

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE CIÊNCIAS RURAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA**

**DESENVOLVIMENTO E ESTRESSE HÍDRICO EM
MUDAS DE *Eucalyptus grandis* (Hill ex Maiden) E
Eucalyptus saligna (Smith).**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Fabrina Bolzan Martins

Santa Maria, RS, Brasil

2007

**DESENVOLVIMENTO E ESTRESSE HÍDRICO EM MUDAS
DE *Eucalyptus grandis* (Hill ex Maiden) E *Eucalyptus saligna*
(Smith).**

por

Fabrina Bolzan Martins

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Área de Concentração em Engenharia de Água e Solo, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Engenharia Agrícola.**

Orientador: Nereu Augusto Streck

**Santa Maria, RS, Brasil
2007**

**Universidade Federal de Santa Maria
Centro de Ciências Rurais
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola**

A Comissão Examinadora, abaixo assinada, aprova a
Dissertação de Mestrado

**DESENVOLVIMENTO E ESTRESSE HÍDRICO EM MUDAS DE
Eucalyptus grandis (Hill ex Maiden) E *Eucalyptus saligna* (Smith).**

elaborada por

Fabrina Bolzan Martins

Como requisito parcial para a obtenção do grau de
Mestre em Engenharia Agrícola

Comissão Examinadora:

Nereu Augusto Streck, PhD (UFSM)
(Presidente/Orientador)

Paulo Renato Schneider, Dr. (UFSM)

Sandro Luis Petter Medeiros, Dr. (UFSM)

Santa Maria, 16 de fevereiro de 2007.

*"Se você tivesse acreditado na minha brincadeira de dizer verdades,
teria ouvido as verdades que insisto em dizer brincando.
Falei muitas vezes como palhaço,
mas nunca desacreditei na seriedade da platéia que sorria"*

(Charles Chaplin)

*"A alegria está na luta, na tentativa, no sofrimento envolvido
e não na vitória propriamente dita"*

(Francisco Cândido Xavier)

A Deus, por guiar meus passos dando força necessária,
Agradeço.

Ao Joel Cordeiro da Silva e minha maninha querida
Noara Bolzan Martins pelo amor,
apoio incondicional e ajuda de todas as
formas possíveis,
Dedico.

Ao meu avô Rodolpho Bolzan (*in memoriam*) pelo afeto;
meu pai Alci Pube e minha mãe Tania pela vida
e minha mana Gisene pelo carinho e constante incentivo
Ofereço.

AGRADECIMENTOS

A Universidade Federal de Santa Maria e ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Agrícola pela nova perspectiva de vida e oportunidade de aprendizado e crescimento.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela bolsa concedida a qual possibilitou a realização do Mestrado.

Ao querido Prof. PhD. Nereu Augusto Streck pela confiança em mim depositada, valiosa orientação, dedicação, apoio científico, enorme incentivo e amizade construída nesse percurso.

Ao secretário do curso do PPGEA, Ercelino, pelos conselhos e pela dedicação no seu trabalho.

Aos co-orientadores Alessandro Dal' Col Lucio, Miguel Antão Durlo e Reimar Carlesso pelo atendimento aos meus pedidos de ajuda, principalmente na fase inicial do experimento.

Aos meus colegas e eternos amigos Ângela Freitag (meu afilhado Jarian), Cleber Saldanha, Denise Ceconi, Everton Poelking, Igor Poletto, Isabel Kleinpaul e Tiago Fick, companheiros de todas as horas, pelas horas de conversa, incentivo, apoio, mateadas, churrascadas, "birinigths"...

Ao pessoal do Departamento de Fitotecnia, em especial, Carina Pivetta, Edenir Grimm, Gizelli de Paula (tufo), Luciano Streck e o casal Hamiton e Lidiane (Waltinho e Rose) pela ajuda na coleta de dados e apoio no decorrer do mestrado e ao Alfredo, Leosane, Ivonete, Gustavo, Joelma e Lovane pelas risadas, batatadas e jogatinas de "mau mau".

Aos acadêmicos de Engenharia Florestal Felipe Susin (Bebê), Magnos Vivian (Pingüim), Marcio Navroski (Navra), Wesley Moraes (Mineirinho) pela amizade, ajuda nos experimentos e conselhos. Ao acadêmico de Agronomia Bruno Kraulich pelo auxílio na coleta de dados na fase inicial do experimento.

Ao funcionário do Depto de Fitotecnia, João, pela valiosa ajuda na instalação do experimento.

Aos meus "verdadeiros tios" Osiris e Sônia Braga pelos anos de companheirismo, afeto, carinho e amizade.

Aos sempre amigos Aline Silva, Cristina Schneider, Fabiano Braga, Gilvano Brondani e Luis de Freitas pelas palavras de conforto.

Aos membros da banca examinadora por aceitarem fazer parte desse trabalho dando sua colaboração.

A todas as pessoas que não foram mencionadas e que de alguma forma auxiliaram a evoluir nos meus estudos e na realização deste trabalho, meus sinceros agradecimentos.

Para que fique registrada minha gratidão, meu reconhecimento e o meu apreço por todos. OBRIGADO!

