenciado pelos tratamentos: sDH - controle (sem déficit hídrico e sem atraso da adubação), DH4 - déficit hídrico de 4 meses e sem atraso da adubação, At2- sem déficit hídrico e atraso de 2 meses da adubação, At2DH4 - déficit hídrico de 4 meses e atraso de 2 meses da adubação, At4 - sem déficit hídrico e atraso de 4 meses da adubação e At4DH4 - déficit hídrico e atraso da adubação até 4 meses, após o plantio. 22
- Figura 4 - Umidade do solo - Θ ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$) e potencial hídrico foliar - Ψ_w (MPa) aos 2 (A), 4 (B), 6 (C) e 10 (D) meses, após o plantio das mudas dos 3 clones de eucalipto (GG100, I-144 e 1528). sDH- controle (sem déficit hídrico e sem atraso da adubação), DH4 - déficit hídrico de 4 meses e sem atraso da adubação, At2 - sem déficit hídrico e atraso de 2 meses da adubação, At2DH4 - déficit hídrico de 4 meses e atraso de 2 meses da adubação, At4 - sem déficit hídrico e atraso de 4 meses da adubação e At4DH4- atraso da adubação e déficit hídrico até 4 meses, após o plantio. Os valores dos tratamentos At4 e At4DH4 aos 2 meses (Figura 4a) correspondem aos mesmos dos tratamentos At2 e At2DH4, respectivamente. Barras representam médias \pm EP..... 27
- Figura 5 - Fotossíntese líquida (A), condutância estomática (g_s), relação da concentração interna e externa de CO_2 (C_i/C_a) e transpiração de água (E) aos dois (A-D) e quatro (E-H) meses após o plantio das mudas dos três clones (GG100, I-144 e 1528). sDH- sem déficit hídrico e sem atraso da adubação, DH4- déficit hídrico até quatro meses sem atraso da adubação, At2- atraso da adubação de dois meses sem déficit hídrico, At2DH4- atraso da adubação de dois meses e déficit hídrico até quatro meses, At4- atraso da adubação de quatro meses sem déficit hídrico e At4DH4- atraso da adubação e déficit hídrico até quatro meses, após o plantio. Os valores dos tratamentos At4 e At4DH4 aos dois meses (Figura 5a-d) correspondem aos mesmos dos tratamentos At2 e At2DH4, respectivamente. Barras representam médias \pm EP..... 29
- Figura 6 - Fotossíntese líquida (A), condutância estomática (g_s), relação da concentração interna e externa de CO_2 (C_i/C_a) e transpiração de água (E) aos 6 (A-D) e 10 (E-H) meses após o plantio das mudas dos três clones (GG100, I-144 e 1528). sDH - sem déficit hídrico e sem atraso da adubação, DH4 - déficit hídrico até quatro meses sem atraso da adubação, At2 - atraso da adubação de dois meses sem déficit hídrico, At2DH4 - atraso na adubação de 2 meses e déficit hídrico até 4 meses, At4 - atraso da adubação de 4 meses sem déficit hídrico e At4DH4 - atraso da adubação e déficit hídrico até 4 meses, após o plantio. Barras representam médias \pm EP..... 31
- Figura 7 - Eficiência do uso de água (A/E) aos 2(A), 4(B), 6(C) e 10 (D) meses após o plantio das mudas dos 3 clones (GG100, I-144 e 1528). sDH - sem déficit hídrico e sem atraso da adubação, DH4 - déficit hídrico até 4 meses sem atraso da adubação, At2 -

atraso da adubação de 2 meses sem déficit hídrico, At2DH4 - atraso da adubação de 2 meses e déficit hídrico até 4 meses, At4 - atraso da adubação de 4 meses sem déficit hídrico e At4DH4 - atraso da adubação e déficit hídrico até 4 meses, após o plantio. Os valores dos tratamentos At4 e At4DH4 aos 2 meses (Fig 7A-D) correspondem aos mesmos dos tratamentos At2 e At2DH4, respectivamente. Barras representam médias \pm EP..... 32

Figura 8 - Valores de Y(II)- rendimento quântico efetivo do Fotossistema II, Y(NPQ)-rendimento quântico de dissipação de energia regulada no Fotossistema II e Y(NO)-rendimento quântico de dissipação de energia não regulada no Fotossistema II, aos 2 (A-C), 4 (D-F), 6 (G-I) e 10 (J-M) meses após o plantio das mudas de 3 clones de eucalipto (GG100, I-144 e 1528). sDH - sem déficit hídrico e sem atraso da adubação, DH4- déficit hídrico até 4 meses sem atraso da adubação, At2- atraso da adubação de 2 meses sem déficit hídrico, At2DH4 - atraso da adubação de 2 meses e déficit hídrico até 4 meses, At4- atraso da adubação de 4 meses sem déficit hídrico e At4DH4- atraso da adubação e do déficit hídrico até 4 meses, após o plantio. Os valores dos tratamentos At4 e At4DH4 aos 2 meses (Figura 8a-c) correspondem aos mesmos dos tratamentos At2 e At2DH4, respectivamente. Barras representam médias \pm EP..... 34

Figura 9 - Taxa de transporte de elétrons (ETR) e coeficiente de extinção fotoquímico (qL), aos 2 (A e B), 4 (C e D), 6 (E e F) e 10 (G e H) meses após o plantio das mudas de 3 clones de eucalipto (GG100, I-144 e 1528). sDH - sem déficit hídrico e sem atraso da adubação, DH4 - déficit hídrico até 4 meses sem atraso da adubação, At2 - atraso da adubação de 2 meses sem déficit hídrico, At2DH4 - atraso da adubação de 2 meses e déficit hídrico até 4 meses, At4 - atraso da adubação de 4 meses sem déficit hídrico e At4DH4 - atraso da adubação de 4 meses e déficit hídrico até 4 meses, após o plantio. Os valores dos tratamentos At4 e At4DH4 aos 2 meses (Figura 9a-c) correspondem aos mesmos dos tratamentos At2 e At2DH4, respectivamente. Barras representam médias \pm EP..... 36

Figura 10 - Concentração de açúcares solúveis: glicose, sacarose e frutose (mmol kg^{-1} de matéria seca), aos 2 (A-C), 4 (D-F), 6 (G-I) e 10 (J-M) meses após o plantio das mudas de 3 clones de eucalipto (GG100, I-144 e 1528). sDH - sem déficit hídrico e sem atraso da adubação, DH4 - déficit hídrico até 4 meses sem atraso da adubação, At2- atraso da adubação de dois meses sem déficit hídrico, At2DH4 - atraso da adubação de 2 meses e déficit hídrico até 4 meses, At4 - atraso da adubação de 4 meses sem déficit hídrico e At4DH4 - atraso da adubação e déficit hídrico até 4 meses, após o plantio. Os valores dos tratamentos At4 e At4DH4 aos 2 meses (Figura 10a-c) correspondem aos mesmos dos tratamentos At2 e At2DH4, respectivamente. Barras representam médias \pm EP..... 38

Figura 11 - Concentração de amido aos 2 (A) e 10 (B) meses após o plantio das mudas de 3 clones de eucalipto (GG100, I-144 e 1528). sDH- sem déficit hídrico e sem atraso da adubação, DH4- déficit hídrico até 4 meses sem atraso da adubação, At4- atraso da adubação de 4 meses sem déficit hídrico e At4DH4- atraso da adubação e déficit hídrico até 4 meses, após o plantio. Barras representam médias \pm EP. 39

Figura 12 - Teores de N (A-GG100, B-I-144 e C-1528), P (D-GG100, E-I-144 e F-1528) e K (G-GG100, H-I-144 e I-1528) aos 2, 4, 6 e 10 meses, nos diferentes tratamentos: sDH - sem déficit hídrico e sem atraso da adubação, DH4 - déficit hídrico até 4 meses sem atraso da adubação, At2 - atraso da adubação de 2 meses sem déficit hídrico, At2DH4 - atraso da adubação de 2 meses e déficit hídrico até quatro meses,

At4 - atraso da adubação de 4 meses sem déficit hídrico e At4DH4 - atraso da adubação e déficit hídrico até 4 meses, após o plantio.....	41
Figura 13 - Teores de Ca (A-GG100, B-I-144 e C-1528), Mg (D-GG100, E-I-144 e F-1528) e S (G-GG100, H-I-144 e I-1528) aos 2, 4, 6 e 10 meses, nos diferentes tratamentos: sDH - sem déficit hídrico e sem atraso da adubação, DH4 - déficit hídrico até 4 meses sem atraso da adubação, At2 - atraso da adubação de 2 meses sem déficit hídrico, At2DH4 - atraso da adubação de 2 meses e déficit hídrico até 4 meses, At4 - atraso da adubação de 4 meses sem déficit hídrico e At4DH4 - atraso da adubação e déficit hídrico até 4 meses, após o plantio.	42
Figura 14 - Teores de Cu (A-GG100, B-I-144 e C-1528), Mn (D-GG100, E-I-144 e F-1528) e B (G-GG100, H-I-144 e I-1528) aos 2, 4, 6 e 10 meses, nos diferentes tratamentos: sDH- sem déficit hídrico e sem atraso da adubação, DH4- déficit hídrico até 4 meses sem atraso da adubação, At2- atraso da adubação de 2 meses sem déficit hídrico, At2DH4- atraso da adubação de 2 meses e déficit hídrico até 4 meses, At4- atraso da adubação de 4 de meses sem déficit hídrico e At4DH4- atraso da adubação e déficit hídrico até 4 meses, após o plantio.	43
Figura 15 - Conteúdo de N (A-C), P (D-F) e K(G-I) nas diferentes partes das plantas (folhas, galhos, casca, caule, raízes fina e grossa e total) dos clones de eucalipto (GG100 A, D e G, I-144 B, E e H, 1528 C, F e I), crescendo em condições adequadas de nutrientes, sem estresse hídrico sDH (controle) e com estresse hídrico (DH4) até quatro meses. Atraso da adubação de dois e quatro meses, sem estresse hídrico (At2 e At4) e com estresse hídrico (At2DH4 e At4DH4), respectivamente. DMS refere-se ao conteúdo total do nutriente na planta.....	44
Figura 16 - Conteúdo de Ca (A-C), Mg (D-F) e S(G-I) nas diferentes partes das plantas (folhas, galhos, casca, caule, raízes fina, grossa e total) dos clones de eucalipto (GG100 A, D e G, I-144 B, E e H, 1528 C, F e I), crescendo em condições adequadas de nutrientes, sem estresse hídrico sDH (Controle) e com estresse hídrico (DH4) até quatro meses. Atraso da adubação de dois e quatro meses, sem estresse hídrico (At2 e At4) e com estresse hídrico (At2DH4 e At4DH4), respectivamente. DMS refere-se ao conteúdo total do nutriente na planta.....	45

RESUMO

ROCHA, Julenice Bonifácio de Oliveira, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, setembro de 2013. **Resiliência de clones de eucalipto ao déficit hídrico e nutricional.** Orientador: Júlio César Lima Neves. Coorientador: Nairam Félix de Barros.

A expansão de plantios de eucalipto vem ocorrendo principalmente em áreas de cerrado, devido, entre outros fatores, ao custo relativamente baixo dessas terras e às condições físicas do solo favoráveis ao estabelecimento desses plantios. No entanto, as restrições hídricas e nutricionais reduzem a produção florestal nessas áreas. Dessa forma, uma questão crucial é a magnitude da recuperação do crescimento (resiliência) se a limitação hídrica e, ou, nutricional forem sanadas. A limitação hídrica observada, geralmente nos meses de inverno, causa menor crescimento inicial de plantios realizados nesse período. No entanto, adequado *status* nutricional e hídrico do plantio é necessário para que o potencial produtivo do sítio seja atingido. Por isso, na maioria dos plantios realizados nessas áreas, cujos solos são altamente intemperizados e profundos, e, por consequência, pobres em nutrientes, há necessidade de se fazer a correção da fertilidade, antes e, ou, imediatamente após o plantio. Para plantios feitos em época de seca, nem todos nutrientes são supridos imediatamente, em razão da baixa umidade do solo para dissolução e transporte desses até a superfície das raízes. Assim, há de se indagar se a aplicação tardia da adubação de plantio e de cobertura permitiria a expressão máxima da capacidade produtiva do sítio. Este trabalho visou verificar a resiliência de plantios jovens de clones de eucalipto frente a situações de atraso na adubação e de restrição hídrica e avaliar os possíveis mecanismos envolvidos na recuperação do crescimento e qual é a taxa deles depois de sanadas as condições de restrição. Para isso, foi conduzido um experimento com três clones (GG100, I-144 e 1528) durante 10 meses, no município de Taparuba, MG. As mudas, com cerca de 90 dias de idade, foram transplantadas para tambores de plástico de diâmetro de 60 cm e altura de 90 cm. Foram utilizados como substrato porções de um Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico, com classificação textural franco-argiloarenosa. A parte superficial dos tambores foi vedada com lona plástica e fita adesiva, a fim de evitar a entrada de água de chuvas e possibilitar a aplicação dos tratamentos. Imediatamente após o plantio, foi adicionada a cada recipiente quantidade de água suficiente para elevar e manter a umidade próxima à

capacidade de campo, durante um mês. Após esse período, foi reduzida a aplicação de água nos tratamentos com estresse hídrico, até o solo ficar com a umidade próxima à tensão de 1.500 kPa; e os tratamentos sem estresse hídrico, inicial ou durante todo período do experimento, foram mantidos com umidade próxima à tensão 10 kPa. Os tratamentos constituíram-se: sDH- sem atraso na adubação e sem déficit hídrico; DH4- sem atraso na adubação e com déficit hídrico até o quarto mês após o plantio; At2 - com atraso na adubação até dois meses e sem déficit hídrico; At2DH4- com atraso na adubação até dois meses e com déficit hídrico até quatro meses após o plantio; At4 - com atraso na adubação até quatro meses e sem déficit hídrico; e At4DH4- com atraso na adubação e com déficit hídrico até quatro meses após o plantio. Utilizou-se o delineamento inteiramente casualizado, com os tratamentos em esquema fatorial 3 x 3 x 2 e quatro repetições. Periodicamente, avaliaram-se: sobrevivência, altura das plantas, diâmetro de coleto, teores de nutrientes na folha, fotossíntese líquida (A), condutância estomática (g_s), transpiração (E), C_i/C_a , fluorescência da clorofila a , potencial hídrico foliar e concentração de açúcares solúveis. No final do experimento, também foram avaliados o conteúdo de nutrientes e a matéria seca de folhas, caule e raízes. Os défices hídrico e, ou, nutricional reduziram o crescimento das plantas, e o suprimento adequado de água e nutriente promoveu a recuperação do crescimento, em magnitudes variáveis com o clone. A redução da g_s que minimiza perda d'água; o aumento dos valores de rendimento quântico da dissipação de energia regulada no fotossistema II, para dissipar o excesso de energia luminosa absorvida; e o acúmulo de açúcares, que confere osmoproteção às plantas, foram os mecanismos relacionados à tolerância e resiliência ao estresse hídrico. Após o ressuprimento das condições adequadas de água e nutriente no solo, foi verificada a rápida retomada da taxa de fotossíntese e absorção de nutrientes pelas plantas.

ABSTRACT

ROCHA, Julenice Bonifácio de Oliveira, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, September, 2013. **Resilience of eucalyptus clones under water and nutritional deficit.** Adviser: Júlio César Lima Neves. Co-adviser: Nairam Félix de Barros.

Eucalyptus plantations have been expanding mainly in cerrado areas, as a result, among other factors, of the relatively low cost of these lands and favorable physical conditions of the soil. However, water and nutritional restrictions reduce forest production in these areas. Thus, a crucial question arises: what would the magnitude of growth recovery (resilience) be if water and nutritional limitations were solved? .Generally observed during the winter months, water limitation causes lower initial growth of the planting performed during this period. However, adequate nutritional and water status of the planting is necessary for the productive potential of the area to be attained. That explains why in most of these areas, characterized by highly weathered and deep soils, and consequently, poor in nutrients, fertility correction is needed before and, or immediately after planting. For plantings conducted during periods of drought, not all the nutrients are supplied immediately, due to the low humidity of the soil that hinders dissolution and transport of these nutrients up to the surface of the roots. Thus, it is questioned whether late planting and cover fertilization application would allow the maximum expression of the yielding capacity of the area. This work aimed to verify the resilience of young eucalyptus clone plantations under late fertilization and water restriction situations and to evaluate the possible mechanisms involved in growth recovery, and their rates after these restriction conditions are overcome. Thus, an experiment using three clones (GG100, I-144 and 1528) was carried out during 10 months in Taparuba, MG. Approximately 90-day-old seedlings were transplanted into 60 cm diameter and 90 cm high plastic recipients. Portions of a dystrophic Red Yellow Latosol with sandy clay loam texture were used. The surface of the recipients was covered with a plastic sheet and tape to prevent rain from falling in and allow treatment application. Immediately after planting, an amount of water sufficient to increase and maintain humidity next to field capacity was added to each recipient, during one month. After this period, the application of water was reduced in the water- stressed treatments, until the soil reached humidity near tension of 1.500 kPa; the treatments without water

stress, initially, or throughout the experiment, were maintained at humidity close to tension 10 kPa. The treatments were constituted as follows: sDH - without fertilization delay and without water deficit; DH4 - without fertilization delay and with water deficit up to the fourth month after planting; At2 - with fertilization delay up to two months and without water deficit; At2DH4 - with fertilization delay up two months and with water deficit up to 4 months after planting; At4 - with fertilization delay up to 4 months and without water deficit; and At4DH4 - with fertilization delay and water deficit up to 4 months after planting. The experiment was arranged in a completely randomized design, in a factorial scheme 3 x 3 x 2, and four repetitions. Survival, plant height, stem diameter, leaf nutrient contents, liquid photosynthesis (A), stomata conductance (g_s), transpiration (E), C_i/C_a , a chlorophyll, fluorescence, leaf water potential, and soluble sugar concentration were periodically evaluated. At the end of the experiment, nutrient content as well as leaf, stem, and root dry matter were evaluated. Water and/or nutritional deficits reduced the growth of the plants and an adequate supply of water and nutrients promoted growth recovery at magnitudes variable with the clone. The mechanisms related to tolerance and resilience to water stress were. The g_s reduction, which minimizes water loss; increase in quantic yield values of regulated energy dissipation in photo-system II to dissipate the excess of luminous energy absorbed; and accumulation of sugars, which confers osmo-protection to the plants. After re-supplying adequate water and nutrient conditions to soil, a rapid increase of the photosynthesis rate and nutrient absorption by the plants was verified.

1. INTRODUÇÃO

A expansão de plantios de eucalipto vem ocorrendo principalmente em áreas de cerrado, onde a sazonalidade da disponibilidade de água e de nutrientes induz pulsos de crescimento. Por isso, torna-se importante entender e identificar a magnitude da recuperação do crescimento (resiliência) de genótipos de eucalipto sob limitação periódica desses dois fatores.

A limitação hídrica observada na região central do Brasil, geralmente nos meses de inverno, pode reduzir o crescimento inicial de plantios realizados nesse período. No entanto, mediante observações de campo e análises de dados de plantios de eucalipto na região litorânea do Espírito Santo e sul da Bahia, constatou-se que plantios realizados no período chuvoso ou seco não se diferenciaram quanto ao crescimento aos 12 meses de idade (ROCHA, 2008), indicando haver alta resiliência de plantas ao déficit hídrico.

Plantas cultivadas sob condições adequadas de suprimento hídrico são, normalmente, menos resistentes ao déficit hídrico. Isso se deve ao fato de que, quando submetidas a um déficit hídrico rápido, mecanismos morfofisiológicos são severamente afetados, pois a planta não é capaz de se aclimatar às novas condições de estresse. Entretanto, quando o déficit hídrico ocorre gradualmente e, ou, no início do ciclo de crescimento, a aclimação das plantas ocorre mais facilmente (SANTOS; CARLESSO, 1998). A tolerância ao déficit hídrico é importante estratégia de resistência para manter o crescimento e a produção em condições de baixa disponibilidade de água. Por isso, torna-se importante entender como os fatores morfológicos e fisiológicos influenciam a habilidade de as plantas aclimatarem-se a situações de déficit hídrico, de modo a selecionar genótipos que mantenham a capacidade produtiva em áreas com limitação hídrica.

O adequado *status* nutricional do plantio é indispensável para que elevadas produtividade sejam atingidas. Por isso, na maioria dos plantios realizados nas áreas de cerrado, cujos solos são pobres em nutrientes, há a necessidade de se fazer a correção da fertilidade, antes e, ou, imediatamente após o plantio. Para plantios feitos em épocas secas, nem todos nutrientes são absorvidos imediatamente pelas plantas, em razão da baixa umidade do solo para dissolução dos fertilizantes e do transporte dos nutrientes até a superfície das raízes. Assim, há de se indagar se a adubação tardia de plantio (principalmente fósforo) e de cobertura permitiria recuperar a capacidade produtiva

possível do sítio ao final da rotação. A combinação temporária das duas restrições, ou seja, de água e de nutrientes, provavelmente terá efeitos mais deletérios à produção final dos povoamentos.

A despeito da possibilidade de perda de produção devido à restrição desses dois fatores de crescimento, empresas que plantam extensas áreas anualmente não têm outra opção que não efetuar plantios em todas as épocas do ano, seca ou chuvosa. Diante dessa realidade, este trabalho visou verificar a resiliência de clones de eucalipto frente à situação de atraso na adubação e de restrição hídrica em plantios jovens e avaliar os possíveis mecanismos fisiológicos responsáveis pela recuperação das plantas.

2. REVISÃO DE LITERATURA

Em condições naturais e agricultáveis, as plantas estão frequentemente expostas a estresses ambientais. Estima-se que, devido ao estresse resultante de condições climáticas e edáficas subótimas, a produtividade de lavouras nos Estados Unidos atinja apenas 22% da produtividade potencial genética (BOYER, 1982; TAIZ; ZEIGER, 2009). No Brasil, uma porção considerável dos plantios de eucalipto está localizada em regiões sujeitas a períodos secos, mais ou menos prolongados, e, normalmente, em solos de baixa fertilidade (BARROS et al., 1981; GONÇALVES et al., 1996).

Os efeitos de fatores estressantes, de modo geral, são expressos pela redução da taxa de sobrevivência, de crescimento e da produtividade dos plantios (FERREIRA; MILANI, 2002), que refletem o comprometimento de processos assimilatórios primários, como a absorção de CO₂ e de nutrientes minerais (TAIZ; ZEIGER, 2009). Assim, o entendimento da base fisiológica da produtividade e de como os vários fatores influenciam a fisiologia das árvores é importante para o manejo de plantas expostas aos estresses abióticos (TAIZ; ZEIGER, 2009), visando a manutenção do crescimento, desenvolvimento e o sucesso dos plantios (TEIXEIRA et al., 2006).

Entre os estresses abióticos, o déficit hídrico influencia características das plantas, incluindo anatomia, morfologia, fisiologia e bioquímica (KRAMER, 1983), reduzindo o crescimento. Em clones de eucalipto, foi observado que a disponibilidade de água foi o fator que mais influenciou a produção de matéria seca (NUNES, 2010).

Segundo Santos e Carlesso (1998), plantas crescidas em condições de disponibilidade hídrica elevada normalmente apresentam menos resistência a situações de déficit hídrico; já as submetidas ao déficit hídrico gradual ou à deficiência de água no solo no início do ciclo delas, têm sua aclimação mais facilmente. A tolerância da planta ao déficit hídrico é um importante mecanismo de resistência para manutenção do processo produtivo em condições de baixa disponibilidade de água.

Durante condição de déficit hídrico, diversos ajustamentos fisiológicos determinam as respostas adaptativas da planta tanto de ordem anatômica como morfológica (LEVITT, 1980). Porém, essas respostas sofrem variações de acordo com a espécie, o cultivar, o estado de desenvolvimento das plantas, a duração e a intensidade do déficit hídrico. Segundo esse autor, as plantas resistem a períodos de déficit hídrico acionando mecanismos que reduzem a perda de água. A baixa disponibilidade hídrica

afeta o crescimento das plantas pelo fechamento dos estômatos, que, no entanto, mantém o *status* hídrico favorável nos tecidos por maior período de tempo, sendo uma das primeiras respostas à condição de seca (LARCHER, 2000). O fechamento estomático reduz a concentração de CO₂ nos locais de carboxilação, e deficiências do metabolismo mesófilo ocasionam reduções fotossintéticas (WARREN et al., 2011). Essas alterações, em geral, diminuem a produção de matéria seca, promovendo redução da produtividade (OLIVA et al., 1989; LARCHER, 2000).

A limitação hídrica ocasiona redução na turgescência das plantas. Quando a turgescência começa a diminuir são iniciadas medidas osmorregulatórias. A combinação de síntese de compostos orgânicos nitrogenados e a conversão de amido para carboidratos solúveis ocasionam o acúmulo de substâncias orgânicas de baixo peso molecular nos compartimentos celulares e no citosol, promovendo o influxo de água. Essas medidas ajudam na manutenção do volume celular e, assim, retardam a perda de turgescência no mesófilo e nas células-guarda (TAIZ; ZEIGER, 2009), mantendo maior abertura estomática e assimilação de CO₂. Além disso, esse mecanismo protege as estruturas e funções celulares (HAZEGAWA et al., 2000).

Diferentes processos fisiológicos podem estar envolvidos na mitigação dos efeitos da restrição hídrica, como ajustamento osmótico, maior relação raiz:parte aérea, menor condutância estomática, entre outros. O fechamento dos estômatos pode favorecer a manutenção da hidratação dos tecidos, mas pode reduzir a produtividade. Contudo, há genótipos que permitem abertura parcial dos estômatos, evitando perda excessiva de água, mas mantendo a concentração interna de CO₂ e, conseqüentemente, a taxa fotossintética. A combinação desses mecanismos confere maior eficiência de utilização de água (EUA) (CONDON et al., 2004). Assim, plantas com maior EUA apresentam menor requerimento de água por unidade de matéria seca produzida (NUNES, 2010).

A capacidade de ajuste osmótico, como característica de tolerância ao estresse hídrico em espécies de eucalipto, tem sido estudada por diversos autores (MYERS; NEALES, 1986; LEMCOFF et al., 1994; MERCHANT et al., 2007). De acordo com a intensidade do déficit hídrico, as plantas podem se adaptar a essa condição, mantendo o conteúdo de água nos tecidos acima de valores críticos para danos celulares (MYERS; NEALES, 1986). Essa capacidade de ajuste por diferentes materiais genéticos poderia ser considerada um critério de seleção de material adaptado à seca, podendo ser utilizada para selecionar precocemente espécies em viveiros (LEMCOFF et al., 1994).

Os avanços no estudo da eficiência do uso da água em eucalipto têm demonstrado que o gênero possui mecanismos fisiológicos que regulam a absorção e perda de água, influenciando diretamente a produtividade florestal (STAPE et al., 2004). Vários outros autores sugerem que a aclimatação das mudas a diferentes disponibilidades de água, durante as fases de viveiro (crescimento e, principalmente, rustificação), influencia a sobrevivência no campo (SILVA, 1998; SILVA, 2003; CHAVES et al., 2004; LOPES, 2004; PEREIRA, 2006; TATAGIBA, 2006; FREITAG, 2007). Contudo, na restrição hídrica, como na rustificação, a intensidade deve ser compatível com bom crescimento inicial das plantas após o plantio. Assim, a EUA por uma planta pode ser entendida como eficiente mecanismo de evolução adaptativa por meio da qual há maior elasticidade para enfrentar possíveis limitações hídricas (LIMA, 1995).