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	ix
LISTA DE TABELAS.....	xi
LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS.....	xii
RESUMO GERAL.....	xiv
ABSTRACT.....	xv
INTRODUÇÃO GERAL	1
CAPÍTULO I.....	3
RESUMO.....	3
ABSTRACT	4
1. INTRODUÇÃO	5
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	8
2.1. PROTOCOLO EXPERIMENTAL	8
2.2. ESTIMATIVA DO APARECIMENTO DE FOLHAS	10
2.2.1 Modelo do Filocrono	11
2.2.2 Modelo de WE	12
2.2.3 Estimativa dos coeficientes dos modelos do filocrono e WE.....	14
2.2.4 Avaliação dos modelos	14
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	17
4. CONCLUSÃO.....	27
5. REFERÊNCIAS	28
CAPÍTULO II.....	32
RESUMO.....	32
ABSTRACT	33
1. INTRODUÇÃO	34
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	38
2.1.PROTOCOLO EXPERIMENTAL	38
2.2.APLICAÇÃO DA DEFICIÊNCIA HÍDRICA	40
2.3.NORMALIZAÇÃO DAS VARIÁVEIS E AJUSTE DAS EQUAÇÕES	41
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	43
4. CONCLUSÃO.....	51
5. REFERÊNCIAS	52
CONCLUSÕES GERAIS.....	55
REFERÊNCIAS GERAIS	56

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO I

- FIGURA 1 – Representação gráfica do método de cálculo da soma térmica usado no modelo do filocrono para estimar o aparecimento de folhas em duas espécies de eucalipto (*E. grandis* e *E. saligna*).....12
- FIGURA 2 - Curva da função de resposta da taxa de aparecimento de folhas em função da temperatura [f(T)] usada no modelo de WE com base nas temperaturas cardinais para as duas espécies de eucalipto (*E. grandis* e *E. saligna*).....13
- FIGURA 3 - Número de folhas na haste principal observado versus estimado pelos modelos do filocrono (a, c) e pelo modelo de WE (b, d) nas duas espécies de eucalipto. A linha cheia é a linha 1:1. Para identificar as épocas de semeadura, consultar a tabela 2. Santa Maria, RS, 2005/2006.....20
- FIGURA 4 – Número de folhas na haste principal em *Eucalyptus grandis* observado e estimado pelos dois modelos (FIL e WE) em cinco épocas de cultivo a campo (CA5, CA6, CA7, CA8 e CA9) e duas em casa de vegetação (CV1 e CV2). Santa Maria, RS, 2005/2006.....23
- FIGURA 5 - Número de folhas na haste principal em *Eucalyptus saligna* observado e estimado pelos dois modelos (FL e WE) em cinco épocas de cultivo a campo (CA5, CA6, CA7, CA8 e CA9) e duas em casa de vegetação (CV1 e CV2). Santa Maria, RS, 2005/2006.....24

CAPÍTULO II

- FIGURA 1 – Variáveis normalizadas de taxa de transpiração relativa (TR), altura de planta (h), diâmetro de caule (d) e número de folhas na haste principal (NF) em função da fração de água transpirável no solo (FATS) para mudas de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna* cultivados em casa de vegetação na primeira época de semeadura (CV1). Santa Maria, RS, 2005.....47

FIGURA 2 – Variáveis normalizadas de taxa de transpiração relativa (TR), altura de planta (h), diâmetro de caule (d) e número de folhas na haste principal (NF) em função da fração de água transpirável no solo (FATS) para mudas de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna* cultivados em casa de vegetação na segunda época de semeadura (CV2). Santa Maria, RS, 2006.....48

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO I

- TABELA 1 - Critérios de interpretação do desempenho dos métodos pelo índice c (adaptado de CAMARGO & SENTELHAS, 1997).....15
- TABELA 2 - Média da temperatura mínima, média e máxima diária do ar nas diferentes épocas de semeadura no campo e em casa de vegetação. A média é da emergência até a última observação de número de folhas na haste principal. Santa Maria RS, 2005/2006.....17
- TABELA 3 - Valores das estatísticas utilizadas na avaliação dos modelos do filocrono (FIL) e WE para estimativa do aparecimento de folhas em duas espécies de eucalipto para as diferentes épocas de semeadura a campo (CA5, CA6, CA7, CA8, CA9) e em casa de vegetação (CV1 e CV2).....21

CAPÍTULO II

- TABELA 1 – Transpiração total média por planta (g planta^{-1}) e consumo médio de água ($\text{mm planta.dia}^{-1}$) nas mudas de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna* em dois tratamentos (T1, T2) em casa de vegetação em duas épocas de semeadura (CV1, CV2). Santa Maria, RS, 2005/2006.....43
- TABELA 2 – Área foliar média ($\text{cm}^2 \text{planta}^{-1}$) inicial (AFi) e final (AFf) de mudas de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna* em dois tratamentos (T1, T2) em casa de vegetação e duas épocas de semeadura (CV1 e CV2), Santa Maria, RS, 2005/2006.....44
- TABELA 3 – Equações ajustadas para as variáveis normalizadas TR, h, d e NF em função da FATS e valores dos indicadores estatísticos para mudas de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna* cultivadas em casa de vegetação em duas épocas de semeadura (CV1 e CV2). Santa Maria, RS, 2005/2006.....49

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

- ABRAF – Associação Brasileira de Florestas Plantadas
- AFi – Área foliar inicial
- AFf – Área foliar final
- c – Índice c
- CAD – Capacidade de armazenamento de água disponível
- CA1 – Época 1 do experimento a campo
- CA2 – Época 2 do experimento a campo
- CA3 – Época 3 do experimento a campo
- CA4 – Época 4 do experimento a campo
- CA5 – Época 5 do experimento a campo
- CA6 – Época 6 do experimento a campo
- CA7 – Época 7 do experimento a campo
- CA8 – Época 8 do experimento a campo
- CA9 – Época 9 do experimento a campo
- CT – Coeficiente de transpiração
- CV1 – Época 1 do experimento em casa de vegetação
- CV2 - Época 2 do experimento em casa de vegetação
- d – Diâmetro de caule
- DAP – Diâmetro a altura do peito
- d_w – Índice de concordância de Wilmott
- E – Valores estimados
- \bar{E} - Média dos valores estimados
- Em – Eficiência do modelo
- f – Fator de forma da área foliar
- FAD – Fração de água disponível
- FATS – Fração de água transpirável no solo
- FTSW – Fraction of transpirable of soil water
- FIL – Modelo do Filocrono
- h – altura de planta
- HP – Haste principal
- LAR – Leaf appearance rate

n – Número de observações
 'n' – Número de equações
 NF – Número de folhas acumuladas na haste principal
 NL – Leaf number
 O – Valores observados
 \bar{O} - Média dos valores observados
 QMres – Quadrado médio do resíduo
 QTA – Quantidade total de água disponível
 r – coeficiente de correlação
 RMSE – Root mean square error
 RQME – Raiz do quadrado médio do erro
 SAS – Statistical analysis system
 SBSCS – Sociedade Brasileira de Ciência do Solo
 STa – Soma térmica acumulada
 STd - Soma térmica diária
 S_{yx} – Erro padrão de estimativa
 T1 – Tratamento 1 com irrigação
 T2 – Tratamento 2 sem irrigação
 TAF – Taxa de aparecimento de folhas
 TAF_{max} – Taxa de aparecimento máximo de folhas
 Tb – Temperatura base
 T_{max} – Temperatura máxima de aparecimento de folha
 TM – temperatura máxima diária do ar
 Tm – temperatura mínima diária do ar
 \bar{T}_m - Temperatura média do ar
 Tot – Temperatura ótima de aparecimento de folha
 TR – Transpiração relativa
 Vp – Valores ponderados dos escores estatísticos
 WE – Modelo de Wang & Engel
 Yi – Valor observado
 \hat{Y}_i - Valor estimado pelo modelo
 \bar{Y}_i - Média dos valores observados

RESUMO GERAL

Dissertação de Mestrado
Programa de Pós-graduação em Engenharia Agrícola
Universidade Federal de Santa Maria, RS, Brasil

DESENVOLVIMENTO E ESTRESSE HÍDRICO EM MUDAS DE *Eucalyptus grandis* (Hill ex Maiden) E *Eucalyptus saligna* (Smith).

AUTORA: FABRINA BOLZAN MARTINS
ORIENTADOR: NEREU AUGUSTO STRECK
Local e Data da Defesa: Santa Maria, 16 de fevereiro de 2007.

Os fatores abióticos que mais afetam o crescimento e o desenvolvimento das plantas são a temperatura do ar e a água no solo. Esse trabalho teve dois objetivos. O primeiro, foi avaliar e comparar dois modelos para a estimativa do número de folhas acumuladas na haste principal (NF) em mudas de *Eucalyptus grandis* (Hill ex Maiden) e *Eucalyptus saligna* (Smith). O segundo, foi quantificar a influência do déficit hídrico no solo sobre a transpiração e sobre alguns parâmetros de crescimento (altura de planta e diâmetro de caule) e desenvolvimento (NF) na fase de muda destas duas espécies de eucalipto. Para atingir estes objetivos foram instalados dois experimentos na área experimental do Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Santa Maria, RS (Santa Maria, RS). Um experimento foi conduzido a campo com nove épocas de semeadura e o outro foi conduzido em casa de vegetação com duas épocas de semeadura. No primeiro experimento, o modelo de Wang & Engel estimou melhor o NF que o modelo do Filocrono, com valor da raiz do quadrado médio do erro (RQME) de 2,7 e 3,7 folhas comparado com o RQME de 7,1 e 10 folhas para *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna*, respectivamente. No segundo experimento, a água no solo foi representada pela fração de água transpirável no solo (FATS) e o valor de FATS em que ocorreu o início do fechamento estomático foi 0,9 (CV2) ou 0,7 (CV1) para *Eucalyptus grandis* e 0,7 para *Eucalyptus saligna*, valor superior a muitas culturas anuais e algumas espécies perenes. As variáveis de crescimento e desenvolvimento foram afetadas logo no início da aplicação da deficiência hídrica em FATS, porém os sintomas da deficiência hídrica demoraram para aparecer levando em consideração os dias do calendário civil.

Palavras-chave: Temperatura do ar; modelagem; déficit hídrico no solo; fração de água transpirável no solo; espécies florestais.