Quando o déficit hídrico evolui lentamente e permite mudanças nos processos de desenvolvimento, o estresse provocado tem vários efeitos sobre o crescimento, e as espécies de eucalipto podem apresentar diferentes respostas em termos de resistência ao déficit de água no solo (TATAGIBA et al., 2007). Isso também foi verificado por Merchant et al. (2007), que obtiveram respostas diferentes ao déficit hídrico em seis espécies de eucalipto, e aquelas que se desenvolveram em ambientes de baixa pluviosidade apresentaram menor potencial osmótico e redução do teor de água na folha. A capacidade elevada de ajustamento do potencial osmótico confere plasticidade à população, permitindo-lhe crescer rapidamente durante os períodos úmidos e sobreviver no período seco, sem perder os benefícios de sua estrutura (alta relação parte aérea/raiz, grande área foliar, folhas finas) (LEMCOFF et al., 1994).

Sob condições de baixa disponibilidade de água, a deficiência nutricional do eucalipto se acentua (SAKYA et al., 2002; SILVA, 2003; TEIXEIRA et al., 2006; RAMOS et al., 2009). No Brasil, o eucalipto tem sido cultivado em solos, geralmente de baixa fertilidade natural (BARROS; NOVAIS, 1996; REIS; BARROS, 1990), com capacidade limitada para apoiar a produção causada por declínios significativos na disponibilidade de nutrientes por ciclos de colheita contínua (LEAL et al., 1988). Assim, o balanço nutricional em plantios de eucalipto pode ser negativo, porque a exportação é maior do que a entrada de nutrientes (WADT, 2004). Dessa forma, torna-se importante o entendimento de aspectos ligados à demanda de nutrientes e à eficiência de genótipos em converter os nutrientes absorvidos em biomassa, ou seja, avaliar sua eficiência nutricional (PINTO et al., 2011).

A eficiência nutricional pode ser definida como a capacidade de absorção e, ou, utilização de nutrientes (EPSTEIN, 1972; CLARK, 1975; CLARKSON; HANSON, 1980). Clarkson (1985) define a eficiência na absorção de nutrientes como a capacidade de aquisição de nutrientes em condições de baixa disponibilidade. Nesse contexto, a alta eficiência otimiza a recuperação de nutrientes dos fertilizantes aplicados, sobretudo os pouco solúveis, sendo essa eficiência de maior interesse nos estádios iniciais de crescimento e desenvolvimento do eucalipto (BARROS et al., 1990). A eficiência na utilização de nutrientes é a capacidade da planta em empregá-los na síntese da biomassa (CLARKSON; HANSON, 1980). A maior eficiência é sempre desejável, pois influencia diretamente a produtividade de biomassa e a exportação de nutrientes.

Vários trabalhos têm constatado diferenças na eficiência nutricional entre espécies de eucalipto (PEREIRA et al., 1984; MUNIZ et al., 1985; MORAIS et al., 1990; FURTINI NETO et al., 1996; SANTANA et al., 2002; PINTO et al., 2011). Essas diferenças podem representar fator importante na economia ou no emprego mais racional de fertilizantes e contribuem para explicar a capacidade que certas espécies têm de adaptar às diversas condições de estresses ambientais (ALVES, 1994; LIMA et al., 2005). Mecanismos que aumentam tanto a aquisição como a eficiência de utilização de nutrientes seriam os responsáveis por essas diferenças nas plantas.

Em solos com baixa fertilidade, as plantas devem apresentar mecanismos que aumentem a eficiência de absorção de nutrientes, como maior crescimento do sistema radicular, associações micorrízicas, modificação da rizosfera para aumentar a disponibilidade de nutrientes e, principalmente, maior eficiência de utilização do nutriente absorvido por uma redistribuição mais efetiva (GOOD et al., 2004; NUNES et al., 2008).

Elevadas produtividades florestais estão associadas, geralmente, com maiores exportações de nutrientes do sítio (SANTANA et al., 2002). Nesse contexto, o cultivo de genótipos com alta utilização de nutrientes permitiria a otimização do uso dos nutrientes do solo ou a amenização da tendência de sua exaustão por exportação, durante os ciclos de cultivos (BARROS et al., 1990; MOLICA, 1992; PINTO et al., 2011).

Vários genótipos de *Eucalyptus* têm apresentado fortes respostas à aplicação de potássio (TEIXEIRA et al., 2006), em decorrência da baixa fertilidade ou do restrito suprimento de água no solo, fatos que levam à perda rápida de turgor e murcha de folhas, sintomas típicos de deficiência de potássio. A maior sensibilidade de plantas à

falta de potássio está relacionada ao papel desse nutriente na regulação estomática, favorecendo a manutenção do potencial osmótico nos vacúolos e o alto conteúdo hídrico tissular em condições mais secas (TEIXEIRA et al., 2006). Menor sensibilidade ao estresse hídrico, em termos de produção de biomassa e rendimento, pode ser o resultado de maior concentração de K no estroma e, correspondentemente, maiores taxas de fotossíntese (MARSCHNER, 1995). A adição de potássio ao solo afetou fortemente o crescimento em altura e a produção de matéria seca de mudas de eucalipto, tanto com e sem estresse hídrico (TEIXEIRA et al., 2006).

O crescimento de espécies de eucalipto foi reduzido mais drasticamente quando submetido ao déficit hídrico em condição de menor disponibilidade de fósforo (GONÇALVES; PASSOS, 2000). Além disso, os autores observaram que o acúmulo de nutrientes nos diferentes órgãos da planta variou entre espécies, em razão da adubação fosfatada. Sob maior disponibilidade de fósforo, as espécies apresentaram menor redução da área foliar, com a indução do déficit hídrico. Esses autores também verificaram que aumentos nos teores de nutrientes nos diferentes órgãos das plantas, com a indução do déficit hídrico, variaram bastante entre espécies; as maiores reduções de crescimento em diâmetro e matéria seca total ocorreram na espécie que apresentou os menores aumentos no teor de potássio em folhas. Nesse sentido, pode-se inferir que a aclimação das mudas, utilizando apenas o manejo hídrico, não seja a técnica mais adequada para garantir a sobrevivência das mudas no campo e, sim, uma aclimação aliada a uma nutrição adequada das mudas e o melhoramento genético (TAIZ; ZEIGER, 2009; LOPES et al., 2011).

3. HIPÓTESES

1. A resistência e a resiliência de plantas jovens de eucalipto submetidas aos estresses hídrico e nutricional são influenciadas pela magnitude desses e do material genético.

2. Plantas de eucalipto possuem mecanismos fisiológicos na fase inicial de crescimento que possibilitam resiliência às limitações hídrica e, ou, nutricional.

4. OBJETIVOS

- 1) Avaliar o efeito de restrições hídrica e, ou, nutricional no desenvolvimento do eucalipto na sua fase jovem.
- 2) Identificar mecanismos utilizados pelas plantas para se recuperarem de restrições hídricas e nutricionais.
- 3) Detectar diferenças fisiológicas de plantas clonais com e sem estresse.
- 4) Estimar o quanto da recuperação das plantas depende da intensidade do estresse.

5. MATERIAL E MÉTODOS

5.1. Condições de crescimento e descrição dos tratamentos

O experimento foi implantado em março de 2012, em um campo no município de Taparuba, MG, situado a 19°45'31" de latitude sul, 41°36'56" de longitude oeste, a 210 m de altitude. Segundo a classificação de Köppen, a região possui clima do tipo Aw, caracterizado como tropical chuvoso com inverno seco. Para obtenção das variáveis micrometeorológicas, durante o período do experimento, foi instalada, próximo ao local do experimento, uma estação meteorológica automática, modelo E5000 da Irriplus Tecnologia e Manufatura Ltda, que mediu e registrou temperatura (°C), precipitação (mm), umidade do ar (%), velocidade do vento (m s⁻¹) e radiância solar (Mj m⁻² d⁻¹). Calcularam-se a evapotranspiração potencial (mm) pelo método de Penman-Monteith (Figura 1a) e o déficit de pressão de vapor (Figura 1b), de acordo com a equação:

$$DPV = e_{s(ar)} - e_{(ar)} \text{ (BUCK, 1981),}$$

em que

DPV: déficit de pressão de vapor (kPa).

$e_{s(ar)}$: pressão de vapor de saturação (kPa).

$e_{(ar)}$: pressão de vapor d'água à temperatura ambiente (kPa).

A pressão de vapor de saturação e a pressão real de vapor de água foram calculadas pelas seguintes equações:

$$e_{s(ar)} = 0,61078 e^{\left[\frac{17,269 \times T_{ar}}{T_{ar} + 237,3} \right]} \quad e_{(ar)} = \frac{UR}{100} 0,61078 e^{\left[\frac{17,269 \times T_{ar}}{T_{ar} + 237,3} \right]}$$

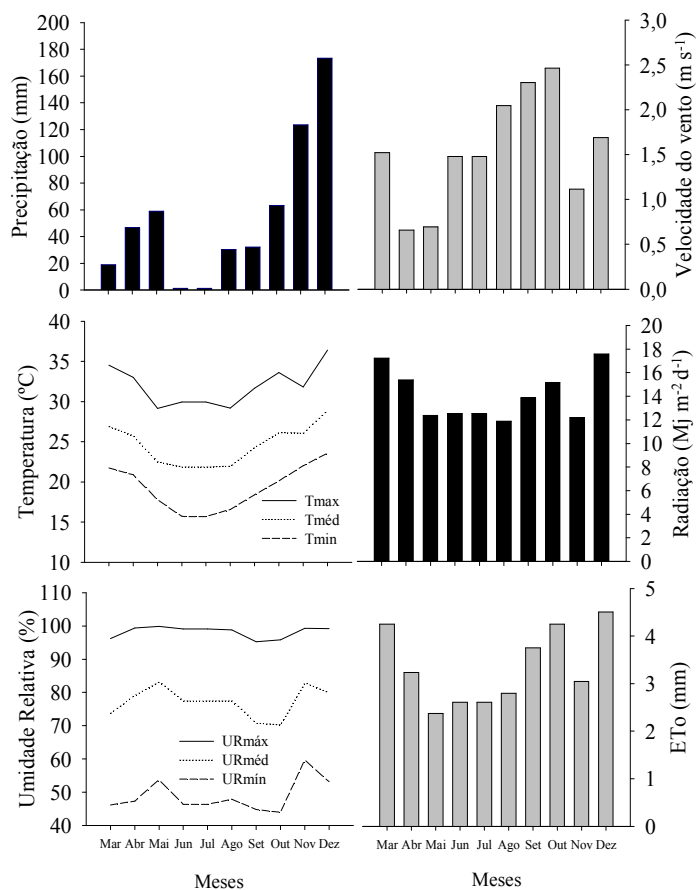
em que

$e_{s(ar)}$: pressão de vapor de saturação do ar (kPa).

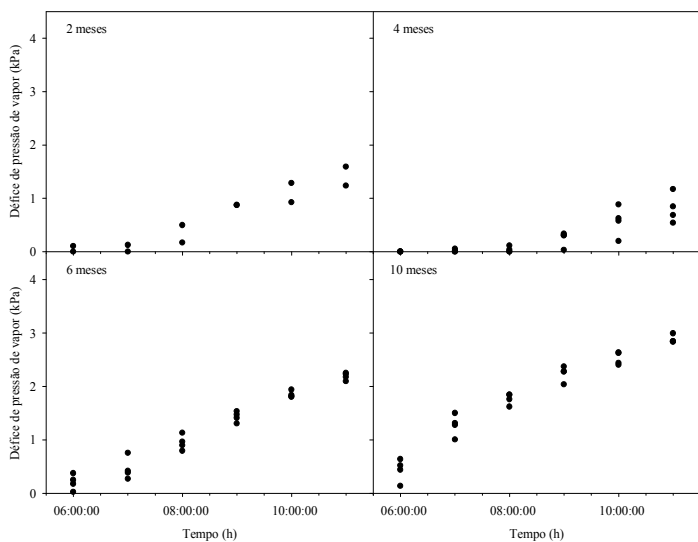
$e_{(ar)}$: pressão real de vapor do ar (kPa).

UR: umidade relativa do ar.

T_{ar} : temperatura do ar (°C).



(a)



(b)

Figura 1 - (a) Valores mensais de precipitação (mm); médias das temperaturas máximas (Tmáx), médias (Tméd) e mínimas (Tmin) (°C) diárias do ar; umidade relativa máxima (URmáx), média (URméd) e mínima (URmin) (%) diárias do ar; velocidade do vento (m s^{-1}); radiação solar ($\text{Mj m}^{-2} \text{d}^{-1}$); e evapotranspiração potencial (ETo) mensais, durante a condução do experimento (mar./2012 a dez./2012); (b) déficit de pressão de vapor ao longo do dia para os dias de medição aos 2, 4, 6 e 10 meses.

Foi utilizado como substrato um Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico, textura média, com estrutura granular. As amostras de solo foram coletadas na região, na camada subsuperficial (20-80 cm), destorroadas, homogeneizadas, secas ao ar e passadas em peneira de malha de 4 mm. As análises químicas e granulométrica do solo foram realizadas antes da instalação do experimento, obtendo-se a classificação textural de franco-argiloarenosa (Tabelas 1 e 2).

Tabela 1 - Análise química do solo

pH	P	K	Ca ⁺²	Mg ⁺²	Al ⁺³	t	T	V	m	MO	P-rem	Zn	Fe	Mn	Cu	B
	mg dm ⁻³		cmolc dm ⁻³			—%—			dag kg ⁻¹	mg L ⁻¹	mg dm ⁻³					
5,9	1,0	47	0,3	0,1	0,3	0,8	8,4	6	37	3,3	4,8	0,3	13,4	1,1	0,3	0,2

pH em água; P, K, Fe, Zn, Mn, Cu – extrator :Mehlich 1; Ca, Mg, Al – extrator: KCl-1mol L⁻¹; B – extrator: água quente; t – Capacidade de Troca Catiônica Efetiva; T – Capacidade de Troca Catiônica a pH 7,0; V – índice de saturação de bases; m – índice de saturação de alumínio; MO – Matéria orgânica – C. org.*1,724 - Walkley-Black; e P-rem - fósforo remanescente.

Tabela 2 - Análise granulométrica e classificação textural do solo

Argila	Areia grossa	Areia fina	Areia total	Silte	Classificação textural
-----%-----					
28	47	18	65	7	Franco-argiloarenosa

A densidade do solo foi definida pelo método da proveta, de acordo com o Manual de Métodos de Análise do Solo (EMBRAPA, 1997), sendo o valor encontrado de 1,015 g cm⁻³.

A curva de retenção de água do solo (Figura 2) foi determinada conforme a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA (1997), a partir de amostras deformadas, previamente peneiradas. Depois de saturadas, por no mínimo 12 horas, elas foram levadas à câmara de pressão de Richards com placa porosa para estabilização da umidade, adotando-se um tempo não inferior a três dias, para posterior determinação da umidade gravimétrica (U), correspondente às tensões de: 10, 30, 100, 500 e 1.500 kPa, com três repetições. A umidade volumétrica (θ) para cada uma das tensões foi obtida pelo produto da umidade gravimétrica pela densidade do solo, $\theta = U \times D_s$, e ajustada

para obtenção da curva de retenção de água, utilizando-se o modelo proposto por van Genuchten (1980).

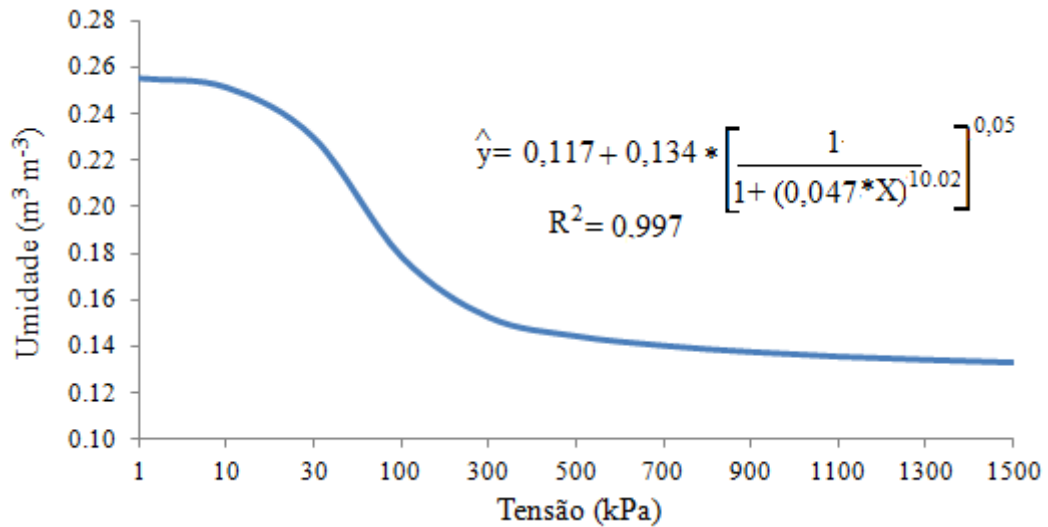


Figura 2 - Curva de retenção de água do solo.

A capacidade de água disponível (CAD) foi de 11,8%; calculou-se utilizando os valores de umidade volumétrica da curva de retenção do solo para a capacidade de campo (CC), que foi de 25,1% (na tensão de 10 kPa), e o do ponto de murcha permanente (PMP), isto é, 13,3%, na tensão de 1.500 kPa, utilizando-se a seguinte expressão:

$$\text{CAD} = \text{CC} - \text{PMP} \text{ (CENTURION; ANDREOLI, 2000).}$$

Para elevar o teor de umidade à capacidade de campo, foi empregada a equação:

$$L = [(CC - U_a) / 10] \times D_s \times Z \text{ (SOUSA et al., 2003),}$$

em que:

L - Lâmina de irrigação (em mm).

CC - umidade na capacidade de campo (25,1%).

U_a - umidade do solo, estabelecida em 20,1% (80% da CC), para reinício das irrigações.

Ds - densidade do solo ($1,015 \text{ gcm}^{-3}$).

Z - profundidade do recipiente (90 cm).

Para transformar a lâmina de irrigação ($L = 45,7 \text{ mm}$) em volume (L/vaso), multiplicou-se L pela área do vaso ($0,283 \text{ m}^2$).

A irrigação total necessária (ITN), dada em mm, foi calculada pela equação:

$$ITN = L/Ea \text{ (BERNARDO et al., 2005),}$$

em que:

L - lâmina de irrigação 12,9 L/vaso;

Ea - eficiência de aplicação da irrigação, em que foram utilizadas 90%.

O tempo (T) de irrigação foi determinado pela seguinte equação:

$$T = ITN/ n \times q \text{ (BERNARDO et al., 2005),}$$

em que:

ITN - irrigação total necessária, 14 L/vaso;

n - número de gotejadores, 1;

q - vazão dos gotejadores, 2 litros/hora.

O T de irrigação encontrado foi de 7 h para atingir a CC.

O monitoramento da umidade do solo nos vasos foi realizado diariamente com um medidor eletrônico de umidade (Falker, Hidrofarm HFM 2030).

O sistema de irrigação utilizado foi o gotejamento e, em cada recipiente, foi instalado um gotejador flecha, ligado a um conector manifold, ambos da marca Netafim, com vazão de $2,0 \text{ L h}^{-1}$. No início do experimento, o solo foi submetido à saturação por água durante três dias consecutivos, seis horas por dia, e, logo depois, à drenagem livre, por um período de 24 horas, até a estabilização da umidade volumétrica próxima à capacidade de campo, quando foi feito o plantio das mudas. Imediatamente após o plantio, foi adicionada a cada recipiente quantidade de água suficiente para elevar e manter a umidade do solo próximo à capacidade de campo, durante um mês, visando garantir a sobrevivência das mudas. Após esse período, nos tratamentos com estresse

hídrico, a aplicação de água foi reduzida gradualmente, até ficar com a umidade abaixo da tensão de 1.500 kPa; já o solo dos tratamentos sem estresse hídrico, buscou-se mantê-los com umidade próxima à tensão de 10 kPa.

Foram utilizados os clones GG100 da Gerdau, I-144 e 1528 da Acesita e híbridos de *Eucalyptus urophylla* e *Eucalyptus grandis*. A escolha do material genético foi feita com base em observações de campo com características de maior, clone I-144 (NUNES, 2010), ou menor (clone GG100), tolerância ao déficit hídrico (informação pessoal - professor Nairam Félix de Barros). Os plantios comerciais do clone 1528 são mais recentes que dos demais clones utilizados neste trabalho, esse clone tem sido divulgado pela empresa que o desenvolveu, como material genético de grande produtividade e tolerância a déficit hídrico (ARCELOR MITTAL, 2009).

As mudas, com cerca de 90 dias de idade, passaram por uma seleção quanto à uniformidade e foram transplantadas em tambores de plástico de 60 cm de diâmetro e 90 cm de altura, com capacidade para 254 dm³, que receberam furos circulares de 5 cm de diâmetro em suas faces laterais, a fim de permitir melhor aeração das raízes e escoar o excesso de água.

O experimento foi conduzido por 10 meses. Em todos os tratamentos, a superfície do tambor foi vedada com lona plástica e fita adesiva até aos 4 meses, a fim de evitar a entrada de água de chuvas e possibilitar a indução dos tratamentos a serem testados (Tabela 3).

Tabela 3 - Descrição dos tratamentos

Tratamentos	Descrição dos tratamentos
sDH	Sem déficit hídrico e sem atraso na adubação
DH4	Déficit hídrico até o quarto mês sem atraso na adubação
At2	Atraso na adubação dois meses sem déficit hídrico
At2DH4	Atraso na adubação dois meses sem déficit hídrico até o quarto mês
At4	Atraso na adubação quatro meses sem déficit hídrico
At4DH4	Atraso na adubação e déficit hídrico até o quarto mês

Com o objetivo de elevar o teor de cálcio de 0,3 para 2 $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ e magnésio de 0,1 a 0,75 $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ (Tabela 1), foi realizada calagem duas semanas antes do plantio, misturando-se 370 g de calcário dolomítico com PRNT de 91%, 39% de CaO e 11% de MgO, em toda amostra de solo (220 dm^3). A adubação fosfatada foi aplicada logo após o plantio das mudas nos tratamentos sDH (controle) e DH; nos tratamentos At2 e At2DH4, aos dois meses após o plantio; e nos tratamentos At4 e At4DH4, aos quatro meses após o plantio. A dose aplicada foi 300 g de 04-18/30-04 com 0,2% de B, 0,2% de Zn e 0,2% de Cu (FH eucalipto com fosfato natural reativo), distribuída em quatro covetas laterais com 15 cm de profundidade. Foram realizadas duas adubações de cobertura, com 100 g de nitrato de potássio dissolvidos em 500 mL de água: a primeira, 60 dias após a adubação de plantio nos tratamentos sDH e DH4, isto é, o adubo foi aplicado 60 dias após o plantio. Nos tratamentos At2 e At2DH4, o adubo foi aplicado aos 120 dias após o plantio; e nos tratamentos At4 e At4DH4, o adubo foi aplicado aos 180 dias após o plantio. Semelhantemente, a segunda adubação de cobertura foi executada aos 120 dias após a adubação de plantio, ou seja, nos tratamentos sDH e DH4, aos 120 dias; e At2 e At2DH4, aos 180 dias; e nos tratamentos At4 e At4DH4, aos 240 dias após o plantio. Foi feita uma adubação foliar com sulfato de Cu 0,5% e sulfato de Zn 0,5% no sétimo mês.

5.2. Variáveis avaliadas e período de avaliação

As características de crescimento, altura e diâmetro foram avaliadas aos 0, 1, 2, 4, 6 e 10 meses após o plantio. O potencial hídrico foliar, as trocas gasosas, a fluorescência da clorofila *a*, os açúcares solúveis e os teores de nutriente na folha foram avaliados aos 2, 4, 6 e 10 meses, após o plantio. Como os teores de açúcares podem estar relacionados com o acúmulo e, ou, degradação do amido, o seu teor foliar foi quantificado aos 2 meses nos tratamentos sDH e DH4 e aos 10 meses nos tratamentos sDH, DH4, At4 e At4DH4. Já a composição química e matéria seca das diferentes partes das plantas foram determinadas apenas ao término do período experimental (10 meses).

5.2.1. Crescimento

O diâmetro (D) do coleto foi estabelecido com auxílio de paquímetro digital Vonder a 5 cm do substrato, e a altura (H) das plantas, por meio de régua milimetrada. Para calcular o volume (v), utilizou-se a equação:

$$v = \pi * \frac{D^2}{4} * H * 0,5$$

em que:

D - diâmetro do coleto (dm).

H - altura da planta (dm).

5.2.2. Matéria seca

Para determinação de matéria seca, os recipientes foram desmontados e as raízes retiradas do solo, mediante lavagem com água corrente sobre sombrite 70%. Os diferentes componentes das plantas (folhas, galhos, cascas, caules, raízes finas e grossas) foram separados e pesados, coletando-se as amostras. Essas amostras após serem pesadas foram colocadas em estufa com circulação forçada de ar a 65°C, até atingir peso constante. O teor relativo de água foi estimado a partir da determinação das massas de matéria fresca (MF) e seca (MS) das amostras, conforme a seguinte fórmula: $C_a (\%) = 100 [(MF-MS)/MF]$. Com base no teor relativo de água das amostras de todos os tratamentos, determinou-se a matéria seca de todas as partes das plantas.

5.2.3. Potencial hídrico foliar

Utilizou-se uma bomba de pressão, segundo Scholander et al. (1965), para a determinação do potencial hídrico foliar. Em toda planta foi destacada uma folha totalmente expandida, localizada na parte externa do terço superior do dossel, e uma pequena parte do pecíolo foi cortada com auxílio de estilete; em seguida, essa folha foi colocada em uma câmara de pressão hermeticamente fechada com a extremidade do pecíolo estendendo-se para fora da câmara. Essa câmara foi pressurizada gradualmente por meio da introdução de nitrogênio gasoso, até a seiva do xilema tornar-se visível na

superfície do pecíolo, ou seja, a coluna de água existente no xilema tende a retornar para a superfície cortada do pecíolo, podendo ser visualizada com uma lupa. A pressão necessária para que a seiva do xilema retorne à superfície cortada do pecíolo é considerada como potencial hídrico foliar. As avaliações foram realizadas na antemanhã.

5.2.4. Trocas gasosas

As medições de trocas gasosas foram realizadas em folhas completamente expandidas. A taxa de assimilação fotossintética líquida (A), a condutância estomática (g_s), a taxa de transpiração (E) e a concentração interna de CO_2 (C_i) foram determinadas por um analisador de gás por infravermelho (IRGA; modelo portátil LI-6400xt, LI-COR Biosciences Inc., Lincoln, Nebraska, USA). Realizaram-se as medições entre 8 e 10h, utilizando radiação fotossinteticamente ativa (PAR) constante ($1.400 \mu\text{mol f\u00f3tons m}^{-2}\text{s}^{-1}$), concentração atmosf\u00e9rica de CO_2 (C_a) e temperatura e umidade ambiente.