ABSTRACT

Master of Science Dissertation
Graduate Program in Agricultural Engineering
Federal University of Santa Maria, RS, Brazil

DEVELOPMENT AND WATER STRESS IN SEEDLINGS OF *Eucalyptus grandis* (Hill ex Maiden) AND *Eucalyptus saligna* (Smith).

AUTHOR: FABRINA BOLZAN MARTINS
ADVISOR: NEREU AUGUSTO STRECK

Location and Date of Defense: Santa Maria, February 16th, 2007.

Air temperature and soil water are major abiotic factors that affect plants growth and development. The objectives of this study were two: the first was to evaluate and compare two leaf number (NL) simulation models in *Eucalyptus grandis* (Hill ex Maiden) and *Eucalyptus saligna* (Smith) seedlings. The second was to quantify the influence of soil water deficit on transpiration and on some growth (plant height and stem diameter) and development (main stem leaf number) parameters in seedlings of these two eucalyptus species. To achieve these objectives, two experiments were carried out at the field research area, Crop Science Department, Federal University of Santa Maria, Santa Maria, RS, Brazil. One was a field experiment with nine sowing dates, and the other was a greenhouse experiment with two sowing dates. In the first experiment, the Wang e Engel model estimated better the NL, with a root mean square error (RMSE) of 2.7 and 3.7 leaves compared with the phyllocron model which had an RMSE of 7.1 and 10.0 leaves for *Eucalyptus grandis* and *Eucalyptus saligna*, respectively. In the second experiment, the soil water was expressed as the fraction of transpirable soil water (FTSW) and the value of FTSW that beginning of stomata closure took place was 0,9 (CV2) or 0,7 (CV1) in *Eucalyptus grandis* and 0.7 in *Eucalyptus saligna*. These FTSW values are higher than FTSW values for many annual crops and some perennial species reported in the literature. Seedlings growth and developmental parameters decreased immediately after the start of soil water deficit, represented as FTSW, but it took several calendar days for water shortage symptoms to be visible in the plants.

Key words: air temperature; modelling; water stress; fraction of transpirable of soil water; forest species.

INTRODUÇÃO GERAL

O gênero *Eucalyptus* pertence família Myrtaceae, ordem Myrtales das Angiospermas (PRYOR, 1976 citado por LIMA, 1984).

Eucalyptus grandis é nativa da costa leste da Austrália, desde Queensland até New South Wales (26° à 33° latitude sul) até Atherton Tablelands (13° latitude sul) (MARCHIORI & SOBRAL, 1997). Apresenta rápido crescimento, variando de 43 à 55 metros de altura, e 122 à 180 cm de DAP. Possui excelente forma de tronco. É cultivada em mais de meio milhão de hectares plantados em áreas de clima tropical e subtropical nos quatro continentes, sendo uma das mais importantes espécies comerciais de eucalipto no Brasil (LOPES, 2003; MESKIMEN & FRANCIS, 2006). A área de distribuição de origem do *Eucalyptus grandis* apresenta clima subtropical úmido, com temperatura mínima média dos meses mais frios de 2 à 10°C e temperatura máxima média dos meses mais quentes de 29°C. No sudoeste da Flórida a espécie se adapta bem em verões quentes e úmidos e invernos frios e secos, com temperatura média diária nos meses mais quentes de 32°C (MESKIMEN & FRANCIS, 2006).

Eucalyptus saligna é nativa da costa leste da Austrália desde a Bahia de Bateman (36° latitude sul), sul de New South Wales até sudoeste de Queensland (27° latitude sul) (FORESTRY AND TIMBER BUREAU, 1962). Apresenta rápido crescimento, chegando até a 55 metros de altura e 180 cm de diâmetro à altura do peito (DAP), prefere regiões de clima temperado à subtropical. Adaptou-se bem no Brasil e por essa razão é muito utilizada em plantios comerciais (MARCHIORI & SOBRAL, 1997; TONINI, 2003). Essa espécie apresenta a mesma amplitude geográfica que o *Eucalyptus grandis*, porém sobrevive em regiões mais frias, com temperatura mínima chegando à -7°C (SKOLMEN, 2006).

Com o aumento da demanda por produtos oriundos do eucalipto tornou-se necessário elevar a produtividade da cultura. O primeiro passo neste processo é produzir mudas de boa qualidade, pois tem impacto direto no sucesso da implantação e estabelecimento da cultura (GOMES et al., 2002). Para tanto, é importante conhecer a relação entre crescimento e desenvolvimento da planta na fase de muda e o ambiente (GOMES et al., 2002; MANTOVANI et al., 2003).

O crescimento e o desenvolvimento das mudas depende de vários fatores ambientais, entre eles a temperatura do ar e o conteúdo de água no solo. A temperatura do ar é um dos principais elementos meteorológicos que afeta o desenvolvimento da maioria das espécies vegetais (HODGES, 1991; YAN & HUNT, 1999; STRECK, 2002a).

Por razões científicas e práticas, estudos relacionando temperatura do ar, fenologia e o desenvolvimento de espécies florestais têm recebido grande atenção apenas em países de clima temperado e pouca atenção em países de clima tropical, onde o crescimento e o desenvolvimento são muito variáveis (SCURFIELD, 1961; SANDS & LANDSBERG, 2002).