5.2.5. Floresc\u00eancia da clorofila a

As vari\u00e1veis de fluoresc\u00eancia da clorofila a foram obtidas com aux\u00edlio do IRGA (LI-6400xt, LI-COR) na mesma folha em que foram realizadas as medi\u00e7\u00f5es das trocas gasosas. As avalia\u00e7\u00f5es foram realizadas inicialmente no escuro (3h) para obten\u00e7\u00e3o das vari\u00e1veis de indu\u00e7\u00e3o da fluoresc\u00eancia: fluoresc\u00eancia inicial (F_0) e fluoresc\u00eancia m\u00e1xima (F_m). A partir desses valores, foi obtido o rendimento qu\u00e2ntico potencial do fotossistema II (FSII), $F_v/F_m = (F_m - F_0)/F_m$. As vari\u00e1veis da fase lenta de indu\u00e7\u00e3o da fluoresc\u00eancia foram obtidas sequencialmente com a aplica\u00e7\u00e3o de uma ilumina\u00e7\u00e3o act\u00ednica e um pulso de luz act\u00ednica saturante para a determina\u00e7\u00e3o das vari\u00e1veis: fluoresc\u00eancia em amostra adaptada \u00e0 luz antes do pulso de satura\u00e7\u00e3o (F) e fluoresc\u00eancia m\u00e1xima em amostra adaptada \u00e0 luz (F_m'). A partir desses par\u00e2metros, foi poss\u00edvel calcular a fluoresc\u00eancia m\u00ednima do tecido vegetal iluminado, $F_0' = F_0 / [(F_m - F_0)/F_m + (F_0/F_m')]$ (OXBOROUGH; BAKER, 1997), para o c\u00e1lculo do coeficiente de extin\u00e7\u00e3o fotoqu\u00edmico pelo modelo *lake*, o qual fornece uma estimativa de centros de rea\u00e7\u00f5es abertos do FSII, $q_L = (F_m' - F) / (F_m' - F_0') \cdot (F_0' / F)$ (KRAMER et al., 2004). O rendimento qu\u00e2ntico efetivo de convers\u00e3o fotoqu\u00edmica de energia no FSII, $Y_{II} = (F_m' - F) / F_m'$; e os rendimentos qu\u00e2nticos da dissipat\u00e3o de energia regulada, $Y_{NPQ} = (F / F_m')$

- (F/F_m), e da dissipação de energia não regulada, $Y_{NO} = F/F_m$, foram calculados de acordo com Genty et al. (1989) e Hendrickson et al. (2004). O Y_{II} foi ainda utilizado para estimar a taxa aparente de transporte de elétrons, $ETR = Y_{II} \cdot PAR \cdot Abs_{folha} \cdot 0,5$ (BILGER et al., 1995), em que PAR é o fluxo de fótons ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) incidente sobre a folha; 0,5, o valor correspondente à fração de energia de excitação distribuída para o FSII; e Abs_{folha} , o valor correspondente à fração de luz incidente que é absorvida pelas folhas. O coeficiente de dissipação fotoquímico (q_P) foi calculado pela fórmula: $q_P = (F_m' - F) / (F_m' - F_0')$, e os coeficientes de dissipação não fotoquímicos NPQ e q_N foram estimados pelas seguintes fórmulas, respectivamente: $NPQ = (F_m - F_m') / (F_m')$, $q_N = (F_m - F_m') / (F_m - F_0')$.

5.2.6. Concentração de açúcares solúveis

Para a extração e determinação da concentração de açúcares e amido, amostras do 3º ou 4º par de folhas foram coletadas no terço médio da copa ao meio dia, congeladas em nitrogênio líquido e posteriormente liofilizadas. A extração e quantificação de açúcares solúveis (sacarose, glicose e frutose) e de amido foram realizadas de acordo com Thethewey et al. (1998) e Lisec et al. (2006). Cerca de 20 mg de folhas liofilizadas e trituradas foram submetidas à extração em 1 mL de metanol (100%), a 70 °C, durante 1 h, sob agitação (950 g). O extrato foi centrifugado a 11.000 g por 10 min. Transferiram-se 600 μL do sobrenadante para outro tubo, em que foram adicionados 500 μL de clorofórmio (100%) e 800 μL de água deionizada. Após 10 s de agitação, outra centrifugação foi feita (15', 2200 g). Coletou-se e transferiu-se 600 μL da fase polar (superior) para outro tubo de 1,5 mL e seca em *Speed Vac*. Após, 0,1 mL de água deionizada foi adicionado para ressuspender os açúcares, sendo utilizados 10 μL dessa solução para a análise espectrofotométrica. Para tal, a reação foi composta por tampão Imidazol (50 mmol L^{-1}), NAD (2 mmol L^{-1}), ATP (1 mmol L^{-1}), glicose-6P-desidrogenase (1U/reação), hexocinase (1U/reação), fosfoglicoisomerase (1U/reação) e invertase (5U/reação). O pellet da primeira centrifugação foi armazenado a -20°C para posterior extração de amido, que foi lavado com 1 mL de etanol 80%, a 70°C por 10'. Esse passo foi repetido três vezes. Após, foram adicionados 400 μL de KOH (0,2 mol L^{-1}), mantendo por 1h a 90 °C com agitação (600 g). A reação foi paralisada pela adição de 70 μL de ácido acético (1 mol L^{-1}). Os tubos foram então centrifugados e 100 μL do sobrenadante foram coletados para a digestão com tampão citrato e amiloglicosidase

(1U/reacção), em volume final de 300 µL. Após, 100 µL foram retirados e a glicose foi quantificada seguindo Trethewey et al. (1998).

5.2.7. Teores e conteúdo de nutrientes

Coletaram-se amostras do 3º ou 4º par de folhas no terço médio das copas, para determinação dos teores de nutrientes nas folhas. Os demais componentes das plantas (galhos, cascas, caules, raízes finas e grossas) foram separados e homogeneizados, coletando-se as amostras, que foram colocadas em estufa com circulação forçada de ar a 65 °C, até atingir peso constante. Posteriormente, essas foram maceradas em almofariz e, aproximadamente, 0,30 g foram colocadas em cadinhos de porcelana e calcinadas em mufla. Após o resfriamento, foram acrescentados nas cinzas 10 mL de ácido clorídrico na concentração de 0,1 mol L⁻¹ e 10 mL de água destilada; filtrou-se, em seguida. Os teores de P, Ca, Mg, S, Cu, Mn e B foram quantificados por meio de espectrofotometria de emissão óptica com plasma acoplado por indução (ICP-OES), o teor de K quantificou-se por fotometria de emissão de chama e o N total, pelo método Kjeldahl (MALAVOLTA et al., 1997).

Para o cálculo do conteúdo dos nutrientes nas diferentes partes das plantas, foi multiplicado o teor do nutriente pela matéria seca da determinada parte. O conteúdo total do nutriente foi obtido com o somatório do nutriente em todas as partes de cada planta (folha, galho, casca, caule, raízes finas e grossas).

5.2.8. Delineamento experimental e análise estatística

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, com os tratamentos em esquema fatorial 3 x 3 x 2 e quatro repetições. A unidade experimental foi constituída por uma planta. Os efeitos das variáveis foram submetidos à análise de variância (Apêndice) utilizando-se o software STATISTICA 8.0 e, quando necessário, ao teste de Tukey a 5%, com o uso do software SAEG.

6. RESULTADOS

6.1. Crescimento em altura e diâmetro

O crescimento em altura (H) e diâmetro do caule (D) foi afetado significativamente pelos tratamentos impostos em todos os clones, sobretudo durante os períodos em que as plantas estavam sob algum tipo de restrição nutricional, hídrica ou a combinação de ambas (Tabela 4 e Figura 3); por exemplo, H e D apresentaram menores valores aos dois e quatro meses em todos os tratamentos que estavam sob estresse (DH4, At2, At2DH4, At4 e At4DH4), em todos os clones. Ressalta-se que as plantas submetidas à restrição hídrica por quatro meses (tratamento DH4), e que apresentaram as menores taxas fotossintéticas (A) nessas condições (Figura 4 A e E), evidenciaram valores maiores de H e D em relação aos demais tratamentos com estresse (Figura 3 A-C) nesse período, provavelmente porque as plantas no tratamento DH4 receberam suplementação nutricional via adubo aplicado no plantio e foram irrigadas até um mês após o plantio, para viabilizar o seu pegamento, o que deve ter contribuído para essa diferença inicial de crescimento em relação aos demais tratamentos (At2, At2DH4, At4 e At4DH4).

Após o ressurgimento das condições adequadas de crescimento, isto é, após a reidratação do solo no tratamento DH4 e a suplementação nutricional, via adubação no tratamento At2, os valores de H e D apresentaram-se estatisticamente iguais ao tratamento sDH aos seis meses para o clone I-144. Os demais tratamentos ainda demonstraram valores inferiores de H e D ao tratamento sDH, em todos os clones nessa avaliação.

Comparando o padrão de variação das variáveis H e D, vê-se que a H das plantas que passaram por período de estresse no início do experimento voltaram com o ressurgimento das condições adequadas, a não diferir do sDH mais rapidamente (Figura 3a-c), quando comparado aos valores de D, uma vez que aos 10 meses, com exceção das plantas submetidas à restrição hídrica (tratamento DH4), clone GG100, nenhum dos outros tratamentos e clones apresentaram diferenças em relação ao tratamento sDH, para H. Para os valores de D das plantas nos tratamentos DH4, At2DH4, At4 e At4DH4 clone GG100 e At2DH4, At4 e At4DH4 clone I-144, ainda apresentaram-se menores do que o tratamento sDH. Já para o clone 1528 não houve diferença estatística no valor de D entre os tratamentos (Tabela 4). Com relação ao volume, o clone GG100 apresentou

diferença estatística do tratamento sDH para todos os tratamentos (DH4, At2, At2DH4, At4 e At4DH4). Para o clone I-144, houve diferença em relação aos tratamentos (At2DH4, At4 e At4DH4); e para o clone 1528, apenas para os tratamentos DH4 e At4DH4.

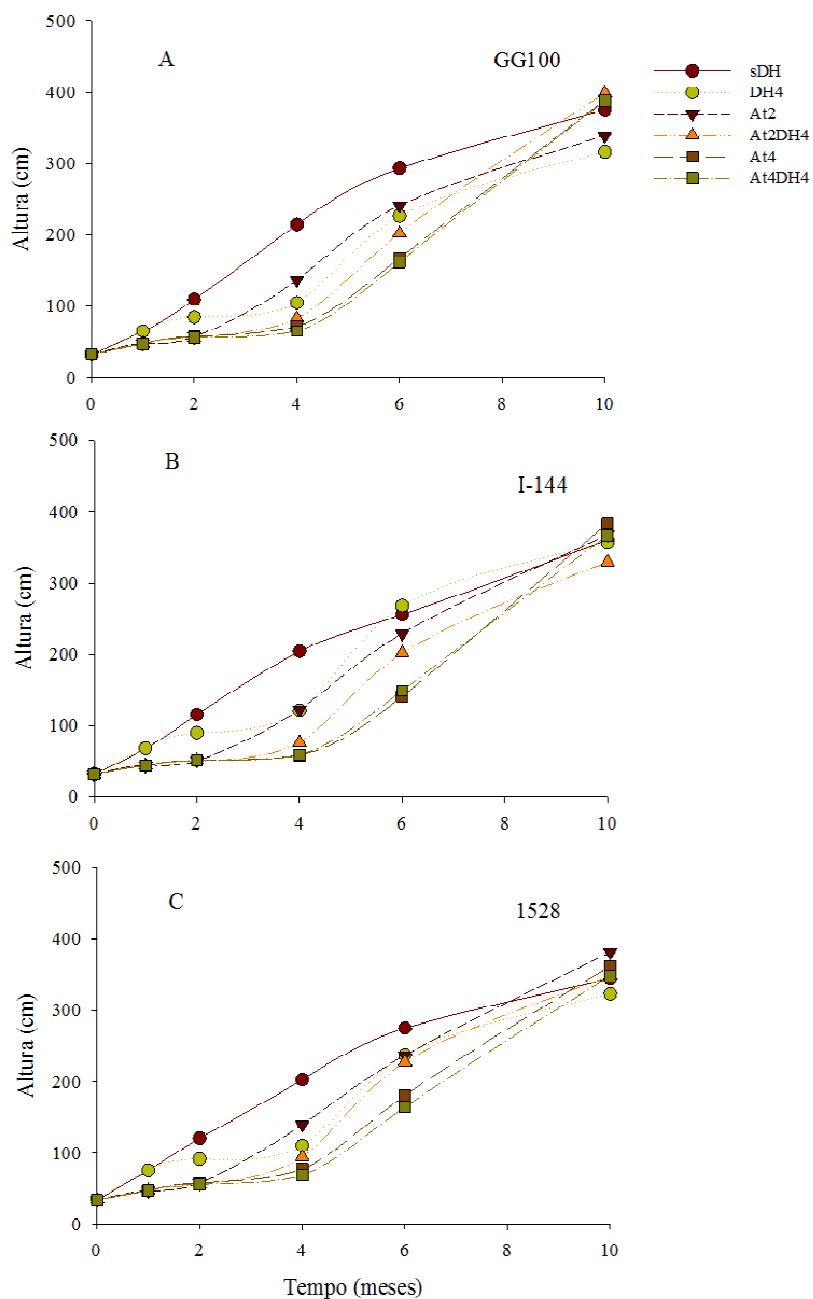


Figura 3 - Crescimento em altura (cm) dos clones GG100 (A), I-144 (B) e 1528 (C), aos 2, 4, 6 e 10 meses após o plantio, influenciado pelos tratamentos: sDH - controle (sem déficit hídrico e sem atraso da adubação), DH4 - déficit hídrico de 4 meses e sem atraso da adubação, At2- sem déficit hídrico e atraso de 2 meses da adubação, At2DH4 - déficit hídrico de 4 meses e atraso de 2 meses da adubação, At4 - sem déficit hídrico e atraso de 4 meses da adubação e At4DH4 - déficit hídrico e atraso da adubação até 4 meses, após o plantio.

Tabela 4 - Altura, diâmetro e volume de caule dos clones GG100, I-144 e 1528, aos 4 e 10 meses, sem ou com estresse hídrico, e, ou, sem ou com 2 e 4 meses de atraso da adubação

Tratamentos	Altura				Diâmetro				Volume	
	4 meses		10 meses		4 meses		10 meses		10 meses	
	cm	% ⁽¹⁾	cm	%	mm	%	mm	%	dm ³ /planta	%
Clone GG100										
sDH	215 a ⁽²⁾	0	375 ab	0	35 a	0	67 a	0	13,3 a	0
DH4	105 c	-51	317 b	-15	17 c	-51	59 b	-12	9,1 b	-32
At2	137 b	-36	339 ab	-10	25 b	-29	61 ab	-9	9,8 b	-26
At2DH4	83 d	-61	399 a	6	14 cd	-60	57 b	-15	10,2 b	-23
At4	72 d	-67	389 ab	4	13 cd	-63	57 b	-15	9,8 b	-26
At4DH4	65 d	-70	388 ab	3	12 d	-66	55 b	-18	9,2 b	-31
Clone I-144										
sDH	205 a	0	360 a	0	34 a	0	65 a	0	12,2 a	0
DH4	121 b	-41	357 a	-1	21 b	-38	60 ab	-8	10,3 ab	-15
At2	123 b	-40	367 a	2	20 b	-41	59 ab	-9	10,1 ab	-17
At2DH4	77 c	-62	329 a	-9	14 c	-59	54 b	-17	7,6 b	-37
At4	59 c	-71	383 a	6	9 d	-74	52 b	-20	8,1 b	-33
At4DH4	60 c	-71	367 a	2	10 cd	-71	54 b	-17	8,5 b	-30
Clone 1528										
sDH	203 a	0	344 a	0	35 a	0	64 a	0	11,1 a	0
DH4	111 c	-45	323 a	-6	19 bc	-46	56 a	-13	8,3 b	-26
At2	140 b	-31	381 a	11	22 b	-37	61 a	-5	11,2 a	0
At2DH4	95 cd	-53	348 a	1	15 cd	-57	60 a	-6	10,0 ab	-10
At4	78 de	-62	362 a	5	13 d	-63	55 a	-14	8,7 ab	-22
At4DH4	69 e	-66	348 a	1	11 d	-69	56 a	-13	8,5 b	-24

⁽¹⁾ % de alteração em altura e diâmetro dos tratamentos em relação à testemunha (sDH). ⁽²⁾ Médias seguidas pela mesma letra não diferem pelo teste Tukey a 5%. sDH- testemunha (sem déficit hídrico e sem atraso da adubação), DH4- déficit hídrico de quatro meses e sem atraso da adubação, At2- sem déficit hídrico e atraso de dois meses da adubação, At2DH4- déficit hídrico de quatro meses e atraso de dois meses da adubação, At4- sem déficit hídrico e atraso de quatro meses da adubação e At4DH4- Atraso da adubação e déficit hídrico até quatro meses, após o plantio.

6.2. Produção de matéria seca

A produção de matéria seca variou de acordo com o genótipo, os tratamentos e o órgão em questão. Para folhas, o valor médio do tratamento DH4 no clone 1528 e tratamentos At2, At2DH4, At4 e At4DH4 no clone I-144 foram significativamente menores, quando comparados ao tratamento sDH. No que concerne à matéria seca de caule e casca, reduções foram observadas nos valores médios de quase todos os tratamentos nos clones GG100 e I-144, em relação ao tratamento sDH. No entanto, todos os tratamentos (DH4, At2, At2DH4, At4 e At4DH4) no clone 1528 não causaram

diferenças significativas em relação ao tratamento sDH (Tabela 5). Semelhantemente, a matéria seca de galhos nos clones I-144 e GG100 foi reduzida significativamente em quase todos os tratamentos, comparados com o tratamento sDH, exceto tratamentos At2 do clone GG100 e DH4 do clone I-144. No clone 1528, a matéria seca de galhos foi reduzida nos tratamentos DH4 e At4DH4. Em conjunto, esses dados, citados anteriormente, somados resultam na matéria seca da parte aérea, que foi significativamente menor do que a do tratamento sDH em quase todos tratamentos, exceto nos tratamentos DH4 (no clone I-144), At2, At2DH4 e At4 e At4DH4, no clone 1528 (Tabela 5). Vale ressaltar que o clone 1528 apresentou menores valores de massa de matéria seca de galho em todos os tratamentos, inclusive o tratamento sDH, quando comparado com os tratamentos nos demais clones estudados (GG100 e I-144) (Tabela 5).

A matéria seca de raiz fina não apresentou diferença entre o tratamento sDH e os demais tratamentos, para os todos os clones. As diferenças encontradas para raiz grossa foram semelhantes às observadas para a matéria seca total de raiz para o clone GG100, para o qual todos os tratamentos causaram valores significativamente menores que o tratamento sDH. Com relação aos demais clones, I-144 e 1528, o tratamento DH4 causou valores significativamente maiores, e os tratamentos At4 e At4DH4 geraram menores, em relação ao tratamento-controle (Tabela 5).

Em virtude das diferenças substanciais encontradas nos diferentes órgãos da planta, citados anteriormente, a matéria seca total de todos os clones também foi influenciada pelos tratamentos. Dentro dessa perspectiva, valores significativamente menores foram encontrados em todos os tratamentos no clone GG100 e nos tratamentos At4 e At4DH4 nos clones I-144 e 1528, quando comparados ao tratamento sDH (Tabela 5).

Em suma, com relação ao desenvolvimento aos 10 meses, analisando o crescimento em volume e massa da matéria seca total das plantas, verificou-se que, com relação ao volume para o clone GG100, todos os tratamentos causaram menores valores em relação ao tratamento sDH; para o clone I-144, os tratamentos At2DH4, At4 e At4DH4; e para o clone 1528, apenas os tratamentos DH4 e At4DH4. Por fim, em relação à massa da matéria seca total, o clone GG100 apresentou menor quantidade para todos os tratamentos, em comparação ao sDH. Já os clones I-144 e 1528 evidenciaram menores diferenças apenas para os tratamentos At4 e At4DH4.

Tabela 5 - Massa de matéria seca de folha, galho, casca, caule, raízes fina e grossa, parte aérea e raiz, e total dos clones GG100, I-144 e 1528, com 10 meses de idade, nos tratamentos estudados

Tratamentos	Matéria seca								
	Folhas*	Galho*	Casca	Caule	Raiz fina	Raiz grossa*	Parte aérea	Raiz*	Total
.....kg/planta.....									
GG100									
sDH	1,35 a	0,89 a	0,39 a	1,12 a	1,34 a	2,07 a	3,74 a	3,41 a	7,15 a
DH4	1,11 a	0,62 b	0,25 b	0,90 ab	1,30 a	1,55 b	2,88 b	2,84 ab	5,73 b
At2	1,16 a	0,70 ab	0,28 b	0,71 b	1,10 a	1,38 c	2,85 b	2,48 b	5,34 b
At2DH4	1,06 a	0,55 b	0,26 b	0,78 b	1,01 a	1,58 b	2,66 b	2,60 b	5,26 b
At4	1,14 a	0,61 b	0,25 b	0,79 b	1,06 a	1,18 d	2,80 b	2,24 b	5,04 b
At4DH4	1,14 a	0,63 b	0,26 b	0,80 ab	1,07 a	1,33 c	2,82 b	2,40 b	5,22 b
I-144									
sDH	1,67 a	0,98 a	0,40 a	1,06 a	1,05 a	1,44 bc	4,10 a	2,50 a	6,60 a
DH4	1,56 ab	0,97 a	0,30 ab	0,83 ab	1,10 a	1,71 a	3,67 ab	2,81 a	6,48 a
At2	1,36 bc	0,70 b	0,28 b	0,77 ab	1,21 a	1,36 c	3,11 bc	2,57 a	5,68 ab
At2DH4	1,35 bc	0,68 b	0,24 b	0,64 b	1,11 a	1,50 b	2,91 bc	2,61 a	5,52 abc
At4	1,12 c	0,60 b	0,25 b	0,69 b	0,96 a	0,84 d	2,65 c	1,79 b	4,45 c
At4DH4	1,18 c	0,65 b	0,26 b	0,71 b	0,90 a	0,97 d	2,80 c	1,87 b	4,68 bc
1528									
sDH	1,54 a	0,75 a	0,34 a	0,90 a	1,12 a	1,87 b	3,53 a	2,99 a	6,52 a
DH4	1,12 b	0,48 b	0,27 a	0,76 a	1,20 a	2,11 a	2,64 b	3,32 a	5,96 ab
At2	1,27 ab	0,58 ab	0,32 a	0,90 a	1,27 a	1,60 b	3,08 ab	2,87 ab	5,96 ab
At2DH4	1,35 ab	0,63 a	0,29 a	0,83 a	1,05 a	2,13 a	3,10 ab	3,18 a	6,28 ab
At4	1,25 ab	0,53 ab	0,27 a	0,78 a	1,09 a	1,30 d	2,84 ab	2,39 b	5,22 b
At4DH4	1,27 ab	0,52 b	0,27 a	0,73 a	0,99 a	1,45 c	2,79 ab	2,44 b	5,23 b

sDH- testemunha (sem déficit hídrico e atraso da adubação), DH4- déficit hídrico de quatro meses e sem atraso da adubação, At2- sem déficit hídrico e atraso de dois meses da adubação, At2DH4- déficit hídrico de quatro meses e atraso de dois meses da adubação, At4- sem déficit hídrico e atraso de quatro meses da adubação e At4DH4- déficit hídrico e atraso da adubação quatro meses. Médias seguidas pela mesma letra não diferem pelo teste Tukey 5%. * diferença pelo menos entre dois clones pelo teste F a 5%.

6.3. Potencial hídrico foliar

O potencial hídrico foliar (Ψ_w) é influenciado por vários fatores entre eles a umidade do solo (θ); sendo assim, os tratamentos em que as plantas foram submetidas, por certo período, à restrição hídrica apresentaram menores valores (Figura 4a e b). Nesse sentido, as plantas do tratamento DH4 evidenciaram menores valores de Ψ_w aos dois e quatro meses, em todos os clones, não havendo diferença entre os clones aos dois meses; porém, aos quatro meses, o clone I-144 demonstrou valores maiores que o GG100 e 1528 (Figura 4a e b). Nos tratamentos At2DH4 e At4DH4, em que as plantas também foram submetidas à restrição hídrica até os quatro meses de desenvolvimento, todos os clones apresentaram menores valores de Ψ_w no tratamento At2DH4; no

entanto, no tratamento At4DH4, só os clones GG100 e I-144 (Figura 4b). Contudo, o Ψ_w do tratamento At4DH4 não variou entre dois e quatro meses no clone 1528. Assim, o clone 1528 foi capaz de manter o Ψ_w mesmo em solo com menor θ aos dois e quatro meses em situação de estresse nutricional.

A partir do 4º mês, os valores de θ nos tratamentos DH4, At2DH4 e At4DH4 foram recuperados após o umedecimento do solo, situando-se em valores próximos à condição-controle (sDH) (Figura 4c e d). Concomitante a isso, na avaliação seguinte, aos seis meses, observou-se que o Ψ_w das plantas que foram submetidas à condição de estresse hídrico até aos quatro meses (tratamentos DH4, At2DH4 e At4DH4) evidenciou valores próximos aos das plantas sem estresse (tratamento sDH). Esse fato foi confirmado nas avaliações feitas aos 10 meses, quando não foram observadas diferenças substanciais no Ψ_w entre os tratamentos nos clones GG100, I-144 e 1528 (Figura 4c e d).

Ressalta-se que mesmo nos tratamentos sem déficit hídrico (sDH, At2 e At4) os teores de água no solo nos períodos de avaliação estavam em torno de 80% da capacidade de campo ($0,2 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$), por isso o potencial hídrico foliar nesses tratamentos apresentaram valores menores (em torno de $-0,3 \text{ Mpa}$) do que os comumente observados em medições realizadas na antemanhã, nas plantas em solos com teor de água na CC (Figura 4).

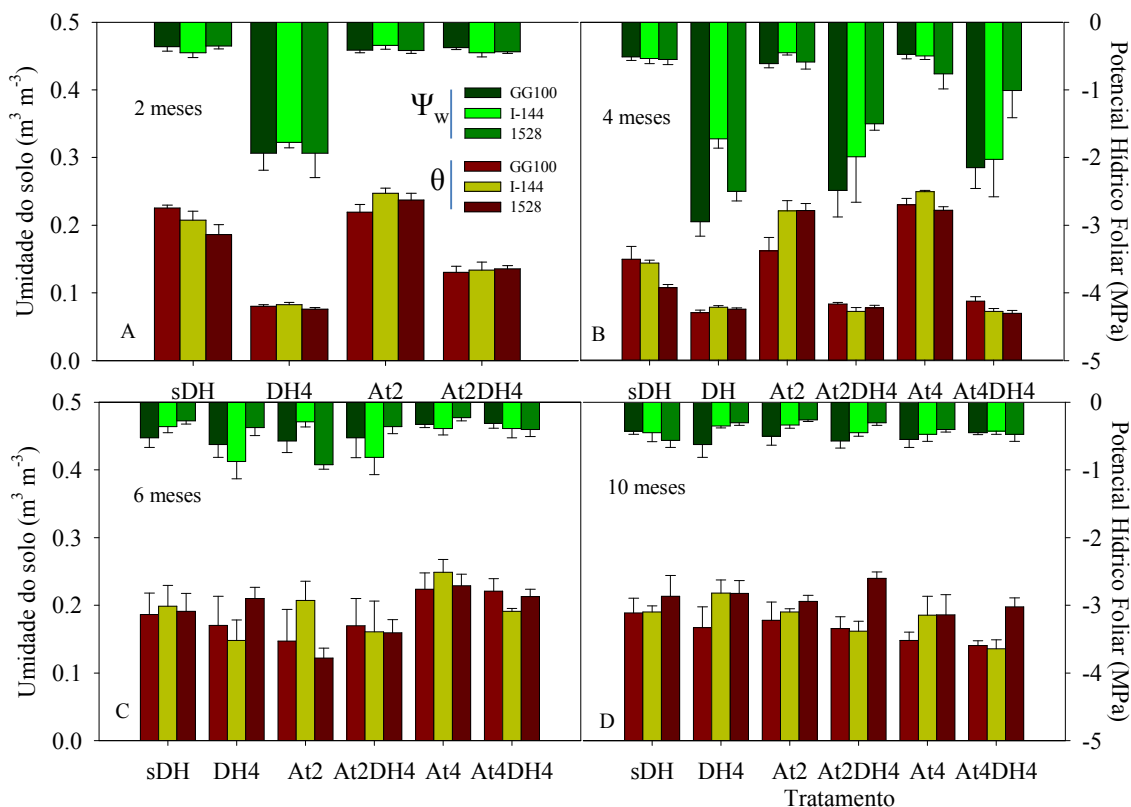


Figura 4 - Umidade do solo - θ ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$) e potencial hídrico foliar - Ψ_w (MPa) aos 2 (A), 4 (B), 6 (C) e 10 (D) meses, após o plantio das mudas dos 3 clones de eucalipto (GG100, I-144 e 1528). sDH- controle (sem déficit hídrico e sem atraso da adubação), DH4 - déficit hídrico de 4 meses e sem atraso da adubação, At2 - sem déficit hídrico e atraso de 2 meses da adubação, At2DH4 - déficit hídrico de 4 meses e atraso de 2 meses da adubação, At4 - sem déficit hídrico e atraso de 4 meses da adubação e At4DH4- atraso da adubação e déficit hídrico até 4 meses, após o plantio. Os valores dos tratamentos At4 e At4DH4 aos 2 meses (Figura 4a) correspondem aos mesmos dos tratamentos At2 e At2DH4, respectivamente. Barras representam médias \pm EP.