Segundo Larcher (2000) a água é o principal constituinte dos vegetais, portanto uma pequena redução na disponibilidade de água no solo pode afetar drasticamente o metabolismo das plantas (HSIAO & AZEVEDO, 1974; SANTOS, 1997; TAIZ & ZAIGER, 2004), afetando o crescimento, desenvolvimento e produtividade das culturas anuais e perenes (CARLESSO & SANTOS, 1999; CABRAL, 2004; FIGUERÔA et al, 2004).

Esta dissertação está dividida em dois capítulos. O capítulo I teve como objetivo avaliar e comparar dois modelos para estimar o número de folhas acumuladas na haste principal (NF) em mudas de *Eucalyptus grandis* (Hill ex Maiden) e *Eucalyptus saligna* (Smith). O capítulo II teve como objetivo quantificar a influência do déficit hídrico no solo, representado pela FATS, sobre a transpiração e sobre alguns parâmetros de crescimento (altura de planta e diâmetro de caule) e desenvolvimento (NF) na fase de muda. Para atingir estes objetivos foram instalados dois experimentos, um a campo com nove épocas de semeadura e outro em casa de vegetação com duas épocas de semeadura na área experimental do Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS.

CAPÍTULO I

ESTIMATIVA DO APARECIMENTO DE FOLHAS EM DUAS ESPÉCIES DE EUCALIPTO NA FASE DE MUDA

RESUMO

O número de folhas acumuladas na haste principal (NF) é uma excelente medida de desenvolvimento vegetal e está associada a evolução da área foliar da planta. Portanto, a estimativa do NF é de interesse em estudos ecofisiológicos de culturas agrícolas e florestais. O objetivo desse estudo foi avaliar e comparar dois modelos para estimativa NF nas espécies *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna* na fase de muda. Para atingir esse objetivo foram instalados dois experimentos na área experimental do Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Santa Maria (Santa Maria, RS) durante os anos de 2005 e 2006. Um experimento foi conduzido a campo com nove épocas de semeadura e o outro experimento em casa de vegetação com duas épocas de semeadura. Os modelos utilizados foram o modelo do filocrono, que assume uma relação linear entre a taxa de aparecimento de folhas (TAF) e temperatura, e o modelo de Wang e Engel, que assume uma relação não linear entre TAF e temperatura. As quatro primeiras épocas de semeadura a campo foram utilizadas para estimar os coeficientes dos modelos e as épocas de semeadura restantes do experimento a campo e as duas épocas de semeadura do experimento em casa de vegetação, foram utilizadas como dados independentes para avaliar os dois modelos. Foram utilizados sete indicadores estatísticos para avaliar os modelos. O modelo de Wang e Engel estimou melhor o NF, com valor da raiz do quadrado médio do erro (RQME) de 2,7 e 3,7 folhas para comparado com o modelo do filocrono com RQME de 7,1 e 10 folhas para *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna* respectivamente.

Palavras-chave: desenvolvimento vegetal; temperatura; modelagem; *Eucalyptus grandis*; *Eucalyptus saligna*.

ESTIMATING LEAF APPEARANCE IN TWO EUCALYPTUS SPECIES DURING SEEDLING PHASE

ABSTRACT

The number of accumulated leaves on the main stem (NL) is an excellent measure of plant development and is associated with the increase in plant leaf area. Therefore, the estimation of NL is of interest in ecophysiological studies on agricultural and forest crops. The objective of this study was to evaluate and compare two NL simulation models in *Eucalyptus grandis* and *Eucalyptus saligna* seedlings. To achieve this objective, two experiments were carried out in the field research area, Crop Science Department, Federal University of Santa Maria, Santa Maria, RS, Brazil during 2005 and 2006. One was a field experiment with nine sowing dates, and the other was a greenhouse experiment with two sowing dates. Models used were the phyllochron model, which assumes a linear relationship between leaf appearance rate (LAR) and temperature, and the Wang e Engel model, which assumes a non-linear relationship between LAR and temperature. Four sowing dates from the field experiment were used to estimate the coefficients of the models and the other sowing dates of the field and greenhouse experiments were used as independent data to evaluate the models. Seven statistics were used to evaluate models performance. The Wang e Engel model estimated better the NL, with a root mean square error (RMSE) of 2.7 and 3.7 leaves compared with the phyllochron model that had on RMSE of 7.1 and 10 leaves for *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna*, respectively.

Key words: plant development; temperature; modelling; *Eucalyptus grandis*; *Eucalyptus saligna*.

1. INTRODUÇÃO

A família *Myrtaceae* compreende cerca de 100 gêneros e 3.000 espécies de árvores e arbustos, os quais distribuem-se em todos os continentes com predominância nas regiões tropicais e subtropicais (MARCHIORI & SOBRAL, 1997). Uma das subfamílias da *Myrtaceae* é a subfamília *Leptospermoideae* a qual concentra-se principalmente na Austrália e região indo-malaia, havendo um único representante no continente americano. O gênero de maior valor econômico dessa subfamília é *Eucalyptus* sp, amplamente introduzido em praticamente todos os continentes (STAPE et al., 2004a). É cultivado em grande escala pelas suas características favoráveis como: rápido crescimento, grande incremento, facilidade de manejo, diversidade de espécies e atendimento a uma ampla gama de propósitos industriais (SANTOS et al., 2003).