6.4. Trocas gasosas

As trocas gasosas foram influenciadas pelos diferentes fatores e pelas combinações de estresse (Figura 5). As plantas dos três clones submetidas à restrição hídrica por quatro meses (tratamento DH4) apresentaram os menores valores de A , g_s , E e C_i/C_a na avaliação aos dois e quatro meses (Figura 5a-h). As taxas fotossintéticas foram reduzidas quando houve restrição nutricional, sem ou com déficit hídrico, nos tratamentos At2 e At2DH4, respectivamente, por até dois meses; porém, os clones

demonstraram maiores reduções de A no tratamento DH4 (tratamento com estresse hídrico, sem atraso na adubação) (Figura 5a). Interessantemente, as reduções em fotossíntese observadas entre dois e quatro meses foram menos drásticas nos tratamentos com combinação de déficit hídrico e atraso da adubação (At2DH4 e At4DH4), quando comparado com o tratamento DH4, em que foi submetido apenas ao déficit hídrico (Figura 5a e e). As plantas submetidas à restrição nutricional por 2 meses (tratamento At2), já na avaliação aos 4 meses, evidenciaram taxas fotossintéticas semelhantes ao tratamento que não houve restrição dos fatores de crescimento (tratamento sDH), assim permanecendo até a avaliação final, aos 10 meses. Da mesma forma, o tratamento At4 em todos os clones proporcionou valores de A próximos aos tratamentos DH aos 6 meses, a primeira avaliação após a adubação neste tratamento, mantendo-se até os 10 meses (Figura 6a). Após 6 meses, os demais tratamentos resultaram em valores de A similares ao tratamento sDH em todos os clones.

A razão entre as concentrações de CO_2 subestomática (C_i) e ambiente (C_a) (C_i/C_a) foi afetada pelas restrições hídricas impostas às plantas (Figura 5c e g). No entanto, apenas o tratamento com déficit hídrico sem atraso da adubação (DH4) causou reduções significativas aos dois e quatro meses em todos os clones (Figura 5c e g). O tratamento At2DH4 no clone I-144 também causou reduções em C_i/C_a , porém apenas aos quatro meses (Figura 5g). A razão C_i/C_a permaneceu constante nos demais tratamentos (At2, At4 e At4DH4) aos dois e quatro meses, não sendo significativamente diferentes do tratamento sDH (Figura 5c e g). Aos seis meses, observou-se tendência de aumento na razão C_i/C_a em todos os tratamentos que passaram por algum período de estresse, independentemente do clone. Após esse período, não foram observadas diferenças entre os tratamentos (Figura 6g).

Em razão das taxas de transpiração (E) serem estritamente dependentes da magnitude da abertura estomática, mensurada neste trabalho por meio da condutância estomática (g_s), as diferenças de E entre os tratamentos dentro de um mesmo genótipo foram quase que idênticas às observadas em g_s . Como já citado, reduções significativas foram observadas em E e g_s no tratamento DH4, nas medições feitas aos dois e quatro meses em todos os clones. Nos demais tratamentos, não foram observadas reduções em g_s e E no segundo mês do experimento (Figura 5b e d). No entanto, aos quatro meses, no tratamento At2DH4, os valores de g_s e E foram diferentes estatisticamente ao sDH para os clones GG100 e I-144 (Figura 5f e h).

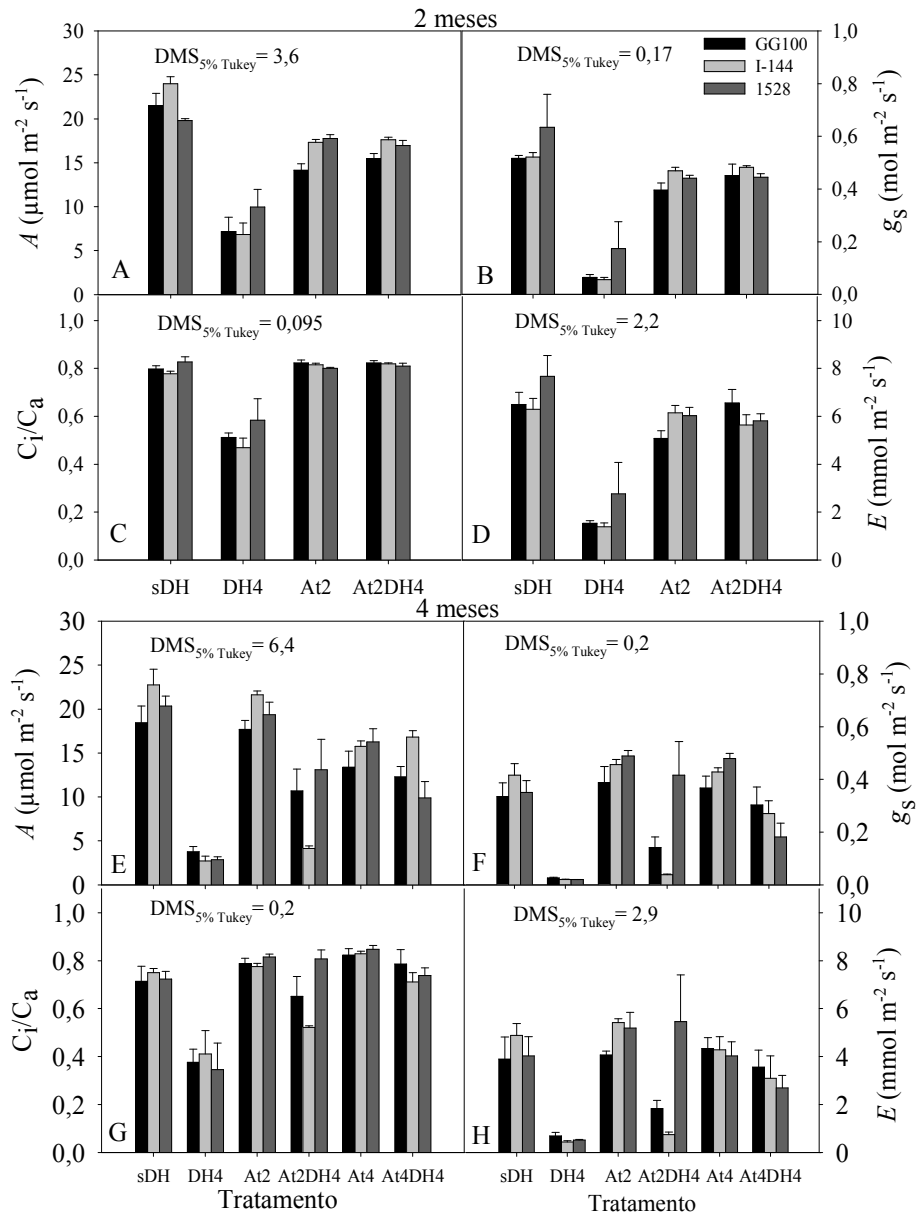


Figura 5 - Fotossíntese líquida (A), condutância estomática (g_s), relação da concentração interna e externa de CO_2 (C_i/C_a) e transpiração de água (E) aos dois (A-D) e quatro (E-H) meses após o plantio das mudas dos três clones (GG100, I-144 e 1528). sDH- sem déficit hídrico e sem atraso da adubação, DH4- déficit hídrico até quatro meses sem atraso da adubação, At2- atraso da adubação de dois meses sem déficit hídrico, At2DH4- atraso da adubação de dois meses e déficit hídrico até quatro meses, At4- atraso da adubação de quatro meses sem déficit hídrico e At4DH4- atraso da adubação e déficit hídrico até quatro meses, após o plantio. Os valores dos tratamentos At4 e At4DH4 aos dois meses (Figura 5a-d) correspondem aos mesmos dos tratamentos At2 e At2DH4, respectivamente. Barras representam médias \pm EP.

Após 6 meses do início do experimento, a magnitude de g_s e E dos tratamentos foi similar ao tratamento sDH em todos os clones (Figura 6b). Porém, observa-se que na avaliação aos 10 meses os valores de A e, de forma mais acentuada, os valores de g_s e E (Figura 6), para todos os tratamentos, apresentaram-se baixos, provavelmente devido às condições climáticas no período da avaliação (das 7h30 às 10h30), com os valores de déficit de pressão de vapor (DPV) mais altos que nas demais medições (Figura 1b), agravado pelo maior tamanho das plantas (Figura 3) confinadas a um recipiente que limita a capacidade de água disponível e o dimensionamento do equipamento de irrigação (2 l h^{-1}) que nesse período já não atendia a demanda de água necessária à planta, nos períodos de maior evapotranspiração. O DPV é a força que impulsiona o movimento da água de dentro da folha para o ambiente, processo denominado transpiração (E). Quando o DPV está alto, proporcionando uma taxa de difusão de água maior que a suprida pela estrutura vascular da planta, a planta entra numa situação de estresse hídrico. Portanto, uma das estratégias de resistência ao déficit hídrico é o fechamento dos estômatos, ou seja, as plantas regulam sua abertura para evitar a desidratação à medida que o DPV aumenta (STRECK, 2003).

A eficiência do uso da água estimada pela relação A/E , denominada eficiência instantânea do uso de água, teve aumentos significativos nas plantas submetidas ao déficit hídrico (tratamento DH4) aos dois meses para o clone 1528 (Figura 7a).

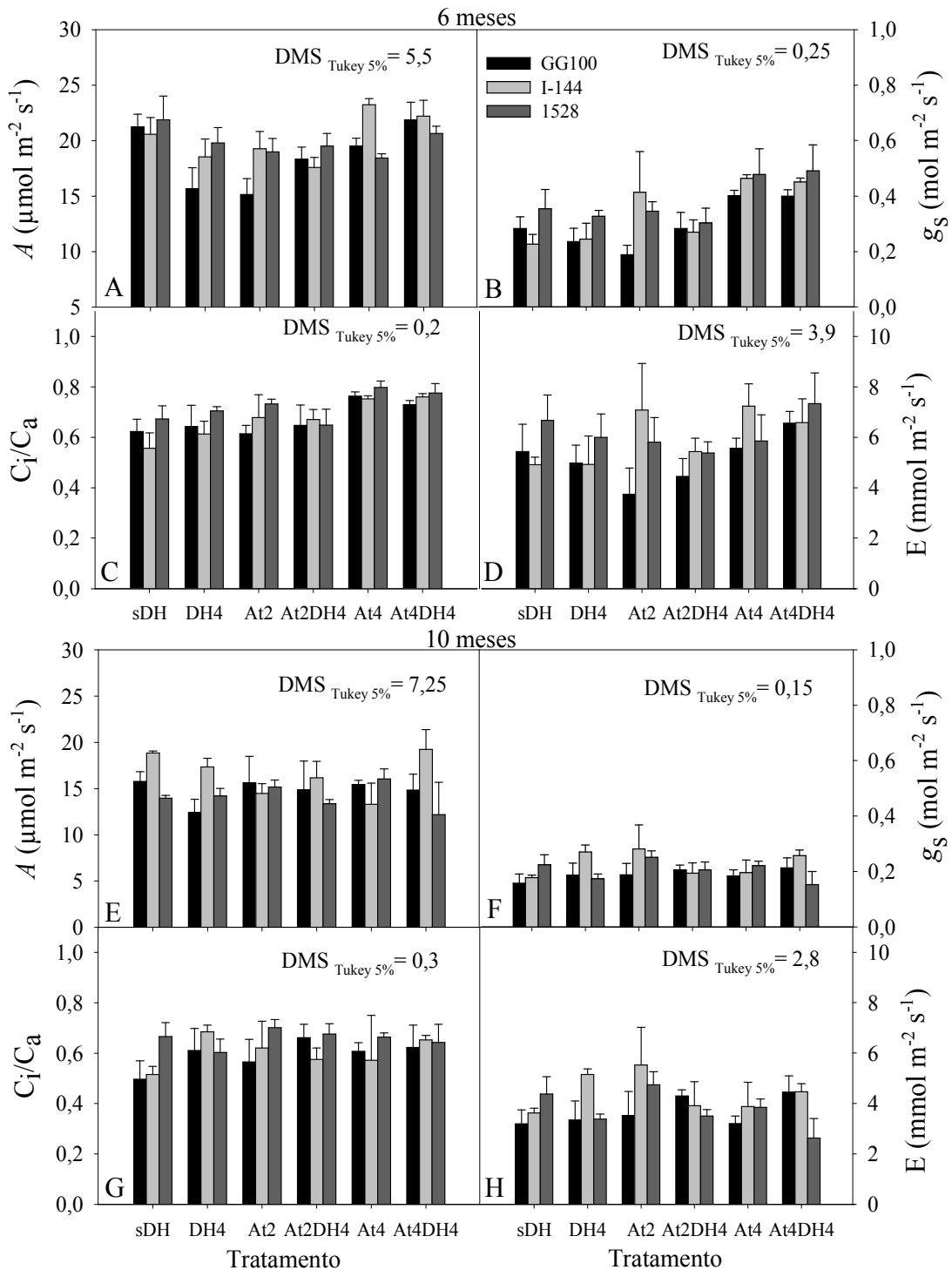


Figura 6 - Fotossíntese líquida (A), condutância estomática (g_s), relação da concentração interna e externa de CO₂ (C_i/C_a) e transpiração de água (E) aos 6 (A-D) e 10 (E-H) meses após o plantio das mudas dos três clones (GG100, I-144 e 1528). sDH - sem déficit hídrico e sem atraso da adubação, DH4 - déficit hídrico até quatro meses sem atraso da adubação, At2 - atraso da adubação de dois meses sem déficit hídrico, At2DH4 - atraso na adubação de 2 meses e déficit hídrico até 4 meses, At4 - atraso da adubação de 4 meses sem déficit hídrico e At4DH4 - atraso da adubação e déficit hídrico até 4 meses, após o plantio. Barras representam médias ± EP.

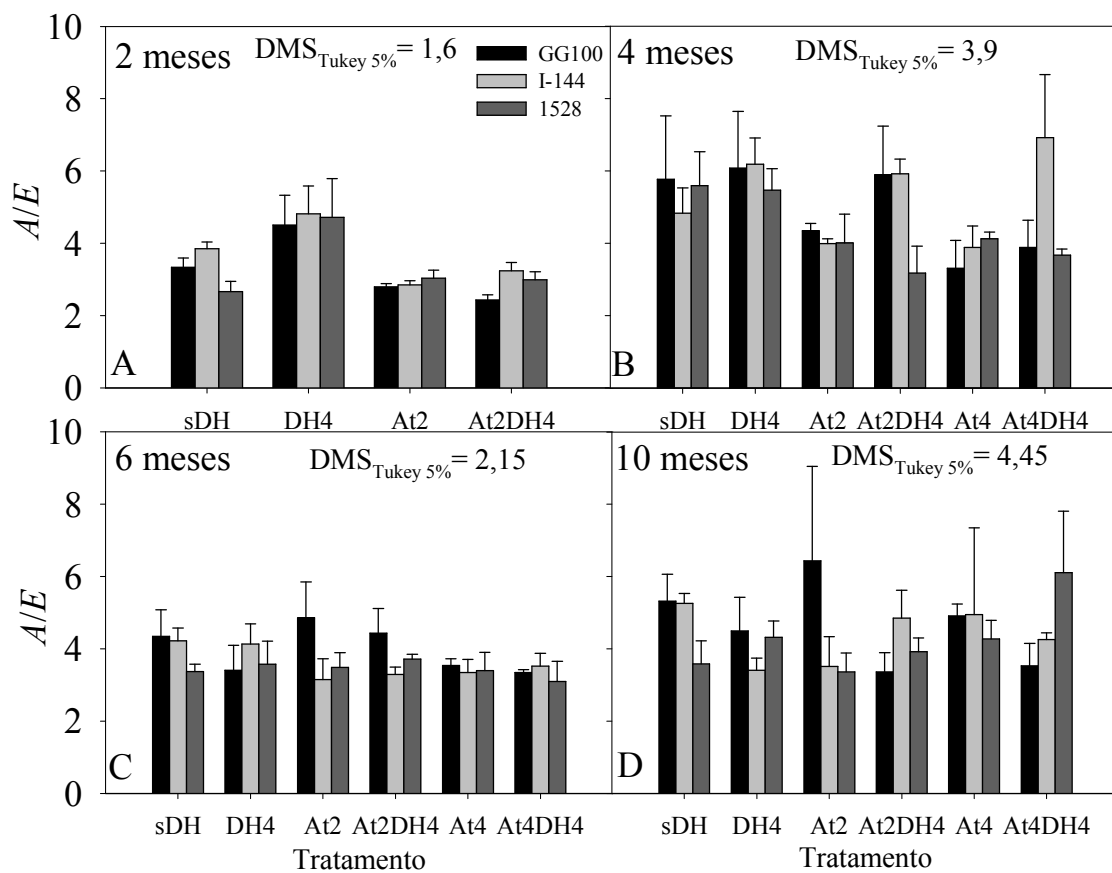


Figura 7 - Eficiência do uso de água (A/E) aos 2(A), 4(B), 6(C) e 10 (D) meses após o plantio das mudas dos 3 clones (GG100, I-144 e 1528). sDH - sem déficit hídrico e sem atraso da adubação, DH4 - déficit hídrico até 4 meses sem atraso da adubação, At2 - atraso da adubação de 2 meses sem déficit hídrico, At2DH4 - atraso da adubação de 2 meses e déficit hídrico até 4 meses, At4 - atraso da adubação de 4 meses sem déficit hídrico e At4DH4 - atraso da adubação e déficit hídrico até 4 meses, após o plantio. Os valores dos tratamentos At4 e At4DH4 aos 2 meses (Fig 7A-D) correspondem aos mesmos dos tratamentos At2 e At2DH4, respectivamente. Barras representam médias \pm EP.

6.5. Fluorescência da clorofila *a*

De maneira geral, as plantas que passaram por período de estresse sofreram reduções no rendimento quântico efetivo do fotossistema II ($Y(II)$) e aumento no rendimento quântico da dissipação de energia regulada no fotossistema II ($Y(NPQ)$). Porém, com exceção do tratamento DH4 no clone GG100, com o ressuprimento das condições adequadas, os valores retornaram aos observados no tratamento-controle. Foram observadas diferenças em rendimento quântico da dissipação de energia não regulada no fotossistema II ($Y(NO)$) aos dois meses, nas plantas submetidas aos tratamentos DH4, At2 e At2DH4 (clone I-144) e At2DH4 (clone GG100), e aos quatro meses, nos tratamentos DH4, At2DH4 e At4 (clone I-144) e At4DH4 (clone 1528). Ressalta-se que as reduções em $Y(II)$ e o aumento em $Y(NPQ)$ aos dois meses foram mais pronunciados no clone GG100 (Figura 8a e b).

Aos quatro meses, apenas as plantas submetidas ao déficit hídrico (tratamento DH4) apresentaram reduções significativas em $Y(II)$, em todos os clones; porém, verificaram-se, também, reduções nos tratamentos At4 e At4DH4, no clone GG100; At2DH4 e At4, no clone I-144; e At4 e At4DH4, no clone 1528. De acordo com isso, observou-se que o $Y(NPQ)$ teve aumentos significativos nos tratamentos DH4, At4 e At4DH4, no clone GG100; DH4, At2DH4 e At4, no clone I-144; e DH4 e At4DH4, no clone 1528 (Figura 8d e e).

Aos seis meses não foram observadas diferenças em $Y(II)$. No entanto, de maneira geral, observou-se que os valores nesse período ficaram bem menores que nos outros períodos de medição, mesmo o controle, tratamento sDH (Figura 8g e h), devido provavelmente às condições climáticas na região no período da avaliação, aos seis meses, ou seja, baixa umidade relativa do ar, altas temperaturas, velocidade do vento e radiação solar, resultando em alta evapotranspiração (Figura 1a).

Aos 10 meses, com exceção do tratamento DH4, do clone GG100, não foram observadas diferenças em $Y(II)$, demonstrando a capacidade de recuperação do FSII após um período de estresse no início do crescimento. Concomitante a isso, foi observado aumento de $Y(NPQ)$, significativamente, no tratamento DH4, em relação ao sDH do clone GG100 (Figura 8j e l).

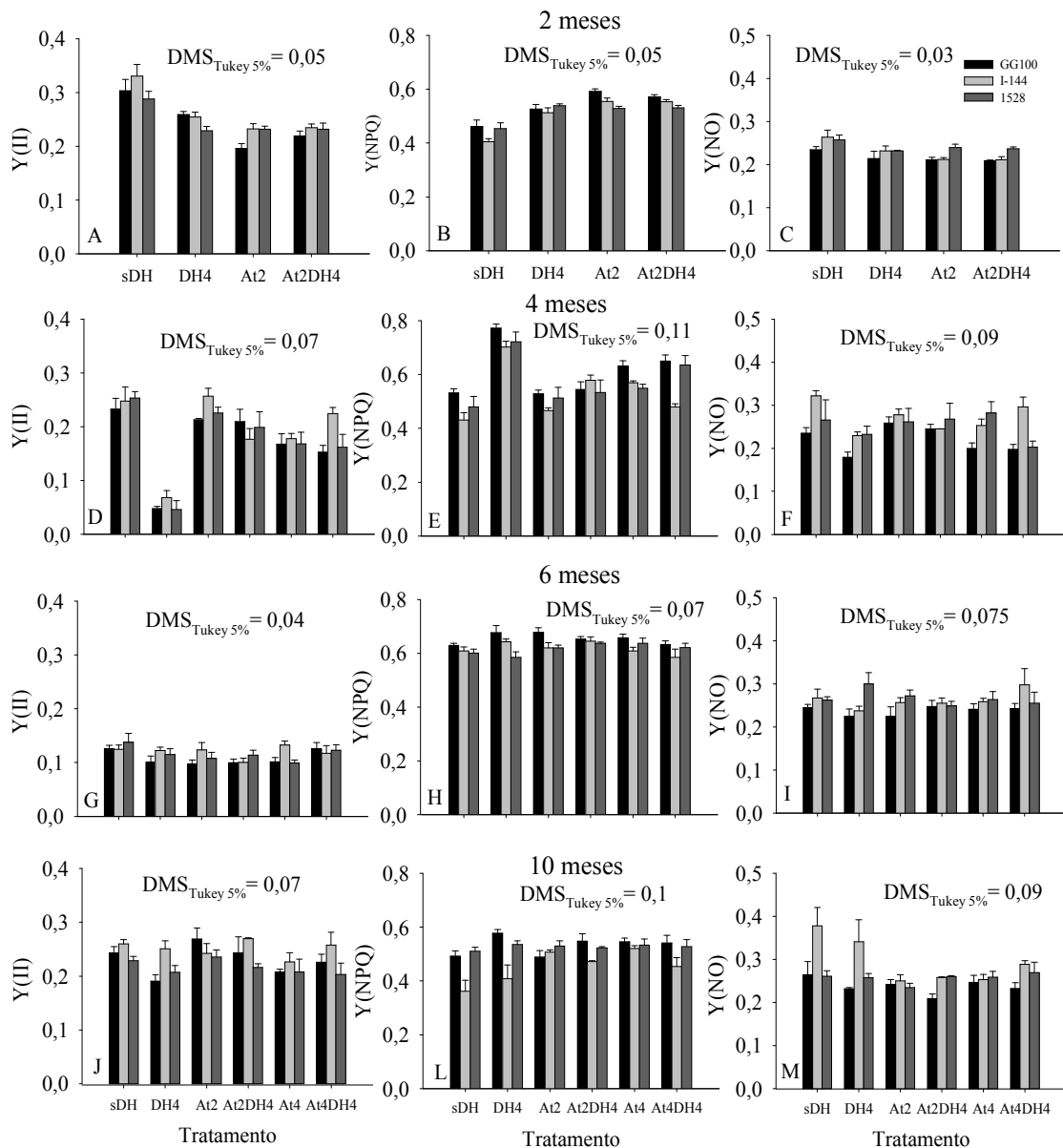


Figura 8 - Valores de Y(II)- rendimento quântico efetivo do Fotossistema II, Y(NPQ)- rendimento quântico de dissipação de energia regulada no Fotossistema II e Y(NO)- rendimento quântico de dissipação de energia não regulada no Fotossistema II, aos 2 (A-C), 4 (D-F), 6 (G-I) e 10 (J-M) meses após o plantio das mudas de 3 clones de eucalipto (GG100, I-144 e 1528). sDH - sem déficit hídrico e sem atraso da adubação, DH4- déficit hídrico até 4 meses sem atraso da adubação, At2- atraso da adubação de 2 meses sem déficit hídrico, At2DH4 - atraso da adubação de 2 meses e déficit hídrico até 4 meses, At4- atraso da adubação de 4 meses sem déficit hídrico e At4DH4- atraso da adubação e do déficit hídrico até 4 meses, após o plantio. Os valores dos tratamentos At4 e At4DH4 aos 2 meses (Figura 8a-c) correspondem aos mesmos dos tratamentos At2 e At2DH4, respectivamente. Barras representam médias \pm EP.

A taxa de transporte de elétrons (ETR) foi afetada pelos fatores de estresse impostos às plantas. Aos dois meses, a ETR foi significativamente reduzida nos tratamentos DH4, At2 e At2DH4 em todos os clones. Entretanto, o coeficiente de extinção fotoquímica (qL) não diferiu significativamente entre os tratamentos (Figura 9a e b), nessa avaliação. Aos quatro meses, o qL apresentou diferença significativa em relação ao sDH para todos os clones no tratamento DH4 (Figura 9d). Já a ETR, além do tratamento DH4 para todos os clones, dos tratamentos At4DH4 (clone GG100), At2 e At2DH4 (clone I-144) e At4 e At4DH4 (clone 1528), foi diferente daquela correspondente ao tratamento sDH.

Aos seis meses, os valores de ETR e qL para todos os tratamentos foram iguais estatisticamente aos do tratamento sDH. Porém, nessa avaliação, verificou-se que os valores, como já mencionados anteriormente, ficaram muito baixos, inclusive os do tratamento sDH (Figura 9e e f). Aos 10 meses, com exceção dos valores de ETR no tratamento DH4 do clone GG100, todos os outros tratamentos não diferiram estatisticamente do tratamento sDH (Figura 9g).