As espécies do gênero *Eucalyptus* têm sua origem na Austrália e regiões próximas, como Timor, Indonésia, Papua-Nova-Guiné, Molucas, Irian Jaya e sul das Filipinas, com centro de origem da maioria no continente australiano, distribuídas entre as altitudes de 30 m a 2.000 m e latitudes de 13° à 44°Sul (ELDRIDGE & CROMER.,1987; MARCHIORI & SOBRAL, 1997). As florestas australianas são dominadas por eucaliptos, onde mais de 720 espécies são conhecidas, das quais aproximadamente uma centena é utilizada em produtos da madeira (WAUGH, 1998).

Espécies do gênero *Eucalyptus* compõem 40% das plantas arbóreas introduzidas nos países tropicais (KALLARACKAL & SOMEN, 1997). É o gênero florestal mais dominante e produtivo do Brasil, com incremento médio anual de 9 à 39 Mg ha⁻¹ ano⁻¹ em aproximadamente 3 milhões de hectares plantados e manejados intensivamente principalmente para a obtenção dos produtos como polpa celulósica, papel, madeira para serraria e geração de energia (STAPE et al., 2004b; ABRAF, 2006).

O Rio Grande do Sul é o 5° maior produtor de eucalipto do Brasil com uma área plantada de 179.690 ha, e aproximadamente 30% dessa área é *Eucalyptus grandis* e 10% *Eucalyptus saligna* (ABRAF, 2006). Ainda tem-se observado um aumento na área plantada de eucalipto nas regiões tropicais, atribuído ao esforço e eficiência nos estudos dos diversos órgãos de pesquisa, que atualmente vêm dando

ênfase em pesquisas com modelagem ecofisiológica nas espécies de *Eucalyptus* sp (KALLARACKAL & SOMEN, 1997; STAPE et al., 2004a).

O desenvolvimento das plantas é afetado por fatores bióticos e abióticos (STRECK, 2002a). Entre os fatores abióticos, a temperatura do ar é o fator que mais influencia o desenvolvimento das plantas (HODGES, 1991; YIN et al., 1995; YAN & HUNT, 1999) incluindo o eucalipto (SCURFIELD, 1961; PATON, 1980; BATTAGLIA et al., 1996).

O número de folhas acumuladas na haste principal (NF) é uma excelente medida de desenvolvimento vegetal (HODGES, 1991) e está associada a evolução da área foliar da planta, a qual determina a interceptação da radiação solar usada na fotossíntese do dossel vegetativo. Portanto, a estimativa do NF é de interesse em estudos ecofisiológicos das culturas agrícolas e florestais. O NF pode ser estimado através da taxa de aparecimento de folhas (TAF). Integrando-se a TAF têm-se o NF (WANG & ENGEL, 1998). Uma das maneiras de estimar a TAF é através do conceito de filocrono, definido como o intervalo de tempo para o aparecimento de folhas sucessivas na haste principal (KLEPPER et al., 1982; FRANK & BAUER, 1995; XUE et al., 2004). Outra forma de estimar a TAF é através de modelos multiplicativos compostos por funções de resposta que descrevem o efeito dos fatores ambientais sobre a emissão de folhas, como por exemplo o modelo de Wang e Engel (WANG & ENGEL, 1998; STRECK et al., 2003).

No modelo do filocrono assume uma relação linear entre TAF e temperatura do ar (XUE et al., 2004). Com o tempo expresso em soma térmica (ST) com unidade °C dia, o filocrono tem como unidade °C dia folha⁻¹ (STRECK et al., 2006; STRECK et al., 2007). O modelo do filocrono é bastante utilizado para estimar o desenvolvimento na maioria das culturas (KIRBY, 1995; YAN & HUNT, 1999; STRECK, 2002a), mas apresenta algumas desvantagens, entre elas a pressuposição de que a resposta da taxa de desenvolvimento é linearmente proporcional a temperatura (SHAYKEWICH, 1995; YIN et al., 1995; YAN & HUNT, 1999; XUE et al., 2004). Processos biológicos, incluindo a TAF, tem resposta não linear à temperatura (STRECK, 2003; STRECK 2004b; XUE et al., 2004).

No Modelo de Wang e Engel (WE), a função de resposta da TAF à temperatura do ar [f(T)] é não linear e descrita por uma função beta (WANG & ENGEL, 1998; YAN & HUNT, 1999; STRECK et al., 2003; STRECK, 2004a,b). A f(t)

é multiplicada pela taxa de aparecimento de folhas máxima e dessa multiplicação têm-se a taxa de aparecimento das folhas atual (XUE et al., 2004).

Estudos demonstraram que o modelo de WE estima melhor o NF em culturas agrícolas anuais do que o modelo do filocrono, porém o modelo do filocrono continua sendo utilizado amplamente na estimativa do desenvolvimento das culturas (STRECK, 2003; XUE et al., 2004; STRECK et al., 2005). Em espécies agrícolas os estudos relacionando parâmetros de desenvolvimento com temperatura do ar são freqüentes, enquanto em espécies florestais não há ênfase nesse tipo de estudo (CREMER, 1975; SANDS & LANDSBERG, 2002; LANDSBERG et al., 2003; NGUGI et al., 2003; STAPE et al., 2004a), o que se constituiu em incentivo para este esforço científico. Oportuno, também, é comparar modelos de estimativa do NF em espécies florestais que consideram uma resposta linear e não linear da TAF à temperatura.

O objetivo desse estudo foi avaliar e comparar dois modelos: filocrono e WE, para estimativa do aparecimento de folhas nas espécies *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna* na fase de muda.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Protocolo experimental

Foram conduzidos dois experimentos no Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Santa Maria (Santa Maria, RS, latitude: 29° 43' S, longitude: 53°43' W e altitude: 95 m). O primeiro experimento foi conduzido a campo, em nove épocas de semeadura e o segundo experimento foi conduzido em casa de vegetação em duas épocas de semeadura, a fim de obter condições térmicas variadas. Foram usadas duas espécies de eucalipto, *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna*. As sementes das duas espécies foram adquiridas da Estação Experimental de Silvicultura da Fundação Estadual de Pesquisa Agropecuária (FEPAGRO), localizada no distrito de Boca do Monte, município de Santa Maria, RS.

No experimento a campo foi utilizado o delineamento blocos ao acaso, organizados em esquema fatorial (Fator A = espécie, Fator D = épocas de semeadura) com três repetições, nove épocas de semeadura e duas espécies. Cada parcela foi constituída de dois vasos de 12 litros por espécie. Os vasos foram preenchidos com solo do horizonte B pertencente a unidade de mapeamento São Pedro (Argissolo Vermelho-amarelo distrófico típico) e enterrados no solo a fim de minimizar o aquecimento do solo pela incidência direta de radiação solar nas paredes externas dos vasos, o que poderia influenciar na taxa de aparecimento de folhas. O espaçamento entre vasos foi de 50 cm. O solo foi preparado um mês antes de cada semeadura. A semeadura da época 1 foi em 25/05/2005 e a data da emergência (considerada quando 50% das plantas estavam visíveis acima do solo) ocorreu em 08/06/2005 para ambas espécies. Na época 2 a semeadura foi em 20/06/2005 e a emergência ocorreu em 01/07/2005 para ambas espécies. Na época 3 a semeadura foi em 15/07/2005 e emergência ocorreu em 01/08/2005 para ambas espécies. Na época 4 a semeadura foi em 22/09/2005 e a emergência ocorreu em 29/09/2005 e 30/09/2005 para *E. grandis* e *E. saligna*, respectivamente. Na época 5 a semeadura foi em 20/10/2005 e a emergência ocorreu em 25/10/2005 para ambas espécies. Na época 6 a semeadura foi em 21/11/2005 e a emergência ocorreu em 26/11/2005 e 27/11/2005 para *E. grandis* e *E. saligna*, respectivamente. Na época 7

a semeadura foi em 13/12/2005 e a emergência ocorreu em 19/12/2005 e 20/12/2005 para *E. grandis* e *E. saligna*, respectivamente. Na época 8 e na época 9 foram utilizados sementes pré-germinadas em laboratório à 25 °C por quatro dias, pois houve dificuldade na germinação e no estabelecimento das plântulas no campo devido as altas temperaturas e as chuvas do período. Nestas duas épocas a data de emergência foi considerada a mesma data de transplante, que na época 8 foi em 14/02/2006 e na época 9 foi em 03/04/2006 para ambas espécies.

Os dados de temperatura mínima e máxima do ar a campo foram obtidos em uma estação meteorológica convencional, pertencente ao 8° Distrito de Meteorologia/Instituto nacional de Meteorologia, localizada aproximadamente 150 metros da área experimental.

No experimento em casa de vegetação o delineamento utilizado foi o inteiramente casualizado, com 14 repetições por espécie em duas épocas de semeadura. As semeaduras foram em 03/10/2005 (época 1) e 12/05/2006 (época 2) e a emergência ocorreu em 11/10/2005 (época 1) e 30/05/2006 (época 2). Nesse experimento cada repetição foi constituída de um vaso de 8 litros preenchido com o mesmo substrato do experimento a campo. Os vasos foram colocados em uma bancada de concreto de 70 cm de altura e um espaçamento de 20 cm entre vasos. Todos os vasos foram revestidos com papel jornal para minimizar a incidência de radiação solar, evitando assim a elevação da temperatura do substrato. As sementes utilizadas no experimento de casa de vegetação foram obtidas do mesmo lote do experimento a campo. As temperaturas mínima e máxima diárias do ar no interior da casa de vegetação foram medidas com auxílio de um termômetro de mínima de álcool e de um termômetro de máxima de mercúrio, instalados dentro de um mini abrigo meteorológico de madeira pintado de branco e instalado na altura e ao lado da bancada onde as plantas localizavam-se.