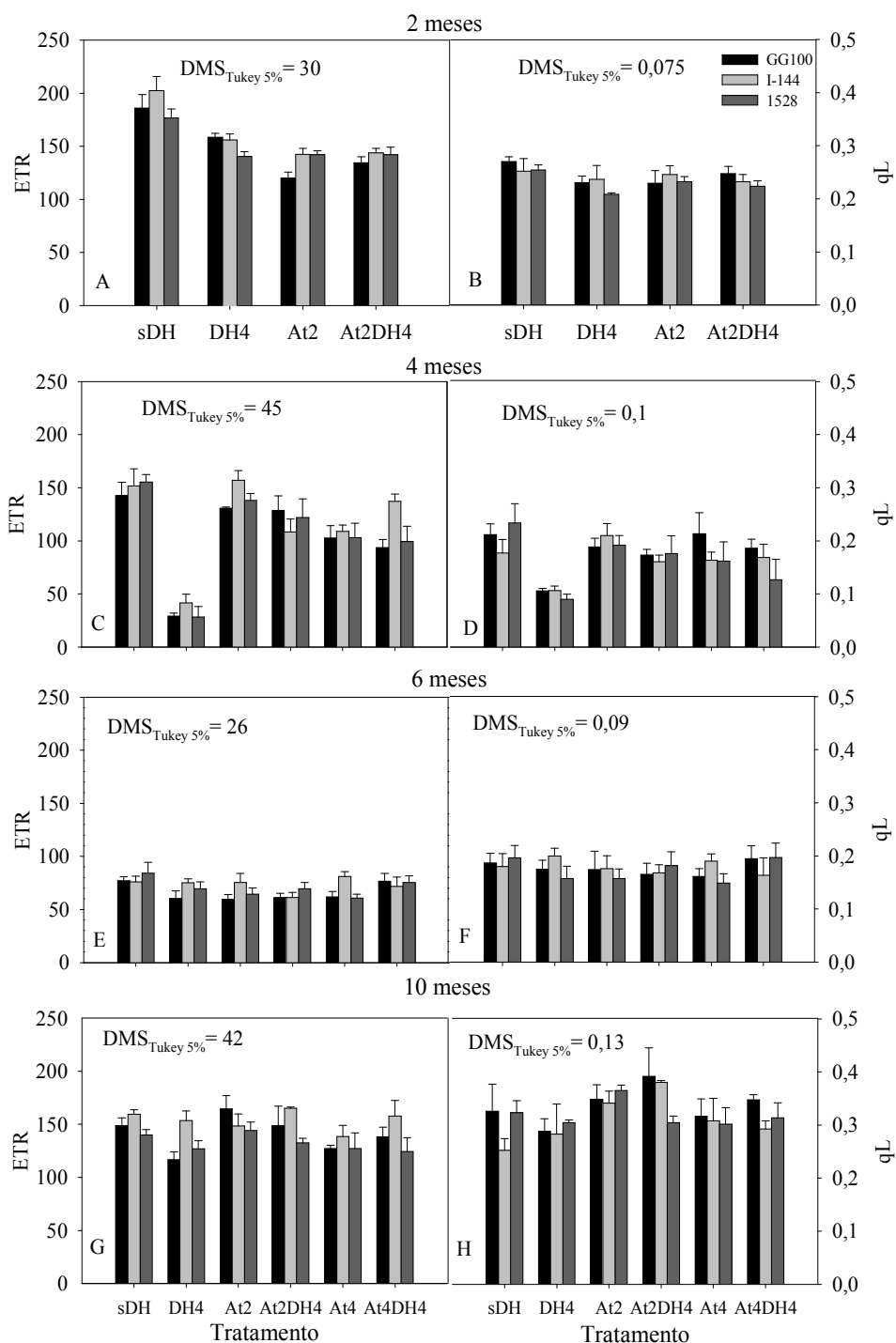


Figura 9 - Taxa de transporte de elétrons (ETR) e coeficiente de extinção fotoquímico (qL), aos 2 (A e B), 4 (C e D), 6 (E e F) e 10 (G e H) meses após o plantio das mudas de 3 clones de eucalipto (GG100, I-144 e 1528). sDH - sem déficit hídrico e sem atraso da adubação, DH4 - déficit hídrico até 4 meses sem atraso da adubação, At2 - atraso da adubação de 2 meses sem déficit hídrico, At2DH4 - atraso da adubação de 2 meses e déficit hídrico até 4 meses, At4 - atraso da adubação de 4 meses sem déficit hídrico e At4DH4 - atraso da adubação de 4 meses e déficit hídrico até 4 meses, após o plantio. Os valores dos tratamentos At4 e At4DH4 aos 2 meses (Figura 9a-c) correspondem aos mesmos dos tratamentos At2 e At2DH4, respectivamente. Barras representam médias \pm EP.

6.6. Teores de açúcares

As restrições hídrica e nutricional e o tempo de cultivo influenciaram significativamente os teores de açúcares, que variaram, também, de acordo com o material genético. Em comum, as plantas submetidas à restrição hídrica (tratamento DH4) por dois meses apresentaram aumentos significativos nos teores de açúcares em todos os clones (Figura 10a-c). No entanto, as plantas nos demais tratamentos (At2 e At2DH4), que estavam sob estresse até à primeira avaliação (dois meses), tiveram os teores de frutose aumentados apenas no clone I-144 (Figura 10c). Em contrapartida, os teores de sacarose aumentaram em todos os clones aos dois meses nos tratamentos At2 e At2DH4 (Figura 10b).

Embora os teores de glicose e frutose tenham mudado pouco em razão do estresse até dois meses nos tratamentos At2 e At2DH4 no clone GG100, diferenças significativas foram encontradas na avaliação feita aos quatro meses. Nesse contexto, os teores de glicose e frutose foram significativamente aumentados nos tratamentos At4 e At4DH4 (Figura 10d e f). Os teores de sacarose, ao contrário, apresentaram valores similares aos do tratamento sDH; apenas o tratamento At4DH4 foi significativamente diferente do sDH (Figura 10e). No que se refere aos outros clones, as respostas do clone I-144 foram semelhantes às do GG100, porém, adicionalmente, os teores de glicose (Figura 10d) e sacarose (Figura 10e) do tratamento DH4 foram menores e maiores que os do tratamento sDH, respectivamente. No clone 1528, os teores dos açúcares foram maiores no tratamento DH4 (glicose e frutose), quando comparados ao tratamento sDH (Figuras 10d-f).

Nenhuma diferença estatística foi observada nos teores de açúcares entre os tratamentos e o controle aos seis meses (Figura 10g-i). Da mesma forma, não foram encontradas diferenças significativas entre os tratamentos e o controle, quanto aos teores de açúcares do clone GG100 e I-144 aos 10 meses (Figura 10j-m). Em contrapartida, os níveis de glicose (Figura 10j), sacarose (Figura 10l) e frutose (Figura 10m) foram significativamente reduzidos em todos os tratamentos, comparados com o tratamento sDH, no clone 1528 aos 10 meses.

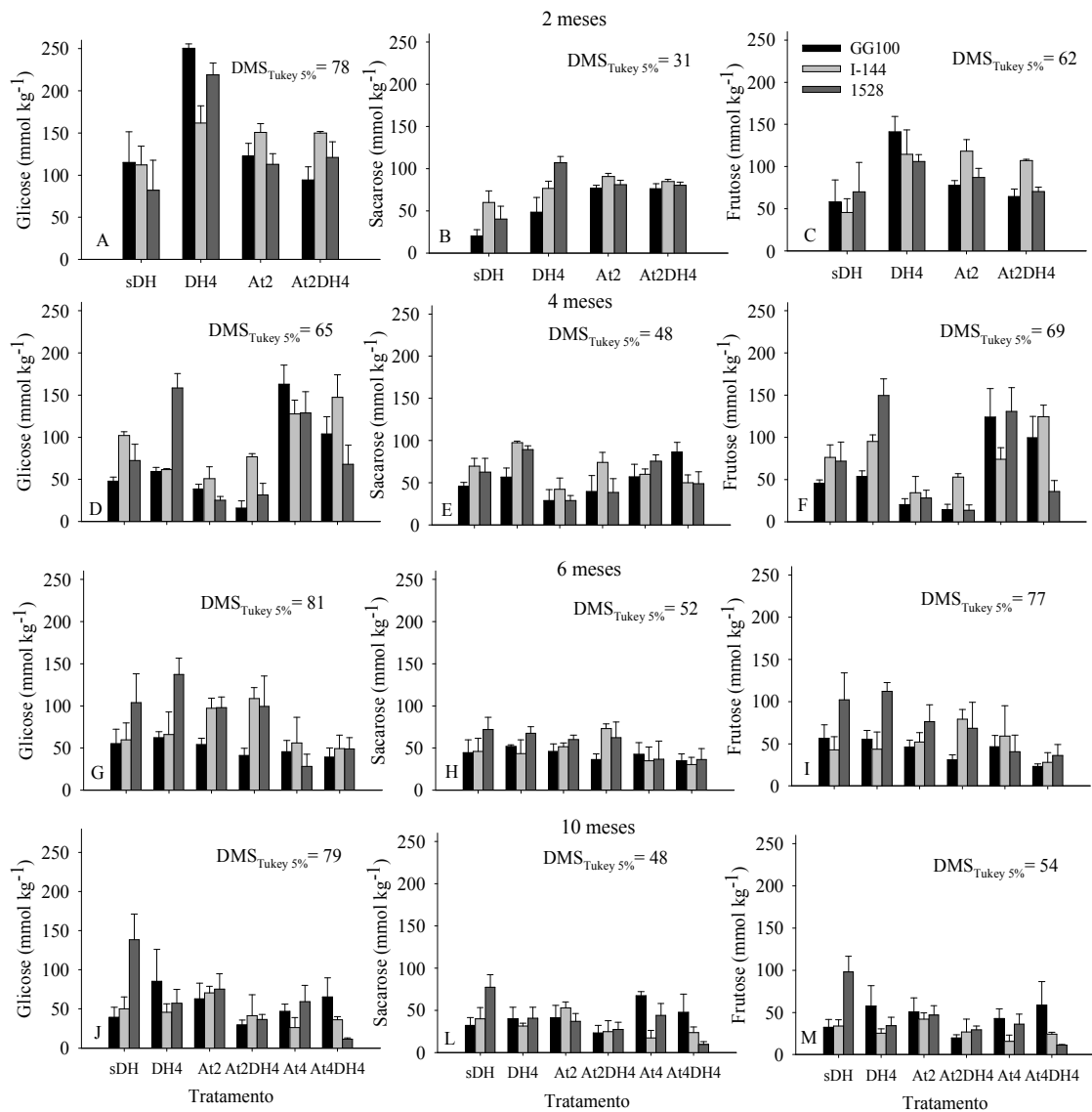


Figura 10 - Concentração de açúcares solúveis: glicose, sacarose e frutose (mmol kg^{-1} de matéria seca), aos 2 (A-C), 4 (D-F), 6 (G-I) e 10 (J-M) meses após o plantio das mudas de 3 clones de eucalipto (GG100, I-144 e 1528). sDH - sem déficit hídrico e sem atraso da adubação, DH4 - déficit hídrico até 4 meses sem atraso da adubação, At2- atraso da adubação de dois meses sem déficit hídrico, At2DH4 - atraso da adubação de 2 meses e déficit hídrico até 4 meses, At4 - atraso da adubação de 4 meses sem déficit hídrico e At4DH4 - atraso da adubação e déficit hídrico até 4 meses, após o plantio. Os valores dos tratamentos At4 e At4DH4 aos 2 meses (Figura 10a-c) correspondem aos mesmos dos tratamentos At2 e At2DH4, respectivamente. Barras representam médias \pm EP.

6.7. Teor de amido

Os teores de amido, aos dois meses, foram menores no clone I-144 e maiores no clone GG100 no tratamento DH4; porém, não foram observadas diferenças no clone 1528 nessas condições (Figura 11a). No entanto, aos 10 meses, não se encontraram diferenças significativas entre os tratamentos (Figura 11b). Ressalta-se que nas duas avaliações (2 e 10 meses) o teor de amido foi maior no clone GG100, independentemente do tratamento imposto.

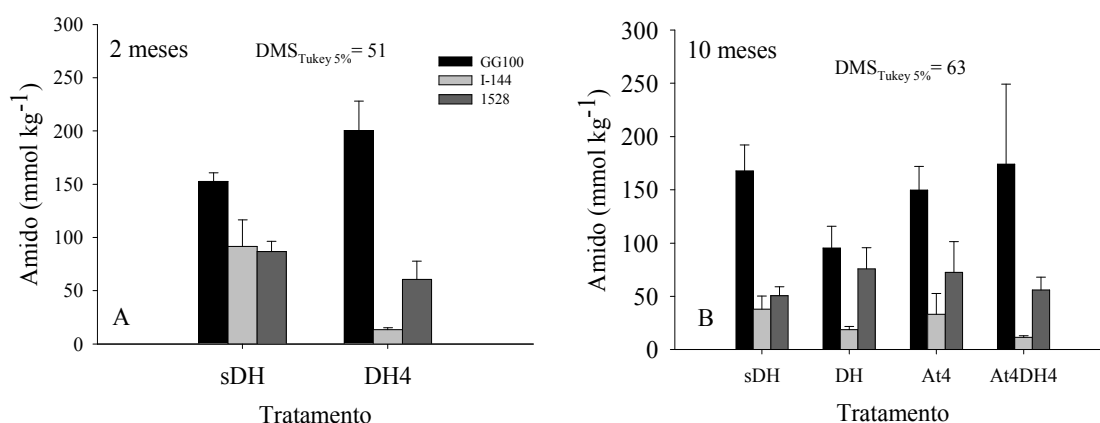


Figura 11 - Concentração de amido aos 2 (A) e 10 (B) meses após o plantio das mudas de 3 clones de eucalipto (GG100, I-144 e 1528). sDH- sem déficit hídrico e sem atraso da adubação, DH4- déficit hídrico até 4 meses sem atraso da adubação, At4- atraso da adubação de 4 meses sem déficit hídrico e At4DH4- atraso da adubação e déficit hídrico até 4 meses, após o plantio. Barras representam médias \pm EP.

6.8. Teores de nutrientes na folha

Foram observados baixos teores de nutrientes nas folhas das plantas em que ocorreu atraso na aplicação de adubo. Porém, na avaliação seguinte à aplicação desse, no quarto mês para o tratamento At2 e sexto mês para o At4, houve intensa absorção dos nutrientes, fato que, provavelmente, contribuiu para a recuperação acelerada de crescimento, observada nas plantas desse tratamento. Com relação ao tratamento que além do atraso na adubação também estava sob restrição hídrica (At2DH4), a recuperação do crescimento só foi observada depois de sanada a restrição hídrica, no

sexto mês da avaliação, juntamente com o tratamento At4DH4, em que o tempo decorrido de estresse foi semelhante para o nutricional e hídrico (Figura 12).

O teor de N foliar, aos dois meses, foi alto nos tratamentos em que não houve atraso da adubação, independentemente do regime hídrico. Quando houve atraso na adubação, os teores foram medianos. Ao se efetuar o ressuprimento dos nutrientes, o teor de N avaliado aos seis meses voltou a subir. Nos tratamentos em que o crescimento foi menor, esse alto teor de N se deve ao efeito de concentração.

Com relação ao P, observou-se efeito de diluição devido ao elevado crescimento das plantas no tratamento sDH em relação ao DH4, que apresentou maior teor de P foliar que o tratamento sDH (Figura 12d-f). Porém, o teor de P nas plantas dos demais tratamentos se elevou com a aplicação do fertilizante desde que o suprimento hídrico tenha sido adequado. O clone I-144 foi capaz de absorver mais P que os clones GG100 e 1528, mesmo na análise feita aos quatro meses e nos tratamentos (At4 e At4DH4) em que não havia ainda sido aplicado o nutriente (Figura 12d-f).

O teor de K foliar também foi elevado após o ressuprimento nutricional via adubação; no tratamento DH4 as plantas tinham teores de K mais baixos que as do sDH, devido à menor absorção por causa da limitação hídrica até os quatro meses; após esse período, observou-se maior teor de K nas folhas nesse tratamento que no tratamento sDH. Aos 10 meses, os tratamentos que sofreram atraso na adubação, principalmente o tratamento At4DH4 (maior nível de estresse), apresentaram maior teor de K nas folhas (Figura 12g-i).

Mesmo tendo sido aplicados cálcio (Ca) e o magnésio (Mg) antes do plantio em todo substrato, observou-se que seus teores nas folhas estavam abaixo dos valores de referência encontrados em plantios jovens de eucalipto, Ca ($4,46 \text{ g kg}^{-1}$) e Mg ($2,43 \text{ g kg}^{-1}$) (ROCHA, 2008; FERNANDES, 2010). Esses baixos valores decorreram do efeito de diluição, pois menores teores foram encontrados nos tratamentos sDH e DH4, em que as plantas apresentaram maior crescimento. O menor teor nas plantas do tratamento DH4 em comparação às do sDH advém da restrição no fluxo transpiracional e do transporte dos nutrientes no solo. A análise aos quatro meses tornou essa questão mais evidenciada, pois os maiores teores de Ca encontrados foram nos tratamentos com menor crescimento; porém, o tratamento At4DH4, que também impõe déficit hídrico, apresentou menor teor que o tratamento At4 sem estresse hídrico, isso em todos os clones. As plantas do tratamento DH4 aos quatro meses, em todos os clones, demonstraram menor teor de Ca em razão da associação de déficit hídrico e maior

crescimento inicial, pois esse tratamento recebeu adubação no plantio e irrigação até um mês após o plantio, o que possibilitou certo crescimento inicial; no entanto, a partir desse período ele sofreu déficit hídrico até aos quatro meses de idade (Figura 13a-c).

O teor de Mg apresentou padrão de resposta aos tratamentos semelhante ao Ca, inclusive os maiores valores alcançados ficaram abaixo dos de referência, como também observado para Ca (Figura 13d-f).

O enxofre situou-se em teores foliares abaixo dos valores de referência encontrados em plantios jovens de eucalipto na região norte do ES e sul da BA, de 2,3 g kg⁻¹ (ROCHA, 2008), e no Estado de SP de 1,7 g kg⁻¹ (FERNANDES, 2010), para todos os tratamentos e em todas as avaliações. Porém, verificou-se que nas avaliações após o ressurgimento nutricional com as adubações (dois meses para os tratamentos sDH e DH4; quatro meses para os tratamentos At2 e At2DH4; e seis meses para os tratamentos At4 e At4DH4) maiores valores foram encontrados (Figura 13g-i).

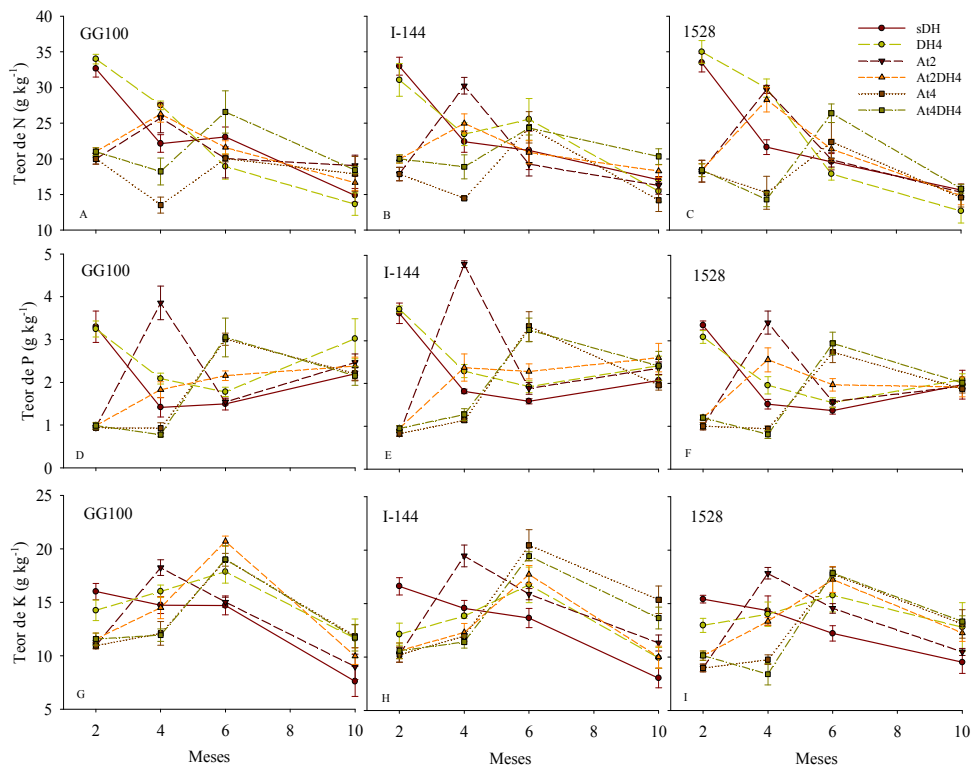


Figura 12 - Teores de N (A-GG100, B-I-144 e C-1528), P (D-GG100, E-I-144 e F-1528) e K (G-GG100, H-I-144 e I-1528) aos 2, 4, 6 e 10 meses, nos diferentes tratamentos: sDH - sem déficit hídrico e sem atraso da adubação, DH4 - déficit hídrico até 4 meses sem atraso da adubação, At2 - atraso da adubação de 2 meses sem déficit hídrico, At2DH4 - atraso da adubação de 2 meses e déficit hídrico até quatro meses, At4 - atraso da adubação de 4 meses sem déficit hídrico e At4DH4 - atraso da adubação e déficit hídrico até 4 meses, após o plantio.

O teor de Cu foliar evidenciou valores muito baixos na 1ª avaliação (aos dois meses), principalmente para os tratamentos que não receberam adubação no plantio. Aos quatro meses, os tratamentos At2 e At2DH4 apresentaram um teor de Cu mais elevado, que não se manteve na avaliação de seis meses (Figura 14a-c). Em razão disso, foi realizada uma adubação foliar em todas as plantas, que resultou em aumentos nos teores foliares na avaliação aos 10 meses, principalmente para os clones GG100 e 1528. Os tratamentos At2DH4, At4 e At4DH4 proporcionaram os teores de Cu mais baixos na avaliação aos 10 meses para os clones GG100 e 1528 (Figura 14a-c).

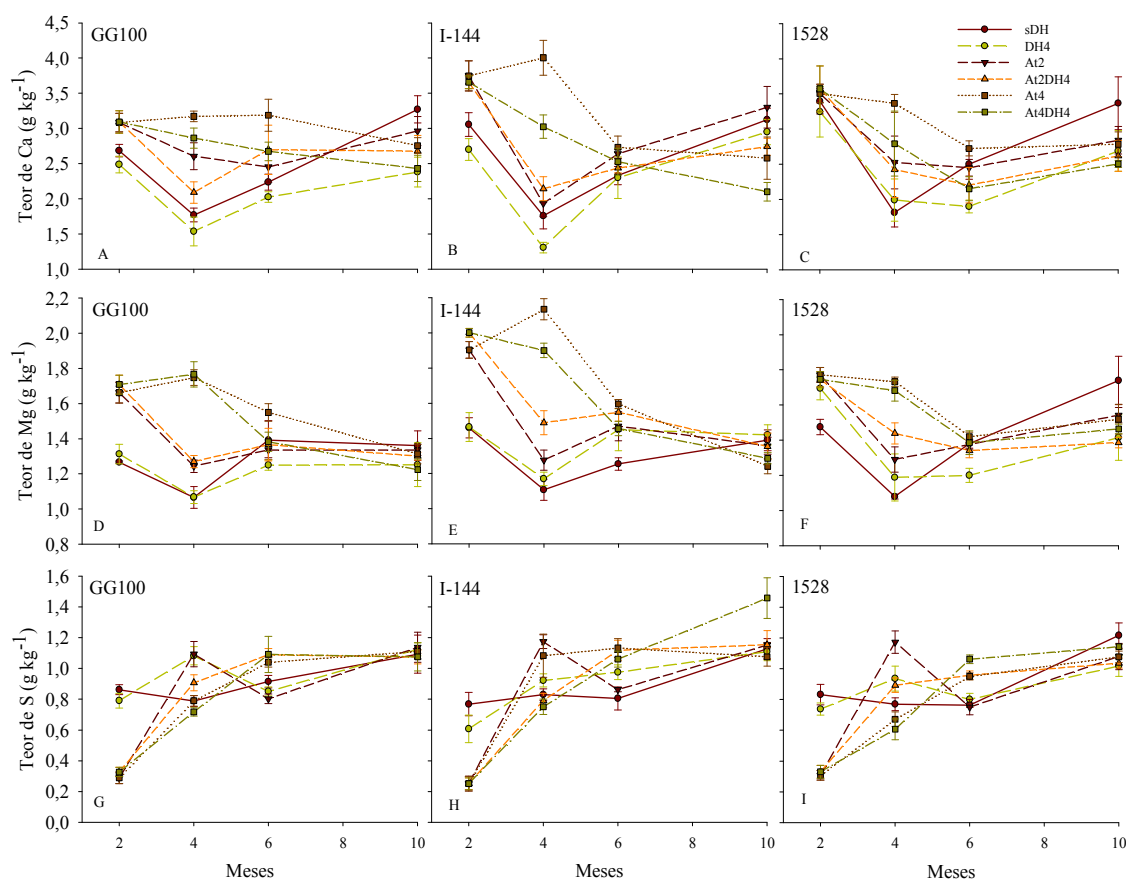


Figura 13 - Teores de Ca (A-GG100, B-I-144 e C-1528), Mg (D-GG100, E-I-144 e F-1528) e S (G-GG100, H-I-144 e I-1528) aos 2, 4, 6 e 10 meses, nos diferentes tratamentos: sDH - sem déficit hídrico e sem atraso da adubação, DH4 - déficit hídrico até 4 meses sem atraso da adubação, At2 - atraso da adubação de 2 meses sem déficit hídrico, At2DH4 - atraso da adubação de 2 meses e déficit hídrico até 4 meses, At4 - atraso da adubação de 4 meses sem déficit hídrico e At4DH4 - atraso da adubação e déficit hídrico até 4 meses, após o plantio.

O teor de Mn variou de maneira semelhante ao de Cu. Foram encontrados teores de Mn acima de 60 mg kg⁻¹, aos 4 e 6 meses, e acima de 120 mg kg⁻¹, aos 10 meses (Figura 14d-f)

A absorção de B teve padrão de resposta aos tratamentos, semelhante ao da absorção de P. Assim, verificou-se alto teor de B foliar aos 2 meses nos tratamentos sDH e DH4; entretanto, aos quatro meses, At2e At2DH4 (tratamentos que foram adubados aos 2 meses) apresentaram maiores teores de B que os outros tratamentos, mas o At2DH4 teve valores inferiores ao tratamento At2, provavelmente devido ao déficit hídrico, quando foi aplicado o nutriente no solo. Aos 6 meses, os tratamentos At4 e At4DH4 foram os que sobressaíram, visto que haviam recebido juntamente água e nutriente via adubação 2 meses antes. Aos 10 meses, os teores de B foliar encontrados foram semelhantes para todos os tratamentos e clones (Figura 14g-i).

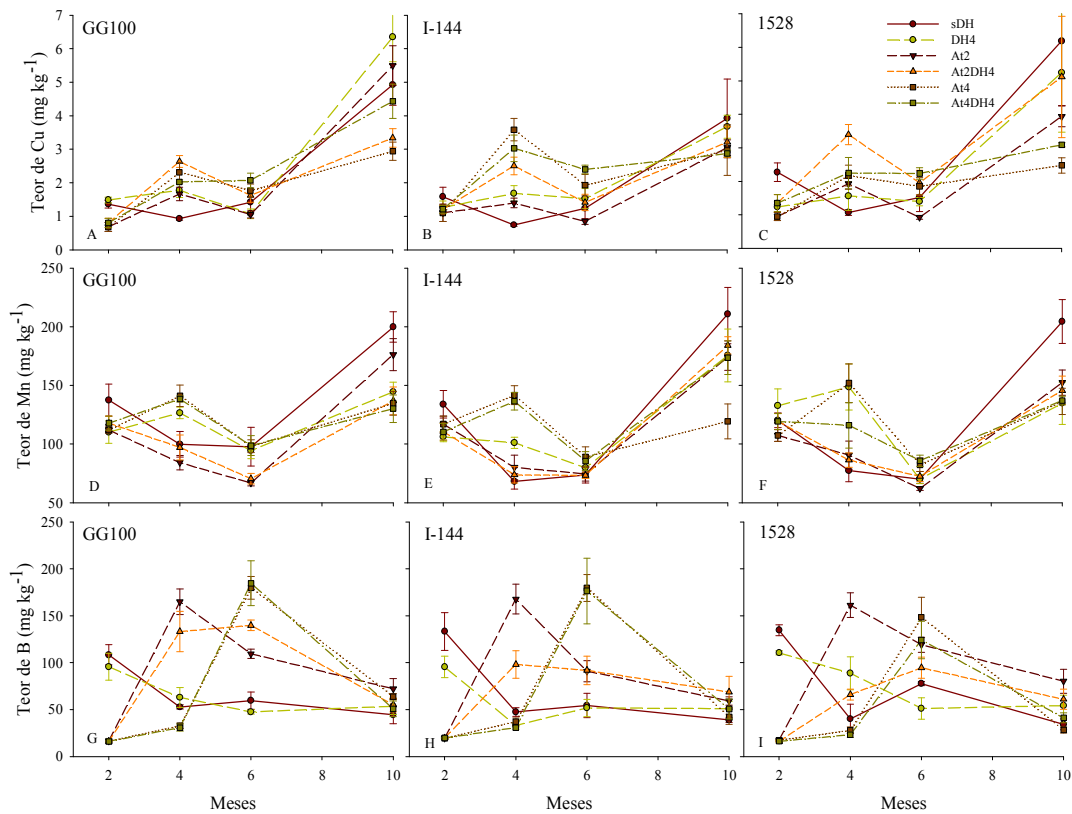


Figura 14 - Teores de Cu (A-GG100, B-I-144 e C-1528), Mn (D-GG100, E-I-144 e F-1528) e B (G-GG100, H-I-144 e I-1528) aos 2, 4, 6 e 10 meses, nos diferentes tratamentos: sDH- sem déficit hídrico e sem atraso da adubação, DH4- déficit hídrico até 4 meses sem atraso da adubação, At2- atraso da adubação de 2 meses sem déficit hídrico, At2DH4- atraso da adubação de 2 meses e déficit hídrico até 4 meses, At4- atraso da adubação de 4 meses sem déficit hídrico e At4DH4- atraso da adubação e déficit hídrico até 4 meses, após o plantio.

6.9. Conteúdo de nutrientes nas plantas

O conteúdo do nutriente na planta está relacionado com o teor de nutriente juntamente com a quantidade de matéria seca de cada parte da planta (folha, galho, casca, caule, raízes fina e grossa). De maneira geral, fatores que reduzem os teores e, ou, a matéria seca, diminuem o conteúdo desses nutrientes. Em razão disso, verificou-se que, de maneira geral, o acúmulo de nutrientes nas plantas foi menor no tratamento At4. Algumas exceções foram verificadas, o clone GG100 apresentou menores conteúdos de N nos tratamentos DH4 e At2DH4. O conteúdo de P foi menor também nos tratamentos At2DH4 e At4DH4, para o clone GG100, e At4DH4, para o clone I-144; o conteúdo de K ficou menor apenas nos tratamentos DH4 e at4, no clone GG100 (Figura 15).

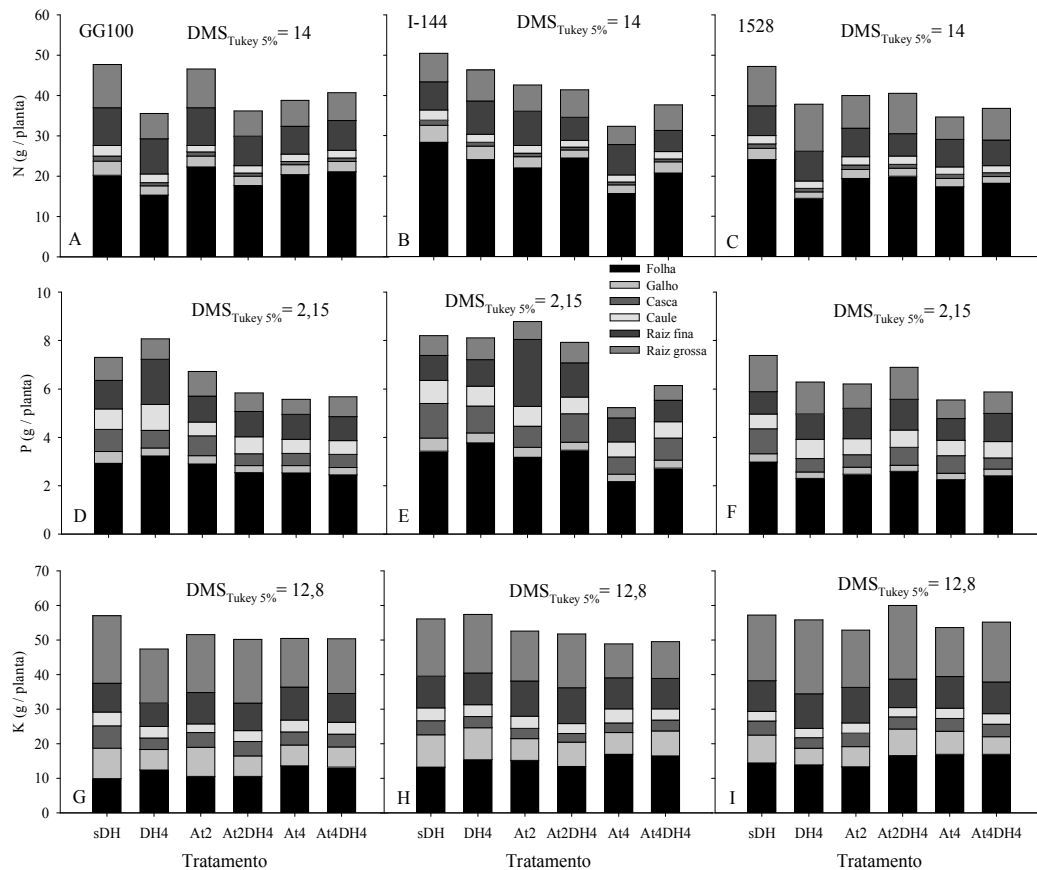


Figura 15 - Conteúdo de N (A-C), P (D-F) e K(G-I) nas diferentes partes das plantas (folhas, galhos, casca, caule, raízes fina e grossa e total) dos clones de eucalipto (GG100 A, D e G, I-144 B, E e H, 1528 C, F e I), crescendo em condições adequada de nutrientes, sem estresse hídrico sDH (controle) e com estresse hídrico (DH4) até quatro meses. Atraso da adubação de dois e quatro meses, sem estresse hídrico (At2 e At4) e com estresse hídrico (At2DH4 e At4DH4), respectivamente. DMS refere-se ao conteúdo total do nutriente na planta.

Os conteúdos de Ca e Mg também ficaram menores nos tratamentos At4 e At4DH4, para o clone I-144; e o conteúdo de S, nos tratamentos At2, At2DH4 e At4DH4, no clone GG100. O tratamento At4 no clone I-144 e todos os tratamentos no clone 1528 ficaram com valores menores que o tratamento sDH (Figura 16).

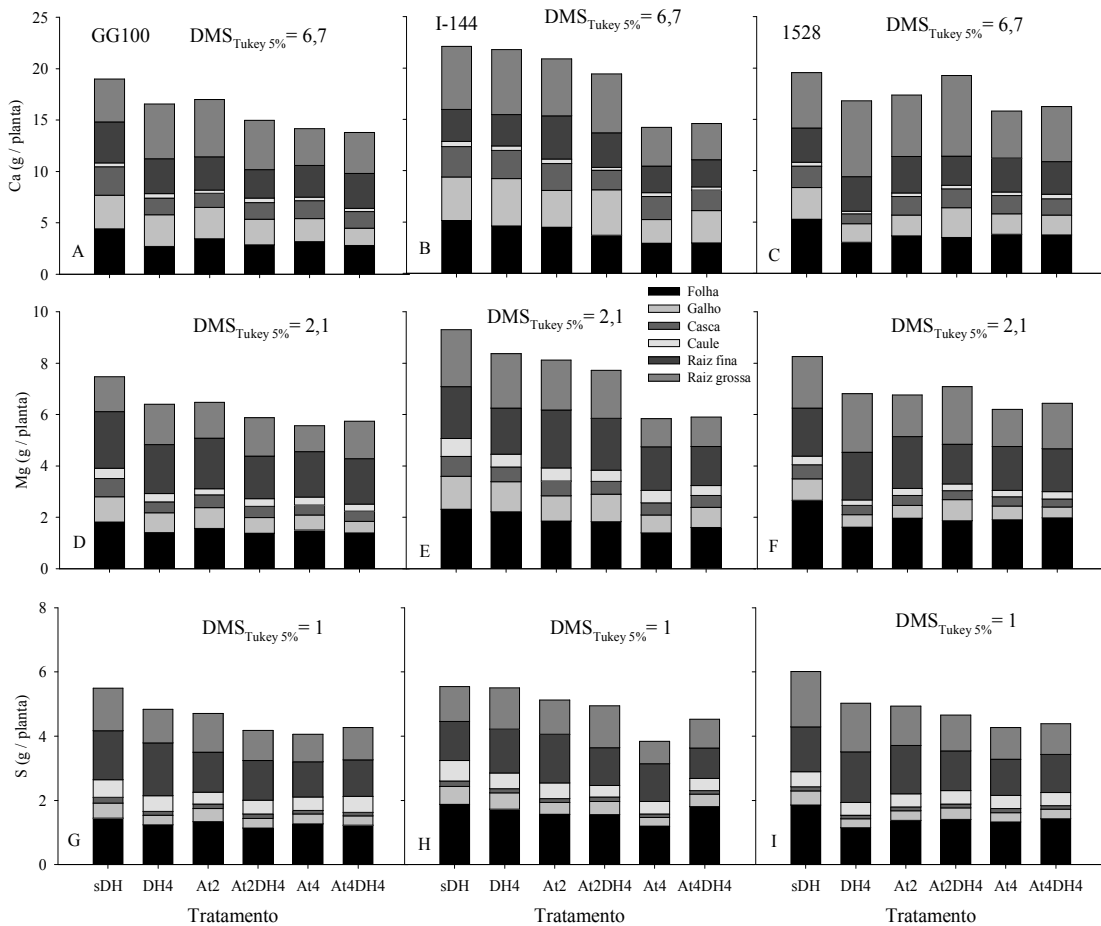


Figura 16 - Conteúdo de Ca (A-C), Mg (D-F) e S(G-I) nas diferentes partes das plantas (folhas, galhos, casca, caule, raízes fina, grossa e total) dos clones de eucalipto (GG100 A, D e G, I-144 B, E e H, 1528 C, F e I), crescendo em condições adequadas de nutrientes, sem estresse hídrico sDH (Controle) e com estresse hídrico (DH4) até quatro meses. Atraso da adubação de dois e quatro meses, sem estresse hídrico (At2 e At4) e com estresse hídrico (At2DH4 e At4DH4), respectivamente. DMS refere-se ao conteúdo total do nutriente na planta.

Os valores médios e erro-padrão do conteúdo dos nutrientes (N, P, K, Ca, Mg, S, Cu, Mn e B) nas diferentes partes das plantas (folha, galho, casca, caule e raízes grossa e fina) e clones (GG100, I-144 e 1528) podem ser encontrados no Apêndice.

7. DISCUSSÃO

As plantas de eucalipto submetidas ao déficit hídrico e, ou, nutricional demonstraram capacidade de recuperação depois de sanadas as condições de estresse (Figura 3). O clone I-144 quando submetido a déficit hídrico sem atraso da adubação (DH4) apresentou maior resiliência que os demais clones; no entanto, nos tratamentos com atraso da adubação associados ou não ao déficit hídrico (At2, At2DH4, At4 e At4DH4) o clone 1528 evidenciou indicadores de maior resiliência do que os demais (Tabela 4). As plantas que foram expostas a mais de um fator de estresse, défices hídrico e nutricional (At2DH4), apresentaram em alguns casos melhor recuperação, comparadas com as que estavam sujeitas a apenas um dos fatores isolados (DH4) (Tabela 4). Assim, déficit hídrico e baixa disponibilidade nutricional revelaram mecanismos em comum de resposta a esses estresses, ou seja, o fenômeno de tolerância cruzada pode ocorrer nessas condições, o que pode ter minimizado os efeitos de um dos fatores de estresse, contribuindo para o melhor desenvolvimento das plantas após serem estabelecidas as condições adequadas de água e nutrientes no solo, comparado com esses fatores isoladamente. Esse processo permite a aclimação das plantas a uma variedade de fatores de estresse, após a exposição de um fator específico (PASTORI; FOYER, 2002). No entanto, poucos trabalhos investigam o efeito de diferentes fatores de estresse combinados sobre o crescimento e a produção de plantas cultivadas. Nesse sentido, os resultados deste trabalho forneceram importantes informações no que concerne às respostas de diferentes clones de eucalipto ao déficit hídrico, somado ou não com atraso no suprimento nutricional via adubação, contribuindo para o entendimento dos mecanismos utilizados pelas plantas de eucalipto para manter um alto grau de resiliência.

A magnitude da redução em g_s no segundo mês foi menor nos tratamentos em que houve a combinação de déficit hídrico e atraso na adubação (At2DH4 e At4DH4), quando comparado com o tratamento DH4. No entanto, ressalta-se que as taxas de θ também foram maiores nesses tratamentos (At2DH4 e At4DH4); assim, esses valores podem estar mais relacionados com as taxas de θ do que com o tratamento em si. Interessantemente, as maiores g_s nos tratamentos At2DH4 e At4DH4 refletiram o Ψ_w , pois as plantas, mesmo sob baixa θ no solo, mantiveram constante o Ψ_w , sobretudo no clone 1528, condições favoráveis para manter os estômatos mais abertos. Quando o estresse se desenvolve muito rápido, ou quando a planta alcança sua máxima área foliar

antes da ocorrência do estresse, as plantas apresentam o mecanismo de fechamento dos estômatos como principal resposta contra a dessecação. Embora as plantas possuam a capacidade de fechar os estômatos quando submetidas a déficit hídrico, diferenças importantes entre diferentes genótipos podem ser encontradas no que diz respeito à velocidade com que a planta é capaz de detectar a falta de água e reagir antecipando o fechamento dos estômatos (LUAN, 2002; PATAKI; OREN, 2003; RAÍ; TAKABE, 2006). No entanto, embora não tenham sido notadas diferenças substanciais entre os clones de eucalipto estudados, ressalta-se que todos apresentaram rápida capacidade de recuperação, após o período de estresse; por exemplo, no sexto mês de avaliação, g_s , A e E apresentaram valores iguais ao tratamento-controle (sDH) em todos os clones. Essa capacidade de recuperação foi fortemente governada pela retomada da turgescência dos tecidos foliares, evidenciado pelos valores de Ψ_w . Flexas et al. (2010) sugeriram que a recuperação da planta após um período de seca envolve dois estádios: o primeiro envolve a reidratação foliar e a abertura estomática, enquanto o segundo abrange a síntese de novas proteínas relacionadas com o processo fotossintético que outrora sofreram danos foto-oxidativos. Assim, a recuperação da turgescência foliar pode ter favorecido para que as magnitudes das taxas de trocas gasosas fossem também recuperadas, o que, por fim, contribuiu para a retomada do crescimento em altura e diâmetro do caule ao longo do tempo, culminando em acúmulo de massa de matéria seca com valores próximos ao observado no tratamento sDH.

Cabe ressaltar que diferenças genotípicas que se traduzem em variações morfológicas podem contribuir substancialmente para a tolerância ao déficit hídrico e ao aumento em Ea (PINHEIRO et al., 2005). Em nível foliar, a Ea pode ser denominada eficiência instantânea do uso da água (A/E), relacionada às taxas de fotossíntese (A) e transpiração (E), obtidas por medidas pontuais de trocas gasosas. A Ea tem sido um dos parâmetros fisiológicos chave para a seleção de genótipos com potencial para crescimento, sobrevivência e manutenção da produtividade em áreas sujeitas a restrições hídricas (CONDON et al., 2004). No entanto, neste trabalho, não foram verificadas diferenças substanciais em A/E entre os genótipos, bem como entre os tratamentos. Portanto, esse parâmetro parece não ser o mais eficiente para discernir clones com tolerância diferencial ao déficit hídrico, ao menos para as condições usadas neste estudo.

Neste trabalho, aumentos significativos no rendimento quântico da dissipação de energia regulada no fotossistema II ($Y(NPQ)$) foram encontrados em todos os clones

de eucalipto aos quatro meses no tratamento DH4 (Figura 8e). Esse parâmetro está relacionado ao processo em que a energia luminosa é rapidamente dissipada no complexo antena do FSII (POGSON; RISSLER, 2000; PÉREZ-BUENO et al., 2008). Essa dissipação de energia ocorre como forma de eliminar o excesso de energia absorvido no complexo antena do FSII, evitando, assim, danos foto-oxidativos (KLUGHAMMER; SCHREIBER, 2008). A capacidade de um genótipo de se adaptar ou tolerar algum fator promotor de estresse depende de uma rede de interações complexas capaz de gerar respostas em diferentes níveis e órgãos da planta, de forma a incorporar as oscilações oriundas do ambiente e manter o crescimento e desenvolvimento da planta sob tais condições (SOUZA; MANZATTO, 2000). Dentro dessa perspectiva, a manutenção do crescimento de plantas sujeitas a condições de déficit hídrico tem sido relatada, entre outras, como resultado da manutenção da capacidade fotossintética da planta e, ou, por meio da ativação de vias de dissipação do excesso de energia absorvida e das estratégias para reduzir a susceptibilidade a danos foto-oxidativos (APEL; HIRT, 2004; WALTERS, 2005).

Um efeito muito comum de plantas submetidas a condições de déficit hídrico é o desenvolvimento de estresse luminoso no fotossistema II (FSII), uma vez que a etapa fotoquímica da fotossíntese continua a absorver energia luminosa; porém, a demanda por poder redutor da etapa bioquímica é menor por causa da redução das taxas fotossintéticas, que, por sua vez, ocorre, inicialmente, em razão do fechamento estomático. Nesse sentido, as análises de fluorescência da clorofila *a* vêm sendo largamente utilizadas como bons indicadores do nível de estresse em que o organismo vegetal está submetido (BOLHÀR-NORDENKAMPF; ÖQUIST, 1993; LICHTENTHALER; MIEHÉ, 1997; MAXWELL; JOHNSON, 2000). Ademais, essas análises fornecem evidências sobre a captação e transferência da energia luminosa para os centros de reação do FSII. Nesse sentido, os parâmetros $Y(NPQ)$ (rendimento quântico da dissipação de energia regulada no FSII), $Y(NO)$ (rendimento quântico da dissipação de energia não regulada no FSII) e $Y(II)$ (rendimento quântico efetivo do FSII) fornecem uma estimativa da partição da energia absorvida pelo complexo antena do FSII. Em outras palavras, o $Y(II)$ está relacionado com a dissipação fotoquímica da energia, ou seja, a energia luminosa absorvida é transferida para os centros de reações do FSII, onde serão transformados em energia química. O $Y(NPQ)$ e $Y(NO)$ são relacionados com a dissipação de energia no FSII, onde o $Y(NO)$ é uma estimativa da perda constitutiva de energia no FSII e o $Y(NPQ)$ é uma estimativa de um processo

regulado por xantofilas, cujo objetivo é dissipar o excesso de energia absorvida no FSII. Em conjunto, a redução em Y(II) e o aumento em Y(NPQ) demonstram que as plantas passaram por um período de estresse que, por fim, culminou numa redução da taxa linear de transporte de elétrons (ETR) nos tratamentos DH4, At2 (até dois meses), At2DH4, At4 e At4DH4. No entanto, a magnitude desses parâmetros, com exceção do tratamento DH4, clone GG100, foi recuperada aos valores do tratamento sDH, demonstrando que o aparato fotoquímico dos clones também apresentou capacidade de recuperação do período de estresse, que passou durante o início do desenvolvimento.

No período da sexta coleta de dados, início de setembro, foram observados alta incidência de radiação solar, aumento da velocidade do vento e da temperatura e baixa umidade do ar, resultando numa alta evapotranspiração, o que pode ter favorecido a redução em gs; conseqüentemente, a demanda por poder redutor para a etapa bioquímica também reduziu, resultando em menores valores de Y(II) e ETR nesse período para todos tratamentos.

Concomitante às reduções nas trocas gasosas, houve acúmulo de açúcares durante o período em que os clones estavam sob déficit hídrico (Figura 10). Esse acúmulo é relacionado ao aumento da capacidade osmoprotetora das células vegetais, como forma de minimizar a falta d'água nos tecidos. Isso se deve ao fato de que o acúmulo de açúcares contribui para diminuir o potencial osmótico das células, otimizando assim o influxo de água para o interior delas. Esses açúcares desempenham importante papel durante o crescimento e desenvolvimento das plantas por meio da regulação do metabolismo de carboidratos (GUPTA; KAUR, 2005). Além disso, a sacarose é o principal carboidrato transportado em plantas, sendo sintetizada no citosol a partir de reservas de amido ou de lipídeos, bem como da atividade fotossintética de órgãos-fonte. Neste estudo, o aumento dos açúcares no tratamento DH4 aos dois meses de experimento foi acompanhado pela redução de amido, ao menos para o clone I-144.

Após a síntese, a sacarose é transportada para órgãos-dreno, onde pode ser armazenada no vacúolo ou metabolizada. Análises genéticas têm revelado extensas interações entre açúcares derivados da sacarose e as vias de sinalização de diferentes hormônios, como ABA, etileno, citocinina e auxina. Portanto, o acúmulo de carboidratos (glicose, frutose e sacarose) observado nos clones de eucalipto pode ser uma resposta ao estresse como forma de manter a homeostase das células vegetais, contribuindo não só para tolerar o período de estresse que a planta está submetida, como também se recuperar após esse período estressante.

De maneira geral, constatou-se que as plantas que foram submetidas ao atraso da adubação apresentaram alta eficiência na absorção e no transporte dos nutrientes, logo após a adubação, principalmente P, K e B. A forma de aplicação do P, localizada e próximo às raízes, também facilita o transporte dele no solo por difusão (NOVAIS; SMITH, 1999) e a sua absorção.

Verificou-se neste trabalho (Figura 12 d-f) que o tratamento At2 resultou numa absorção mais rápida e em maior quantidade do P aplicado em relação aos demais tratamentos. Esse P uma vez acumulado em estruturas foliares, como vacúolos, poderá ser retranslocado para outras partes das plantas, tornando-o mais disponível, ou seja, maior parte do P aplicado será absorvida pelas plantas e não adsorvida pelo solo.

8. CONCLUSÕES

- Os défices hídrico e, ou, nutricional reduziram o crescimento dos clones testados, e o suprimento adequado de água e nutrientes promoveu a recuperação do crescimento, em magnitudes variáveis com o clone.
- Os clones estudados evidenciaram elevada resiliência aos défices hídrico e nutricional; o clone I-144 demonstrou-se mais resiliente ao défice hídrico e o clone 1528, à deficiência nutricional associada ou não ao défice hídrico.
- Os mecanismos de tolerância e resiliência ao estresse hídrico verificados foram: redução de g_s , que minimiza a perda de água; aumentos significativos no rendimento quântico da dissipação de energia regulada no fotossistema II ($Y(NPQ)$), que dissipa o excesso de energia luminosa absorvida; e acúmulo de açúcares solúveis, que são osmoprotetores.
- Os clones de eucalipto nos tratamentos submetidos à deficiência nutricional apresentaram alta eficiência na absorção e no transporte dos nutrientes, logo após a adubação, principalmente P, K e B.

REFERÊNCIAS

- ALFENAS, A.C. **Clonagem e doenças de eucalipto**. 2.ed. Viçosa: UFV, 2009. 500 p.
- ALVES, V.M.C. **Frações de fósforo, de açúcares solúveis e de nitrogênio em quarto híbridos de milho submetidos à omissão e ao ressuprimento de fósforo**. 1994. 106 p. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 1994.
- APEL, K.; HIRT, H. Reactive oxygen species: metabolism, oxidative stress, and signal transduction. **Annu. Rev. Plant Biol.**, v. 55, p. 373-399, 2004.
- ARCELOR MITTAL BIOENERGIA LTDA. – ARCELOR. **Produção de madeira em região de déficit hídrico**. Disponível em: <www.ipef.br/eventos/2009/melhoramento5/02-ArcelorMittal_BioEnergia.pdf>.
- BARROS, N.F.; NOVAIS, R.F. Eucalypt nutrition and fertilizer regimes in Brazil. In: ATTIWILL, P.M.; ADAMS, M.A. (Eds.). **Nutrition of eucalyptus**. Collingwood: VIC, CISRO, 1996. p. 335-356.
- BARROS, N.F.; BRAGA, J.M.; BRANDI, R.M.; DEFELIPO, B.V. Produção de eucalipto em solos de cerrados em resposta à aplicação de NPK e de B e Zn. **Revista Árvore**, v. 5, p. 90-103, 1981.
- BARROS, N.F.; NOVAIS, R.F.; NEVES, J.C.L. Fertilização e correção do solo para o plantio de eucalipto. In: BARROS, N.F.; NOVAIS, R.F. (Eds.). **Relação solo-eucalipto**. Viçosa: Folha de Viçosa, 1990. p. 127-186.
- BERNARDO, S.; SOARES, A.A.; MANTOVANI, E.C. **Manual de irrigação**. 7.ed. Viçosa: UFV, 2005. 611 p.
- BILGER, W.; SCHREIBER, U. Energy-dependent quenching of dark level chlorophyll fluorescence in intact leaves. **Photosynth Res**, v. 10, p. 303-308, 1986.
- BOLHÀR-NORDENKAMPF, H.R.; ÖQUIST, G.O. Chlorophyll fluorescence as a tool in photosynthesis research. In: HALL, DO.; SCURLOCK, J.M.O.; BOLHÀR-NORDENKAMPF, H.R.; LEEGOOD, R.C.; LONG, S.P. (Eds.). **Photosynthesis and production in a changing environment**. London: Chapman & Hall, 1993. p. 193-205.
- BOYER, J.S. Plant productivity and environment. **Science**, v. 218, p. 443-448, 1982.
- BUCK, A.L. New equations for computing vapor pressure and enhancement factor. **Journal of Applied Meteorology**, Washington, v. 20, p. 1527-1532, 1981.
- CENTURION, J.F.; ANDREOLI, I. Regime hídrico de alguns solos de Jaboticabal. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 24, p. 701-709, 2000.

CHAVES, M.M.; MAROCO, J.P.; PEREIRA, J.S. Understanding plant responses to drought – from genes to the whole plant. **Funct. Plant Biol.**, v. 30, p. 239-264, 2003.

CHAVES, J.H.; REIS, G.G.; REIS, M.G.F.; NEVES, J.C.L.; PEZZOPANES, J.E.M.; POLLI, H.Q. Seleção precoce de clones de eucalipto para ambientes com disponibilidade diferenciada de água no solo. Relações hídricas de plantas em tubetes. **R. Árvore**, v. 28, p. 333-341, 2004.

CLARK, R.B. Characterization of phosphates in intact maize root. **J. Agric. Food Chem.**, v. 23, p. 458-460, 1975.

CLARKSON, D.T. Factors affecting mineral nutrient acquisition by plants. **Annual Review of Plant Physiology**, Palo Alto, v. 36, p. 77-115, 1985.

CLARKSON, D.T.; HANSON, J.B. The mineral nutrition of higher plants. **Ann. Rev. Plant Phys.**, v. 31, p. 239-298, 1980.

CONDON, A.G.; RICHARDS, R.A.; REBETZKE, G.J.; FARGUHAR, G.D. Breeding for high water use efficiency. **J. Exp. Bot.**, v. 55, p. 2447-2460, 2004.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisas de Solos. **Manual de métodos de análise de solos**. 2.ed. Rio de Janeiro, 1997. 212 p.

EPSTEIN, E. Mineral nutrition of plants: principles and perspectives. New York: John Wiley, 1972. 412 p.

FERNANDES, V.L. **Normas e determinações de faixas de suficiência para diagnose foliar com base no crescimento relativo de eucalipto**. 2010. 83 p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2010.

FERREIRA, F.A.; MILANI, D. **Diagnose visual e controle das doenças abióticas e bióticas do eucalipto no Brasil**. MogiGuaçu: InternationalPaper, 2002. 98 p.

FLEXAS, J.; RIBAS-CARBO, M.; DIAZ-ESPEJ, A.; GALMES, J.; MEDRANO, H. MESOPHYLL conductance to CO₂: current knowledge and future prospects. **Plant, Cell and Environment**, v. 31, p. 602-621, 2008.

FLEXAS, J.; GALMÉS, J.; GALLÉ, A.; GULÍAS, J.; POU, A.; RIBAS-CARBO, M.; TOMÁS, M.; MEDRANO, H. Improving water use efficiency in grapevines: potential physiological targets for biotechnological improvement. **Australian Journal of Grape and Wine Research**, v. 16, p. 106-121, 2010.

FREITAG, A.S. **Frequências de irrigação para *Eucalyptus grandis* e *Pinus elliotti* em viveiro**. 2007. 60 p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2007.

FURTINI NETO, A.E.; BARROS, N.F.; OLIVEIRA, M.F.G.; NOVAIS, R.F. Eficiência nutricional de mudas de *Eucalyptus* em relação a fósforo. **R. Árvore**, v. 20, p. 17-28, 1996.

GALMES, J.; POU, A.; TOMAS, M.; ALSINA, M.M.; MEDRANO, H.; FLEXAS, J. Aquaporin expression in response to different water stress intensities and recovery in Richter-110 (*Vitis sp.*): relationship with ecophysiological status. **Planta**, v. 226, p. 671-681, 2007.

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

GONÇALVES, J.L.M.; RAIJ, B. van; GONÇALVES, J.C. Florestais. In: RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A.M.C. (Eds.). **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2.ed. Campinas: Instituto Agrônômico & Fundação IAC, 1996. p. 247-259.

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

GOOD, A.G.; SHRAWAT, A.K.; MUEN, D.G. Can less yield more? Is reducing nutrient input into the environment compatible with maintaining crop production? **Trends Plant Sci.**, v. 9, p. 597-605, 2004.

GRIME, J.P. Whole-plant responses to stress in natural and agricultural systems. In: JONES, H.G.; FLOWERS, T.J.; JONES, M.B. (Eds.). **Plants under stress**. Cambridge: Society for Experimental Biology, 1992. p. 31-46. (Seminar series, 39).

GUPTA, A.K.; KAUR, N. Sugar signalling and gene expression in relation to carbohydrate metabolism under abiotic stresses in plants. **Journal of Biosciences**, v. 30, n. 5, p. 761-776, 2005.

HASEGAWA, P.M.; BRESSAN, R.A.; ZHU, J.K.; BOHNERT, H.J. Plant cellular and molecular responses to high salinity. **Ann. Rev. Plant Phys. and Plant Molecular Biology**, v. 51, p. 463-499, 2000.

HENDRIKSON, L.; FURBANK, R.; CHOW, W.S. A simple alternative approach to assessing the fate of absorbed light energy using chlorophyll fluorescence. **Photosynthesis Research**, v. 82, p. 73-81, 2004.

JONES, H.G. Stomatal control of photosynthesis and transpiration. **Journal of Experimental Botany**, v. 49, p. 387-398, 1998.

KLUGHAMMER, C.; SCHREIBER, U. Complementary PSII quantum yield calculated from simple fluorescence parameters measured by PAM fluorometry and saturation pulse method. **PAM Application Notes**, v. 1, p. 27-35, 2008.

KRAMER, P.J. **Water relations of plants**. New York: Academic Press, 1983.

KRAMER, D.M.; JOHNSON, G.; KIIRATS, O.; EDWARDS, G.E. New fluorescence parameters for the determination of Q_A redox state and excitation energy fluxes. **Photosynthesis Research**, v. 79, p. 209-218, 2004.

LARCHER, W. Plantas sob estresse. In: _____. **Ecofisiologia vegetal**. São Carlos: RIMA, 2000. p. 341-430.

LEAL, P.G.L.; BARROS, N.F.; NOVAIS, R.F.; NEVES, J.C.L.; TEIXEIRA, J.L. Biomassa e conteúdo de nutrientes em *Eucalyptus grandis* influenciados pela aplicação de fosfatos naturais em solos de cerrado. **R. Árvore**, v. 12, p. 165-182, 1988.

LEMCOFF, J.H.; GUARNASCHELLI, A.B.; GARAU, A.M.; BASCIAULI, M.E.; GHERSA, C.M. Osmotic adjustment and its use as a selection criterion in *Eucalyptus* seedlings. **Canadian Journal of Forest Research**, v. 24, p. 2404-2408, 1994.

LEVITT, J. **Response of plants to environmental stress**. II: Water radiation, salt and other stress. New York: Academic Press, 1980. 606 p.

LICHTENTHALER, H.K.; MIEHE, J.A. Fluorescence imaging as a diagnostic tool for plant stress. **Trends Plant Sci.**, v. 2, p. 316-320, 1997.

LIMA, J.E.O. A falta de água na planta cítrica. **Laranja & Cia**, v. 40, n. 5, 1995.

LIMA, A.M.N.; NEVES, J.C.L.; SILVA, I.R.; LEITE, F.P. Cinética de absorção e eficiência nutricional de K^+ , Ca^{2+} e Mg^{2+} em plantas jovens de quatro clones de eucalipto. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 29, p. 903-909, 2005.

LISEC, J.; SCHAUER, N.; KOPKA, J.; WILLMITZER, L.; FERNIE, A.R. Gas chromatography mass spectrometry-based metabolite profiling in plants. **Nature Protocols**, v. 1, p. 387-396, 2006.

LOPES, J.L.W. **Produção de mudas de *Eucalyptus grandis* W. (Hill ex. Maiden) em diferentes substratos e lâminas de irrigação**. 2004. 100 p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Botucatu, SP, 2004.

LOPES, J.L.W.; GUERRIN, I.A.; SILVA, M.R.; SAAD, J.C.C.; LOPES, C.F. Estresse hídrico em plantio de *Eucalyptus grandis* vs. *Eucalyptus urophylla*, em função do solo, substrato e manejo hídrico de viveiro. **R. Árvore**, v. 35, p. 31-39, 2011.

LUAN, S Signalling drought in guard cells. **Plant, Cell and Environment**, v. 25, p. 229-237, 2002.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2.ed. Piracicaba: Potafós, 1997. 319 p.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. London: Academic Press, 1995. 889 p.

MAXWELL, K.; JOHNSON, G.N. Chlorophyll fluorescence-a practical guide. **J. Exp. Bot.**, v. 51, p. 659-668, 2000.

MERCHANT, A.; CALLISTER, A.; ARNDT, S.; TAUSZ, M.; ADAMS, M. Contrasting physiological responses of six *Eucalyptus* species to water deficit. **Annals of Botany**, v. 100, p. 1507-1515, 2007.

MOLICA, S.G. **Produção de biomassa e eficiência nutricional de híbridos interespecíficos de eucalipto em duas regiões bioclimáticas de Minas Gerais**. 1992. 120 p. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 1992.

MORAIS, E.J.; BARROS, N.F.; NOVAIS, R.F.; BRANDI, R.M. Biomassa e eficiência nutricional de espécies de eucalipto em duas regiões bioclimáticas de Minas Gerais. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 14, p. 353-362, 1990.

MUNIZ, A.S.; NOVAIS, R.F.; BARROS, N.F.; NEVES, J.C.L. Nível crítico de fósforo na parte aérea de soja como variável do fator capacidade de fósforo do solo. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 9, p. 237-243, 1985.

MYERS, B.; NEALES, T. Osmotic adjustment induced by drought in seedlings of three *Eucalyptus* species. **Austr. J. Plant Physiol.**, v. 13, p. 597-603, 1986.

NOVAIS, R.F.; SMYTH, T.J. **Fósforo em solo e planta em condições tropicais**. Viçosa: UFV, 1999. 399 p.

NUNES, F.N. **Crescimento e expressão gênica em clones de eucalipto influenciados pelo boro e déficit hídrico**. 2010. 65 p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2010.

NUNES, F.N.; CANTARUTTI, R.B.; NOVAIS, R.F.; SILVA, I.R.; TÓTOLA, M.R.; RIBEIRO, B.N. Atividade de fosfatases em gramíneas forrageiras em resposta à disponibilidade de fósforo no solo e à altura de corte das plantas. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 32, p. 1899-1909, 2008.

OLIVA, M.A; BARROS, N.F.; GOMES, M.M.S.; LOPES, N.F. Seca de ponteiros de *Eucalyptus camaldulensis* Dehn. em relação a estresse hídrico e nutrição mineral. **R. Árvore**, v. 13, p. 19-33, 1989.

OLIVEIRA, A.D.; LEITE, A.P.; BOTELHO, S.A.; SCOLFORO, J.R.S. Avaliação econômica da vegetação de cerrado submetida a diferentes regimes de manejo e de povoamentos de eucalipto plantado em monocultivo **R. Cerne**, v. 4, p. 34-56, 1998.

OXBOROUGH, K.; BAKER, N.R. An instrument capable of imaging chlorophyll a fluorescence from intact leaves at very low irradiance and at the cellular and sub-cellular levels of organisation. **Plant, Cell and Environment**, v. 20, p. 1473-1483, 1997.

PASTORI, G.M.; FOYER, C.H. Common components, networks, and pathways of cross-tolerance to stress. The central role of “redox” and abscisic acid-mediated control. **Plant Physiology**, v. 129, p. 460-468, 2002.

PATAKI, D.E.; OREN, R. Species differences in stomatal control of water loss at the canopy scale in a mature bottomland deciduous forest. **Advances in Water Resources**, v. 26, p. 1267-1278, 2003.

PENMAN, H.L. Natural evaporation from open water, bar soil and grass. **Proceedings of Royal Society-Serie A**, London, v. 193, p. 120-145, 1948.

PEREIRA, A.R.; ANDRADE, D.C.; LEAL, P.G.L. Produção de biomassa e remoção de nutrientes em povoamento de *E. citriodora* e *E. saligna* cultivados na região de cerrado de Minas Gerais. **Floresta**, v. 15, p. 8-16, 1984.

PEREIRA, M.R.R. Comportamento fisiológico e morfológico de clones de *Eucalyptus* sp. W. (Hill ex Maiden) submetidas a diferentes níveis de água no solo. 2006. 69 p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Botucatu, SP, 2006.

PÉREZ-BUENO, M.L.; JOHNSON, M.P.; ZIA, A.; RUBAN, A.V.; HORTON, P. The Lhcb protein and xanthophyll composition of the light harvesting antenna controls the DpH dependency of non-photochemical quenching in *Arabidopsis thaliana*. **FEBS Lett**, v. 582, p. 1477-1482, 2008.

PINHEIRO, H.A.; DAMATTA, F.M.; CHAVES, A.R.M.; LOUREIRO, M.E.; DUCATTI, C. Drought tolerance is associated with rooting depth and stomatal control of water use in clones of *Coffea canephora*. **Annals of Botany**, v. 96, p. 101-108, 2005.

PINTO, S.I.C.; FURTINI NETO, A.E.; NEVES, J.C.L.; FAQUIN, V.; MORETTI, B.S. Eficiência nutricional de clones de eucalipto na fase de mudas cultivados em solução nutritiva. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 35, p. 523-533, 2011.

POGSON, B.J.; RISSLER, H.M. Genetic manipulation of carotenoid biosynthesis and Photoprotection. **Phil Trans R Soc Lond**, v. 355, p. 1395-1403, 2000.

RAI, A.K.; TAKABE, T. **Abiotic stress tolerance in plants**. Springer, Dordrecht: Netherlands, 2006. 254 p.

- RAMOS, S.J.; FAQUIN, V.; FERREIRA, R.M.A.; ARAUJO, J.L.; CARVALHO, J.G. Crescimento e teores de boro em plantas de eucalipto (*Eucalyptus citriodora*) cultivadas em dois latossolos sob influência de doses de boro e disponibilidade de água. **R. Árvore**, v. 33, p. 57-65, 2009.
- REIS, M.G.F.; BARROS, N.F. Ciclagem de nutrientes em plantios de eucalipto. In: BARROS, N.F.; NOVAIS, R.F. (Eds.). **Relação solo-eucalipto**. Viçosa: Folhas de Viçosa, 1990. p. 265-301.
- ROCHA, J.B. **Diagnose nutricional de plantios jovens de eucalipto na região litorânea do Espírito Santo e Sul da Bahia**. 2008. 56 p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2008.
- SAKYA, A.T.; DELL, B.; HUANG, L. Boron requirements for *Eucalyptus globules* seedlings. **Plant and Soil**, v. 246, p. 87-95, 2002.
- SANTANA, R.C.; BARROS, N.F.; NEVES, J.C.L. Eficiência de utilização de nutrientes e sustentabilidade da produção em procedências de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna* em sítios florestais do estado de São Paulo. **R. Árvore**, v. 26, p. 447-457, 2002.
- SANTOS, R.F.; CARLESSO R. Déficit hídrico e os processos morfológico e fisiológico das plantas. **Rev. Bras. de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 2 , p. 287-294, 1998.
- 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.
- SCHUMACHER, M.V.; CALDEIRA, M.V.W. Estimativa da biomassa e do conteúdo de nutrientes de um povoamento de *Eucalyptus globulus* (Labillardiere) sub-espéciemaidenii. **R. Ciência Florestal**, v. 11, p. 45-53, 2001.
- SILVA, M.R. **Caracterização morfológica, fisiológica e nutricional de mudas de *Eucalyptus grandis* W. (HILL ex MAIDEN) submetidas a diferentes níveis de estresse hídrico durante a fase de rustificação**. 1998. 105 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR, 1998.
- SILVA, M.R. **Efeitos do manejo hídrico e da aplicação de potássio na qualidade de mudas de *Eucalyptus grandis* W. (Hill ex. Maiden)**. 2003. 100 p. Tese (Doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Botucatu, SP, 2003.
- SOUSA, M.B.A.; MANTOVANI, E.C.; SOUZA, L.O.; BUFON, V.N.; BONOMO, R. Avaliação de irrigação em propriedades de café conilon no norte do Espírito Santo. In: _____. **Irrigação do cafeeiro**: informações técnicas e coletâneas de trabalhos. Viçosa: Associação dos Engenheiros Agrícolas de Minas Gerais, 2003. 260 p.

SOUZA, G.M.; MANZATTO, G.A. Hierarquia auto-organizada em sistemas biológicos. In: D'OTTAVIANO, I.M.L.; GONZALES, M.E.Q. (Eds.). **Auto organização**: estudos interdisciplinares. Campinas: CLE/UNICAMP, 2000. p. 153-173.

STAPE, J.L.; BINKLEY, D.; RYAN, M.G. *Eucalyptus* production and the supply, use and efficiency of use of water, light and nitrogen across a geographic gradient in Brazil. **Forest Ecology and Management**, v. 193, p. 17-31, 2004.

STRECK, N.A. Stomatal response to water vapor pressure deficit: an unsolved issue – a review. **Revista Brasileira de Agrociência**, Brasília, v. 9, n. 4, p. 317-322, 2003.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 4.ed. Porto Alegre: Artmed, 2009. 819 p.

TATAGIBA, S.D. Crescimento inicial, trocas gasosas e status hídrico de clones de eucalipto sob diferentes regimes de irrigação. 2006. 128 p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Espírito Santo, Alegre, ES, 2006.

TATAGIBA, S.D.; PEZZOPANE, J.E.M.; REIS, E.F.; DARDENGO, M.C.J.D.; EFFGEN, T.A.M. Comportamento fisiológico de dois clones de *Eucalyptus* na época seca e chuvosa. **R. Cerne**, v. 13, p. 149-159, 2007.

TEIXEIRA, P.C.; GONÇALVES, J.L.M.; JUNIOR, J.C.A. Crescimento e partição de matéria seca de mudas de eucalipto em função da adubação potássica e água do solo. **R. Ceres**, v. 53, p. 662-671, 2006.

TRETHERWEY, R.N.; GEIGENBERGER, P.; RIEDEL, K.; HAJIREZAEI, M.R.; SONNEWALD, U.; STITT, M.; RIESMEIER, J.W.; WILLMITZER, L. Combined expression of glucokinase and invertase in potato tubers leads to dramatic reduction in starch accumulation and a stimulation of glycolysis. **Plant J.**, v. 15, p. 109-118, 1998.

VAN GENUCHTEN, M.T. A closed-form for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, v. 41, p. 892-898, 1980.

WADT, P.G.S. Nutritional status of *Eucalyptus grandis* clones evaluated by critical level and DRIS methods. **R. Árvore**, v. 28, p. 15-20, 2004.

WALTERS, R.G. Towards an understanding of photosynthetic acclimation. **Journal of Experimental Botany**, v. 56, n. 411, p. 435-447, 2005.

WARREN, C.R.; ARANDA, I.; CANO, F.J. Responses to water stress of gas exchange and metabolites in *Eucalyptus* and *Acacia* spp. **Plant, Cell and Environment**, v. 34, p. 1609-1629, 2011.

WIND, J.; SMEEKENS, S.; HANSON, J. Sucrose: metabolite and signaling molecule. **Phytochemistry**, v. 71, n. 14-15, p. 1610-1614, 2010.

APÊNDICE A

Fotografia aérea do experimento: plantio, adubação e coleta de dados



Plantio e adubação



Avaliação do potencial hídrico foliar - Bomba de Scholander



Avaliação de trocas gasosas: A , g_s , E e C_i/C_a - IRGA



Idade: 1 mês



sDH Com adubação



sDH Sem adubação

Idade: 2 meses



I144 sDH



1528 sDH



GG100 DH



1528 DH



At2



At2 DH4

Idade: 4 meses



GG100 sDH



I144 sDH



1528 sDH



GG100 DH4



1528 DH4



GG100 At2



I-144 At2



1528 At2



GG100 At2DH4



I-144 At2DH4



GG100 At4



I144 At4



1528 At4



GG100 At4DH4



I-144 At4DH4



1528 At4DH4

Idade: 10 meses



GG100 sDH



GG100 At4DH4



I-144 sDH



I-144 At4 DH4
4 meses



I-144 At4DH4



1528 sDH



1528 At4DH4

Coleta de folhas, galhos, casca e raízes



Quadro 1A - Média e EP do conteúdo de N, P e K em diferentes partes e total das plantas aos 10 meses

Clone	Trat	Folhas		Galho		Casca		Caulo		Raiz fina		Raiz grossa		Total	
		Média	EP	Média	EP	Média	EP	Média	EP	Média	EP	Média	EP	Média	EP
		N (g/planta)													
GG100	sDH	20,18	2,20	3,56	0,64	1,23	0,18	2,60	0,39	9,42	0,71	10,70	1,54	47,68	4,67
	DH4	15,24	2,47	2,31	0,32	0,82	0,15	2,13	0,07	8,76	1,66	6,28	1,69	35,55	5,37
	At2	22,28	2,40	2,71	0,10	1,02	0,08	1,62	0,14	9,37	1,61	9,59	1,53	46,58	2,83
	At2DH4	17,66	1,23	2,35	0,15	0,80	0,17	1,79	0,16	7,32	0,52	6,28	0,71	36,20	1,10
	At4	20,38	2,58	2,43	0,25	0,84	0,11	1,83	0,04	6,91	0,61	6,43	1,10	38,81	3,72
	At4DH4	21,06	0,35	2,57	0,07	0,91	0,07	1,86	0,07	7,40	0,28	6,91	0,75	40,72	0,72
144	sDH	28,38	1,95	4,16	0,49	1,32	0,12	2,51	0,20	7,04	1,15	7,02	0,24	50,43	2,62
	DH4	24,09	2,42	3,33	0,37	0,99	0,16	1,94	0,12	8,24	0,73	7,71	0,91	46,30	4,08
	At2	22,04	1,88	2,78	0,30	0,83	0,10	1,94	0,10	8,52	0,90	6,48	0,91	42,58	2,16
	At2DH4	24,52	0,86	1,96	0,15	0,69	0,05	1,66	0,19	5,73	0,13	6,80	0,90	41,36	1,59
	At4	15,70	1,89	2,15	0,26	0,67	0,04	1,77	0,28	7,54	0,39	4,55	0,41	32,37	2,50
	At4DH4	20,75	3,19	2,76	0,15	0,74	0,03	1,80	0,14	5,24	0,63	6,33	1,16	37,61	4,45
1528	sDH	24,11	1,94	2,72	0,11	1,16	0,20	2,07	0,16	7,33	0,92	9,79	1,31	47,19	3,08
	DH4	14,43	2,67	1,64	0,38	0,89	0,10	1,78	0,22	7,40	0,69	11,64	2,34	37,79	5,66
	At2	19,40	0,88	2,25	0,17	1,05	0,03	2,09	0,18	7,08	0,57	8,07	0,83	39,93	2,32
	At2DH4	19,93	1,60	2,02	0,15	0,97	0,05	2,00	0,09	5,59	0,52	9,97	0,58	40,48	2,12
	At4	17,31	2,61	2,13	0,17	0,96	0,02	1,84	0,07	6,88	0,80	5,50	0,44	34,63	3,06
	At4DH4	18,17	2,74	1,71	0,16	0,96	0,05	1,74	0,14	6,37	0,45	7,87	1,06	36,82	3,45
		P (g/planta)													
GG100	sDH	2,92	0,09	0,49	0,07	0,92	0,15	0,84	0,13	1,18	0,14	0,95	0,21	7,30	0,50
	DH4	3,22	0,30	0,34	0,03	0,73	0,08	1,06	0,19	1,88	0,22	0,84	0,31	8,07	0,44
	At2	2,90	0,36	0,34	0,03	0,82	0,14	0,57	0,05	1,08	0,08	1,01	0,11	6,72	0,27
	At2DH4	2,54	0,27	0,30	0,05	0,48	0,07	0,71	0,13	1,04	0,09	0,78	0,06	5,84	0,55
	At4	2,52	0,21	0,31	0,03	0,50	0,08	0,58	0,05	1,03	0,10	0,62	0,09	5,57	0,33
	At4DH4	2,45	0,21	0,31	0,02	0,54	0,02	0,56	0,03	1,00	0,09	0,83	0,04	5,68	0,17

sDH- testemunha (sem déficit hídrico e atraso da adubação), DH4- déficit hídrico de quatro meses e sem atraso da adubação, At2- sem déficit hídrico e atraso de dois meses da adubação, At2DH4- déficit hídrico de quatro meses e atraso de dois meses da adubação, At4- sem déficit hídrico e atraso de quatro meses da adubação e At4DH4- déficit hídrico e atraso da adubação de quatro meses.

Quadro 2A - Média e EP do conteúdo de Ca, Mg e S em diferentes partes e total das plantas aos 10 meses

Clone	Trat	Folhas		Galho		Casca		Caule		Raiz fina		Raiz grossa		Total		
		Média	EP	Média	EP	Média	EP	Média	EP	Média	EP	Média	EP	Média	EP	
Ca (g/planta)																
GG100	sDH	4,41	0,38	3,29	0,39	2,76	0,73	0,37	0,05	4,00	0,38	4,19	0,64	19,01	2,03	
	DH4	2,69	0,45	3,10	0,53	1,62	0,43	0,41	0,02	3,40	0,96	5,34	0,75	16,57	2,38	
	At2	3,45	0,29	3,04	0,61	1,40	0,18	0,29	0,04	3,26	0,33	5,58	0,83	17,02	0,87	
	At2DH4	2,86	0,35	2,49	0,42	1,59	0,27	0,46	0,13	2,78	0,19	4,79	1,20	14,98	1,76	
	At4	3,16	0,23	2,26	0,19	1,73	0,21	0,36	0,04	3,07	0,14	3,59	0,51	14,17	0,95	
144	At4DH4	2,80	0,27	1,68	0,33	1,61	0,14	0,33	0,02	3,38	0,23	4,00	0,54	13,79	0,39	
	sDH	5,16	0,22	4,22	0,50	2,97	0,34	0,49	0,04	3,12	0,07	6,14	0,94	22,11	1,71	
	DH4	4,62	0,40	4,61	0,41	2,74	0,53	0,43	0,05	3,08	0,14	6,33	0,25	21,81	1,24	
	At2	4,51	0,55	3,58	0,41	2,61	0,38	0,44	0,08	4,21	0,88	5,54	1,20	20,90	1,77	
	At2DH4	3,71	0,28	4,43	1,14	1,91	0,26	0,28	0,04	3,36	0,64	5,73	1,11	19,43	2,43	
1528	At4	2,94	0,50	2,31	0,34	2,25	0,59	0,34	0,06	2,60	0,21	3,79	0,32	14,24	0,69	
	At4DH4	2,96	0,44	3,15	0,48	2,00	0,27	0,32	0,04	2,66	0,14	3,50	0,62	14,59	1,03	
	sDH	5,29	0,89	3,07	0,56	2,11	0,26	0,37	0,01	3,34	0,30	5,38	0,91	19,55	1,41	
	DH4	3,05	0,53	1,78	0,18	0,96	0,11	0,27	0,03	3,35	0,18	7,39	0,91	16,80	1,07	
	At2	3,64	0,41	2,04	0,24	1,80	0,29	0,35	0,04	3,56	0,18	5,98	1,84	17,37	2,51	
GG100	At2DH4	3,49	0,16	2,90	0,43	1,83	0,41	0,36	0,09	2,85	0,18	7,83	2,56	19,26	2,32	
	At4	3,80	0,41	2,00	0,30	1,78	0,24	0,34	0,05	3,30	0,33	4,58	0,58	15,81	0,42	
	At4DH4	3,75	0,56	1,92	0,54	1,62	0,33	0,44	0,08	3,18	0,20	5,33	1,37	16,23	1,29	
	Mg (g/planta)															
	GG100	sDH	1,81	0,06	0,99	0,09	0,71	0,08	0,40	0,09	2,20	0,19	1,36	0,10	7,47	0,43
DH4		1,41	0,22	0,77	0,13	0,42	0,08	0,32	0,02	1,90	0,60	1,57	0,38	6,40	1,17	
At2		1,56	0,11	0,82	0,10	0,49	0,02	0,25	0,03	1,97	0,21	1,40	0,21	6,48	0,20	
At2DH4		1,38	0,08	0,61	0,08	0,44	0,04	0,29	0,03	1,67	0,08	1,49	0,16	5,88	0,37	
At4		1,51	0,10	0,58	0,05	0,39	0,01	0,32	0,03	1,76	0,11	1,01	0,02	5,56	0,18	
144	At4DH4	1,40	0,04	0,44	0,06	0,40	0,02	0,27	0,01	1,78	0,17	1,46	0,25	5,75	0,20	
	sDH	2,32	0,19	1,28	0,16	0,77	0,02	0,70	0,06	2,02	0,12	2,22	0,13	9,31	0,26	
	DH4	2,21	0,11	1,17	0,10	0,58	0,09	0,49	0,10	1,80	0,15	2,11	0,44	8,37	0,89	
	At2	1,85	0,16	0,98	0,11	0,58	0,03	0,51	0,03	2,26	0,15	1,94	0,17	8,12	0,32	
	At2DH4	1,82	0,12	1,08	0,18	0,49	0,04	0,45	0,06	2,01	0,16	1,87	0,30	7,73	0,45	
1528	At4	1,39	0,14	0,69	0,08	0,47	0,04	0,49	0,05	1,70	0,20	1,09	0,14	5,84	0,22	
	At4DH4	1,60	0,04	0,79	0,12	0,45	0,02	0,39	0,06	1,52	0,06	1,15	0,18	5,90	0,23	
	sDH	2,66	0,18	0,84	0,11	0,54	0,04	0,34	0,05	1,88	0,15	2,01	0,21	8,26	0,09	
	DH4	1,61	0,27	0,50	0,06	0,36	0,04	0,21	0,01	1,85	0,11	2,29	0,47	6,82	0,87	
	At2	1,97	0,15	0,49	0,03	0,38	0,04	0,29	0,04	2,01	0,07	1,62	0,30	6,76	0,57	
GG100	At2DH4	1,87	0,07	0,81	0,10	0,36	0,01	0,26	0,02	1,55	0,06	2,25	0,50	7,09	0,52	
	At4	1,91	0,05	0,54	0,05	0,36	0,03	0,26	0,03	1,70	0,15	1,45	0,25	6,20	0,32	
	At4DH4	1,97	0,13	0,42	0,06	0,32	0,02	0,29	0,01	1,67	0,14	1,77	0,32	6,44	0,22	
	S (g/planta)															
	GG100	sDH	1,45	0,09	0,47	0,05	0,17	0,02	0,55	0,06	1,53	0,30	1,33	0,16	5,50	0,32
DH4		1,24	0,08	0,31	0,02	0,12	0,03	0,48	0,03	1,65	0,15	1,05	0,36	4,84	0,36	
At2		1,33	0,17	0,41	0,04	0,14	0,01	0,37	0,04	1,24	0,17	1,21	0,13	4,71	0,08	
At2DH4		1,14	0,04	0,30	0,02	0,13	0,02	0,43	0,08	1,23	0,17	0,95	0,04	4,18	0,18	
At4		1,27	0,03	0,31	0,02	0,11	0,01	0,41	0,09	1,10	0,13	0,86	0,19	4,06	0,18	
144	At4DH4	1,22	0,08	0,29	0,04	0,12	0,00	0,50	0,06	1,14	0,09	1,00	0,17	4,27	0,12	
	sDH	1,88	0,15	0,56	0,06	0,16	0,02	0,64	0,07	1,22	0,13	1,09	0,08	5,55	0,23	
	DH4	1,73	0,10	0,51	0,04	0,13	0,02	0,49	0,03	1,37	0,08	1,29	0,18	5,50	0,38	
	At2	1,56	0,10	0,37	0,04	0,12	0,01	0,49	0,07	1,51	0,20	1,06	0,16	5,12	0,18	
	At2DH4	1,55	0,12	0,41	0,04	0,14	0,04	0,36	0,05	1,18	0,08	1,30	0,18	4,95	0,27	
1528	At4	1,19	0,09	0,28	0,03	0,10	0,01	0,40	0,06	1,17	0,03	0,70	0,10	3,84	0,05	
	At4DH4	1,81	0,15	0,39	0,02	0,10	0,01	0,38	0,02	0,95	0,09	0,90	0,16	4,53	0,31	
	sDH	1,85	0,05	0,44	0,06	0,14	0,01	0,46	0,05	1,40	0,11	1,72	0,11	6,01	0,26	
	DH4	1,15	0,16	0,28	0,06	0,11	0,02	0,40	0,08	1,57	0,21	1,52	0,27	5,03	0,48	
	At2	1,38	0,15	0,30	0,01	0,11	0,01	0,41	0,03	1,51	0,19	1,22	0,08	4,93	0,13	
GG100	At2DH4	1,40	0,10	0,36	0,06	0,12	0,00	0,42	0,05	1,23	0,11	1,12	0,12	4,66	0,05	
	At4	1,32	0,05	0,30	0,02	0,12	0,01	0,42	0,03	1,13	0,19	0,98	0,08	4,27	0,13	
	At4DH4	1,43	0,09	0,29	0,03	0,11	0,01	0,41	0,03	1,18	0,10	0,96	0,11	4,39	0,21	

sDH- testemunha (sem déficit hídrico e atraso da adubação), DH4- déficit hídrico de quatro meses e sem atraso da adubação, At2- sem déficit hídrico e atraso de dois meses da adubação, At2DH4- déficit hídrico de quatro meses e atraso de dois meses da adubação, At4- sem déficit hídrico e atraso de quatro meses da adubação e At4DH4- déficit hídrico e atraso da adubação de quatro meses.

Quadro 3A - Média e EP do conteúdo de Cu, Mn e B em diferentes partes e total das plantas aos 10 meses

Clone	Trat	Folhas		Galho		Casca		Caule		Raiz fina		Raiz grossa		Total	
		Média	EP	Média	EP	Média	EP	Média	EP	Média	EP	Média	EP	Média	EP
Cu (mg / planta)															
GG100	sDH	6,73	1,20	3,27	0,51	1,14	0,13	2,34	0,33	11,14	3,39	3,53	0,07	28,15	4,15
	DH4	7,04	0,94	2,08	0,27	0,63	0,20	1,67	0,35	12,09	2,81	2,39	0,62	25,90	4,21
	At2	6,37	0,67	2,72	0,17	0,90	0,13	1,54	0,21	6,47	1,22	2,73	0,40	20,74	2,11
	At2DH4	3,52	0,25	1,57	0,15	0,74	0,13	1,56	0,31	6,26	1,05	2,42	0,18	16,07	0,59
	At4	3,34	0,23	1,28	0,17	0,62	0,06	1,30	0,12	3,88	0,17	2,25	0,97	12,67	1,01
144	At4DH4	5,04	0,52	1,54	0,29	0,65	0,03	1,66	0,32	6,11	1,69	2,19	0,45	17,20	3,02
	sDH	6,64	2,22	2,72	0,37	1,03	0,13	2,99	0,35	6,48	1,21	3,87	0,07	23,73	2,30
	DH4	5,73	0,59	2,98	0,56	1,02	0,23	2,16	0,21	6,91	0,86	4,22	0,53	23,01	0,79
	At2	4,16	0,47	1,98	0,15	0,77	0,06	2,02	0,30	13,14	6,92	2,62	0,44	24,70	5,74
	At2DH4	4,39	0,74	2,00	0,36	0,89	0,27	1,71	0,14	6,32	0,21	4,20	0,26	19,52	1,02
1528	At4	3,41	1,02	1,38	0,21	0,59	0,12	2,47	0,68	6,01	0,75	1,61	0,24	15,48	1,16
	At4DH4	3,33	0,23	2,00	0,16	0,70	0,05	1,66	0,04	4,62	0,59	2,36	0,45	14,66	0,65
	sDH	9,33	2,72	3,68	0,55	0,86	0,11	1,99	0,18	6,00	0,64	3,62	0,38	25,49	3,81
	DH4	6,28	2,50	1,56	0,45	0,57	0,16	1,63	0,26	5,57	1,08	3,79	0,89	19,40	5,03
	At2	5,01	0,42	1,78	0,19	0,70	0,08	1,74	0,28	7,74	1,69	2,36	0,13	19,33	1,58
1528	At2DH4	6,93	2,46	1,95	0,27	0,66	0,08	1,89	0,55	7,58	2,31	3,38	0,38	22,39	3,24
	At4	3,55	0,52	1,42	0,23	0,59	0,10	1,53	0,37	4,43	0,80	1,70	0,12	13,21	1,03
	At4DH4	4,00	0,25	1,28	0,17	0,52	0,10	1,24	0,19	4,54	0,82	2,39	0,61	13,96	1,51
Mn (mg / planta)															
GG100	sDH	265,83	5,45	122,03	11,32	81,48	11,68	46,61	7,77	160,55	22,43	190,09	16,02	866,58	53,02
	DH4	162,20	22,35	89,39	17,20	51,52	11,33	37,13	4,46	96,56	30,55	139,17	31,73	575,97	95,11
	At2	205,21	19,47	97,48	9,82	46,55	2,19	32,40	4,07	124,87	6,73	166,22	36,63	672,74	59,57
	At2DH4	146,35	17,71	68,41	12,09	38,36	2,76	29,67	3,01	84,96	7,09	127,81	8,90	495,55	37,49
	At4	154,63	14,50	55,66	3,78	36,38	3,17	19,47	1,46	58,47	7,08	70,17	12,26	394,78	26,46
144	At4DH4	147,97	9,46	47,67	8,51	34,63	2,76	21,33	2,02	67,03	8,31	86,49	15,81	405,10	41,27
	sDH	344,02	19,99	200,38	15,61	88,91	8,13	56,34	5,50	124,47	7,99	199,02	24,88	1013,13	20,45
	DH4	275,80	40,85	163,08	12,33	60,56	8,13	45,55	7,04	112,93	13,31	177,41	20,34	835,33	85,19
	At2	236,60	20,85	123,05	9,59	55,18	5,05	47,19	5,27	128,83	6,12	148,87	9,80	739,73	34,52
	At2DH4	248,65	17,49	136,56	26,88	40,22	3,75	37,99	4,29	120,13	10,60	180,49	12,91	764,03	42,54
1528	At4	136,19	24,46	70,96	9,57	37,30	1,23	26,13	4,62	67,74	4,54	70,43	14,08	408,76	36,59
	At4DH4	203,52	17,18	101,20	8,25	45,99	2,47	30,93	1,68	67,37	1,86	86,20	10,32	535,21	29,67
	sDH	314,96	34,17	131,91	18,70	63,87	6,81	37,28	3,80	132,23	6,81	257,92	35,51	938,17	38,77
	DH4	155,31	32,40	57,14	9,37	40,33	2,91	20,57	4,16	106,58	7,46	196,97	46,88	576,90	97,96
	At2	195,12	21,79	62,49	4,78	50,34	3,68	31,42	1,82	101,37	8,39	143,73	2,42	584,47	33,71
1528	At2DH4	194,51	8,58	96,54	10,97	42,25	1,74	32,32	4,06	88,46	5,61	229,80	82,53	683,89	89,86
	At4	171,89	10,80	48,11	10,79	38,06	2,29	14,96	1,50	57,56	6,32	57,68	10,51	388,25	19,18
	At4DH4	176,61	7,74	47,63	4,54	36,20	2,23	21,71	2,84	60,23	8,15	108,92	18,08	451,29	32,39
B (mg / planta)															
GG100	sDH	59,02	11,95	9,84	0,85	7,47	0,25	4,72	0,64	28,27	7,26	18,98	2,19	128,30	21,30
	DH4	58,54	8,60	6,98	0,87	5,44	1,07	5,52	0,96	27,82	10,65	16,02	3,60	120,32	18,14
	At2	83,77	13,28	11,42	2,04	7,22	0,28	3,10	0,67	32,31	4,26	17,50	4,11	155,32	9,72
	At2DH4	58,53	8,32	8,04	1,04	5,92	0,31	4,21	0,98	26,51	3,36	19,47	2,98	122,68	13,19
	At4	73,10	4,79	6,24	0,92	6,34	0,30	3,74	1,07	26,94	1,35	11,51	0,86	127,86	5,34
144	At4DH4	58,27	9,78	5,94	0,96	6,24	0,35	3,69	0,60	32,19	4,73	12,54	0,75	118,87	9,31
	sDH	65,16	7,04	8,33	0,81	6,15	0,38	5,02	0,74	28,43	2,35	15,21	1,25	128,30	6,03
	DH4	80,25	13,52	9,47	1,80	5,23	0,35	4,17	0,75	26,93	3,36	17,74	0,80	143,79	16,07
	At2	80,24	7,51	6,04	0,68	4,70	0,18	3,97	1,09	30,00	1,68	12,41	0,98	137,36	5,54
	At2DH4	95,16	25,91	7,08	1,04	4,42	0,48	5,16	1,21	27,67	2,34	15,08	1,89	154,57	26,88
1528	At4	45,08	4,51	4,80	0,28	4,54	0,42	3,92	0,94	22,94	4,69	9,02	1,94	90,29	7,64
	At4DH4	57,09	14,52	6,45	0,82	4,39	0,31	3,79	0,79	27,71	3,61	9,41	1,23	108,84	16,38
	sDH	53,84	10,50	7,08	0,74	5,61	0,19	5,00	0,98	28,63	2,04	16,57	1,30	116,72	10,77
	DH4	60,69	13,27	4,38	0,72	4,22	0,44	3,99	1,17	27,08	5,43	18,73	3,75	119,09	21,45
	At2	104,99	22,56	5,62	0,07	5,48	0,35	3,93	0,92	30,51	3,61	13,29	2,84	163,82	25,63
1528	At2DH4	81,66	14,36	7,43	0,88	4,62	0,15	5,27	1,62	24,00	2,04	21,34	4,04	144,31	13,88
	At4	53,03	17,36	5,56	0,52	4,72	0,38	3,57	1,05	21,57	4,99	11,44	1,49	99,91	20,43
	At4DH4	63,82	13,31	4,45	0,19	4,35	0,15	3,77	0,56	21,53	2,05	15,68	3,01	113,60	13,27

sDH - testemunha (sem déficit hídrico e atraso da adubação), DH4 - déficit hídrico de quatro meses e sem atraso da adubação, At2 - sem déficit hídrico e atraso de dois meses da adubação, At2DH4 - déficit hídrico de quatro meses e atraso de dois meses da adubação, At4 - sem déficit hídrico e atraso de quatro meses da adubação e At4DH4 - déficit hídrico e atraso da adubação de quatro meses.

Quadro 4A - Análise de variância da altura (A), diâmetro (D), potencial hídrico foliar (Ψ_w), umidade do substrato (θ), teores foliares de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), enxofre (S), cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn) e boro (B) em três clones de eucalipto (GG100, I-144 e 1528), expostos a diferentes regimes hídricos (EH) e épocas de adubação (ENUT), aos 2, 4, 6 e 10 meses após o plantio. *significativo a 5% e **significativo a 1% pelo teste F

FV	GL	Quadrado médio													
		A	D	Ψ_w	θ	N	P	K	Ca	Mg	S	Cu	Fe	Mn	B
2 meses															
clone	2	149*	8,8**	0,00523	4,17	9,64	0,1698	9,5*	2,05**	0,3**	0,06*	0,74*	72287**	56,6	643,4*
EH	1	2997**	101**	9,3**	2079**	9,06	0,0078	19**	0,2285	0,07*	0,03167	0,1621	15701	437	2568**
ENUT	1	35752**	1240**	8,5**	268**	3140**	93**	276**	4,2**	2**	3,6**	4,3**	20762	1427,9*	145483**
clone*EH	2	13,3	3,504	0,01036	2,5	2,17	0,0305	3,776	0,0473	0,0042	0,00591	0,2596	982	1269,5	203,9
clone*ENUT	2	182*	1,57	0,00293	15,49	14,5	0,65**	0,904	0,4932	0,14**	0,00931	0,2556	34339*	65	531,7
EH*ENUT	1	2592**	121**	8,6**	25*	3,32	0,1554	52**	0,2073	0,0103	0,07*	1,5*	15889	1284,3	2393**
clone*EH*ENUT	2	3,9	2,034	0,0621	9,37	10,39	0,0754	2,064	0,0013	0,0408	0,00103	0,7*	6693	386,3	220,2
Resíduo	60	39	1,478	0,05254	5,74	7,45	0,0795	2,406	0,2533	0,0159	0,01298	0,2274	5420	334,7	182,7
4 meses															
clone	2	461,9**	11,5	1,58**	7,98	6,13	1,5*	16,4**	0,1	0,15**	0,04	0,44	55165	1392,00	993,10
EH	1	43808,0**	1163,3**	35,21**	2305,2**	61,7*	3,3**	66,3**	1,7**	0,02	0,13**	5,6**	90384	1783,10	6116,3*
ENUT	2	51738,6**	1428,7**	0,79	162,6**	897,3*	28,3**	161,9**	13,8**	3,2**	0,33**	10,5**	237897	16881,6**	67532,2*
clone*EH	2	286,1*	20,1**	2,21**	14,5*	18,26	0,28	5,7	0,1	0,01	0,08*	0,06	135692	41,10	752,90
clone*ENUT	4	335,6**	15,6**	0,60	12,5**	18,06	0,12	4,7	0,6*	0,06**	0,07**	2,0**	123775	642,50	1464,4*
EH*ENUT	2	12269,8**	344,2**	0,95*	149,7**	76,3**	8,6**	47,4**	0,4	0,074**	0,35**	3,3**	335987	5468,1**	10575,5**
clone*EH*ENUT	4	83,9	2,6	0,74	17,3**	22,9*	0,5**	1,9	0,3	0,03	0,01	0,19	113706	1018,60	1658,7*
Resíduo	54	74,9	4,0	0,30	3,08	7,89	0,1	2,6	0,2	0,01	0,02	0,27	128037	452,40	460,60
6 meses															
clone	2	1006	39,3	0,051	2,6	11,6	0,76*	21,89**	0,329	0,08**	0,08**	0,136	2436	1162**	1971
EH	1	7280**	229**	0,138	27,3	41,4	1,26**	81,82**	1,22**	0,034	0,21**	2,21**	3900	58	725
ENUT	2	59654**	1796**	0,37*	219,6**	86,3**	13,88**	85**	1,23**	0,12**	0,25**	4,04**	5072*	2408**	70629,6**
clone*EH	2	1806	37,2	0,318	71,1	0,9	0,014	4,070	0,205	0,036	0,001	0,138	4636*	34	1704
clone*ENUT	4	620	24,8	0,094	26,2	17,9	0,023	2,770	0,188	0,010	0,002	0,140	142	415	2866*
EH*ENUT	2	1119	74*	0,112	14,1	23,9	0,259	26,38**	0,200	0,029	0,09**	0,93*	1409	30	384
clone*EH*ENUT	4	1069	20,4	0,205	4,4	29,8	0,037	2,510	0,095	0,033	0,023	0,116	1244	52	268
Resíduo	54	639	17,9	0,088	32,6	14,1	0,159	3,640	0,134	0,015	0,010	0,242	1276	190	909
10 meses															
clone	2	1661	19,4	0,12*	128,1**	33,2**	1,24**	16,466	0,023	0,3**	0,052	11,4*	2484	3281*	293
EH	1	3500	175**	0,000	3,8	0,4	0,87*	18,123	3,36**	0,11*	0,003	0,443	10226	4719*	116
ENUT	2	4358*	306**	0,023	72,8*	29,4*	0,270	71,5**	1,25**	0,047	0,018	22,1**	26117**	9564**	3187**
clone*EH	2	924	6,2	0,018	20,3	18,9	0,106	8,659	0,020	0,062	0,054	0,220	789	3111*	454
clone*ENUT	4	1370	27,5	0,025	6,5	6,8	0,160	7,950	0,242	0,014	0,019	2,351	1087	216	451
EH*ENUT	2	926	80,8*	0,028	5,4	32,3*	0,226	20,63*	0,100	0,016	0,07*	1,351	12145*	7465**	764
clone*EH*ENUT	4	3458*	10,7	0,056	16,4	5,6	0,171	0,503	0,168	0,013	0,036	4,932	1195	435	254
Resíduo	54	1292	19,4	0,032	15,3	6,5	0,207	5,581	0,186	0,021	0,021	3,177	3586	781	318

Quadro 5A - Análise de variância de trocas gasosas: fotossíntese (A), condutância estomática (g_s), relação carbono interno:carbono externo (Ci/Ca), transpiração (E), eficiência no uso de água (E/A), taxa transportadora de elétrons (ETR), coeficiente de extinção fotoquímico (qL), Y(II)- rendimento quântico efetivo do Fotossistema II, Y(NPQ) - rendimento quântico de dissipação de energia regulada no Fotossistema II e Y(NO) - rendimento quântico de dissipação de energia não regulada no Fotossistema II; e açúcares solúveis: glicose, sacarose e frutose, em três clones de eucalipto expostos a diferentes regimes hídricos (EH) e épocas de adubação (ENUT), aos 2, 4, 6 e 10 meses após o plantio. *significativo a 5% e **significativo a 1% pelo teste F.

FV	GL	Quadro médio												
		A	g_s	Ci/Ca	E	A/E	ETR	Y(II)	Y(NPQ)	Y(NO)	qL	Glicose	Sacarose	Frutose
2 meses														
clone	2	21,5*	0,02408	0,0066	3,267	1,0419	896*	0,002*	0,006**	0,003**	0,0013	874	3452**	1045,3
EH	1	727**	0,76**	0,3**	86,9**	7,7**	3926**	0,01**	0,025**	0,003**	0,004921	40324**	4829**	9639**
ENUT	1	45**	0,23**	0,4**	36,8**	19,05**	16934**	0,045**	0,08**	0,006**	0,000759	15854**	8434**	48,7
clone*EH	2	13*	0,001457	0,00175	1,436	0,4785	364	0,00097	0,00133	0,000031	0,000389	3149	1069*	921,7
clone*ENUT	2	5,9	0,03*	0,01*	2,761	0,6751	1152*	0,003*	0,006**	0,001*	0,000107	10289**	1702**	5151*
EH*ENUT	1	788*	0,9**	0,3**	106,7**	7,8**	7048**	0,02**	0,03**	0,002*	0,004218	52136**	6265**	23419**
clone*EH*ENUT	2	26,03**	0,00062	0,00119	1,612	0,779	43	0,000115	0,00028	0,000056	0,001084	4434	784,6	646,6
Resíduo	60	3,74	0,008419	0,00259	1,409	0,7071	259	0,00069	0,00083	0,00034	0,001614	1756	280,9	1091,4
4 meses														
clone	2	10,20	0,03	0,01	2,47	5,45	1103,90	0,003	0,03**	0,02**	0,002	3188*	1070,10	1776,4
EH	1	1775,4*	1,2**	0,65**	99,04**	12,03	35939,1**	0,1**	0,19**	0,015**	0,05**	257,40	2693*	264,2
ENUT	2	48,1**	0,15**	0,36**	13,96**	12,47*	9350,8**	0,02**	0,04**	0,003	0,01	41649**	5143**	33129**
clone*EH	2	31,3*	0,02	0,01	5,84	9,92	88,70	0,00	0,00	0,000	0,00	1847,30	366,40	2944,6
clone*ENUT	4	24,1*	0,04*	0,02	6,46*	4,07	323,10	0,00	0,01	0,003	0,00	5792**	1677*	4512**
EH*ENUT	2	349,9**	0,04*	0,12**	10,3**	0,45	24557**	0,07**	0,10**	0,004	0,01**	4368*	1020,40	5111*
clone*EH*ENUT	4	45,6**	0,03**	0,01	3,73	1,05	1025,20	0,003	0,01*	0,005*	0,002	5857**	886,10	5530**
Resíduo	54	9,29	0,01	0,01	1,92	3,47	464,50	0,001	0,003	0,002	0,002	965,70	534,50	1105,9
6 meses														
clone	2	17,14	0,0400	0,0211	7,8480	1,8889	332,0	0,0009	0,011**	0,006*	0,0003	8110,7**	1092,1	5599,9*
EH	1	3,85	0,0049	0,0000	0,0980	0,3186	86,3	0,0002	0,0001	0,0001	0,0002	652,9	0,9	454,8
ENUT	2	48,8**	0,2**	0,18**	10,2470	1,6690	451,7	0,0012	0,0027	0,0005	0,0009	11136**	2766*	5555,1
clone*EH	2	5,75	0,0057	0,0030	2,2800	0,6833	165,9	0,0004	0,0005	0,0000	0,0004	781,4	101,8	298,3
clone*ENUT	4	14,28	0,0109	0,0060	3,9690	1,7885	68,3	0,0002	0,0023	0,0012	0,0001	4716*	803,1	3117,6
EH*ENUT	2	34,9**	0,0013	0,0058	2,0740	0,1022	455,7	0,0011	0,0029	0,0003	0,0012	420,4	124,3	946,3
clone*EH*ENUT	4	10,82	0,0128	0,0029	1,6380	0,2072	288,5	0,0007	0,0017	0,0025	0,0026	244,5	247,7	582,9
Resíduo	54	6,96	0,0144	0,0097	3,5390	1,0611	152,3	0,0004	0,0011	0,0013	0,0020	1496,0	617,1	1347,9
10 meses														
clone	2	36,7*	0,0098	0,0295	4,1450	1,0970	2766**	0,007**	0,046**	0,02**	0,0044	1919,6	684,3	1850,2
EH	1	3,61	0,0001	0,0226	0,1320	2,4880	261,0	0,0007	0,0021	0,0004	0,0001	5739,5	4398**	2762*
ENUT	2	1,37	0,0033	0,0095	1,7290	1,1300	1401*	0,004*	0,01*	0,013**	0,022**	4926,1	638,0	1533,6
clone*EH	2	27,90	0,0123	0,0237	5,5860	11,6980	870,0	0,0023	0,0066	0,0023	0,0029	7034,8	583,5	2471*
clone*ENUT	4	8,84	0,0013	0,0035	0,7680	2,9230	318,0	0,0008	0,01**	0,007**	0,0027	2492,2	1999**	1569,3
EH*ENUT	2	6,33	0,0062	0,0068	1,6590	0,4990	1013,0	0,0027	0,009*	0,0020	0,0006	1194,3	57,1	723,8
clone*EH*ENUT	4	17,29	0,0063	0,0116	2,0740	4,2160	186,0	0,0005	0,0012	0,0007	0,0038	1883,9	749,2	1317,3
Resíduo	54	12,06	0,0054	0,0209	1,8010	4,5450	398,0	0,0011	0,0023	0,0017	0,0037	1435,1	519,9	669,9

Quadro 6A - Análise de variância da matéria seca de folhas, galho, casca, caule, raízes fina e grossa, total, parte aérea e radicular das plantas em três clones de eucalipto (GG100, I-144 e 1528) expostos a diferentes regimes hídricos, sem ou com estresse hídrico até 4 meses após o plantio (EH), e 0, 2 ou 4 meses de atraso da adubação, após o plantio (ENUT). Análise realizada aos 10 meses

FV	GL	Quadrado médio de matéria seca								
		Folhas	Galho	Casca	Caule	Raiz fina	Raiz grossa	Total	Parte Aérea	Raiz total
clone	2	0,27**	0,19**	0,000586	0,02443	0,05494	1,16**	0,582	0,4334	1,55**
EH	1	0,12*	0,08**	0,031**	0,12*	0,04603	0,36*	0,57	1,31**	0,1516
ENUT	2	0,26**	0,24**	0,028**	0,22**	0,19**	2,34**	12,306**	2,67**	3,87**
clone*EH	2	0,02	0,02957	0,00025	0,00575	0,00358	0,2056	0,313	0,056	0,1686
clone*ENUT	4	0,105**	0,06**	0,003826	0,05574	0,06636	0,0582	1,01	0,6014	0,21*
EH*ENUT	2	0,14**	0,06**	0,015**	0,05831	0,04224	0,129	1,25*	0,9866	0,0237
clone*EH*ENUT	4	0,025	0,01766	0,001355	0,01092	0,01088	0,1412	0,364	0,0629	0,1966
Resíduo	54	0,02	0,01171	0,002525	0,02372	0,03119	0,0684	0,307	0,14	0,0789

*significativo a 5% e **significativo a 1% pelo teste F.

Quadro 7A - Análise de variância do conteúdo total de nutrientes nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), enxofre (S), cobre (Cu), manganês (Mn) e boro (B) nas plantas em três clones de eucalipto (GG100, I-144 e 1528) expostos a diferentes regimes hídricos, sem ou com estresse hídrico até 4 meses após o plantio (EH), e 0, 2 ou 4 meses de atraso da adubação, após o plantio (ENUT). Análise realizada aos 10 meses

FV	GL	Quadrado médio do conteúdo total de nutrientes na planta								
		N	P	K	Ca	Mg	S	Cu	Mn	B
clone	2	32,5	7,44**	132,1*	51,42*	9,97**	0,752	11,35	142476**	43
EH	1	166,7	0,004	1,3	10,01	2,953	0,596	28,84	103762**	1
ENUT	2	326,2*	22,9**	89	131,31**	20,05**	8,37**	579,3**	836804**	8004**
clone*EH	2	73	0,001	58	3,59	0,065	0,525	4,24	31299	1699
clone*ENUT	4	67,3	3,21*	23,3	17,59	2,328	0,174	34,7	10823	1140
EH*ENUT	2	206,2*	1,05	40	5,95	2,739	1,32**	34,95	191840**	619
clone*EH*ENUT	4	17,8	1,853	26	4,67	0,284	0,092	34,37	16754	172
Resíduo	54	45,3	1,055	37,9	10,31	1,017	13,127	1772,01	646065	54724

*significativo a 5% e **significativo a 1% pelo teste F.