A correção da acidez e nutrientes do substrato usado nos dois experimentos foi realizada conforme análise de solo e recomendação técnica para as espécies (SBCS, 2004) e contou com a aplicação de 75 g de calcário e 1,35 g de NPK por vaso no experimento a campo e 50 g de calcário e 0,88 g de NPK por vaso no experimento em casa de vegetação. Os vasos foram irrigados durante o período experimental para evitar deficiência hídrica nos dois experimentos.

Uma semana após a emergência, duas plantas por vaso foram marcadas com arames coloridos. Nos dois experimentos foram realizados dois raleios nas plântulas. O primeiro raleio foi realizado quando as plantas tinham duas folhas visíveis na haste principal e o segundo raleio quando tinham quatro folhas visíveis, deixando-se apenas as duas plantas marcadas por vaso. As brotações axilares foram removidas à medida que foram aparecendo nas plantas, mantendo-se apenas a haste principal em crescimento.

O número de folhas emitidas ou acumuladas na haste principal (NF) das plantas marcadas foi contado uma vez por semana no experimento de campo e a cada três dias no experimento na casa de vegetação. As folhas foram consideradas visíveis quando tinham um comprimento do limbo de no mínimo 1,0 cm. A contagem iniciou quando haviam 2 folhas visíveis e terminou quando o valor de NF foi aproximadamente 25, quando se assumiu finalizar a fase de muda (CARNEIRO, 1995; GOMES et al., 2002).

2.2. Estimativa do aparecimento de folhas

Dois modelos foram utilizados para estimar o aparecimento de folhas na haste principal: o modelo do filocrono, que é linear e utiliza o conceito de soma térmica (ARNOLD, 1960; MATTHEWS & HUNT, 1994); e o modelo de WE (WANG & ENGEL, 1998) que é um modelo não linear multiplicativo (STRECK et al., 2003; XUE et al., 2004; STRECK et al., 2007). Nos dois modelos são necessárias as temperaturas cardinais das duas espécies de eucalipto. As temperaturas cardinais para *Eucalyptus saligna* foram 8°C para a temperatura base ou mínima (T_b) (MARTINS et al., no prelo), 25°C para a temperatura ótima (T_{ot}) (STAPE et al., no prelo) e 35°C para a temperatura máxima (T_{max}) (NIETO & RODRIGUEZ, 2005). As temperaturas cardinais para *Eucalyptus grandis* foram T_b=10°C (MARTINS et al., no prelo) e T_{max}=36°C (ALMEIDA et al., 2004; DYE et al., 2004).

O valor de T_{ot} para a espécie *E. grandis* não foi encontrado na literatura e foi considerado como sendo 27°C, com base na análise dos dados dos dois experimentos, pois foi aquela onde se obteve a maior TAF. Esse valor coincidiu com a diferença de dois graus na temperatura mínima das espécies.

2.2.1 Modelo do Filocrono

O filocrono é um método linear de estimativa do aparecimento de folhas. É calculado pelo inverso do coeficiente angular obtido através da regressão linear entre número de folhas acumuladas na haste principal (NF) e soma térmica acumulada (STa). O modelo do filocrono tem a fórmula geral (FRANK & BAUER, 1995): $NF = a \cdot STa + b$ (1)

Existem vários métodos de cálculo da soma térmica (McMASTER & WILHELM, 1997), sendo que para esse estudo o método utilizado foi o que considera as três temperaturas cardinais das duas espécies de eucalipto (MATTHEWS & HUNT, 1994; STRECK et al., 2005; STRECK et al., 2007).

Quando: $T_b < \bar{T}_m \leq T_{ot}$ e se $\bar{T}_m < T_b$ então: $\bar{T}_m = T_b$

$$STd = \bar{T}_m - T_b \cdot 1 \text{ dia} \quad (2)$$

Quando: $T_{ot} < \bar{T}_m \leq T_{max}$ e se $\bar{T}_m > T_{max}$ então: $\bar{T}_m = T_{max}$

$$STd = (T_{ot} - T_b) \cdot \frac{(\bar{T}_m - T_{max})}{(T_{ot} - T_{max})} \cdot 1 \text{ dia} \quad (3)$$

$$\bar{T}_m = (T_M + T_m)/2 \quad (4)$$

Em que STd é a soma térmica diária (°C dia), Tot é a temperatura ótima da espécie (°C), Tb é a temperatura base ou mínima da espécie (°C), \bar{T}_m é a temperatura média diária do ar (°C), Tmax é a temperatura máxima da espécie (°C), TM é a temperatura máxima diária do ar (°C), Tm é a temperatura mínima diária do ar (°C).

A representação gráfica do método de cálculo da soma térmica utilizado no modelo do filocrono está demonstrada na Figura 1. A soma térmica do modelo do filocrono é composta de uma resposta bifásica formada por duas retas e um ponto de quebra (SINCLAIR et al., 2004). A primeira reta é crescente até a temperatura ótima da espécie (Tot) e a segunda reta é decrescente a partir da Tot. A união dessas duas retas é chamada de ponto de quebra (SINCLAIR et al., 2004).

Para calcular a soma térmica acumulada (STa), somam-se as STd, ou seja, $STa = \sum STd$, a partir da data de emergência. Calcula-se o número de folhas acumuladas na haste principal (NF) por: $NF = STa/\text{filocrono}$ (STRECK et al, 2006; STRECK et al., 2007).

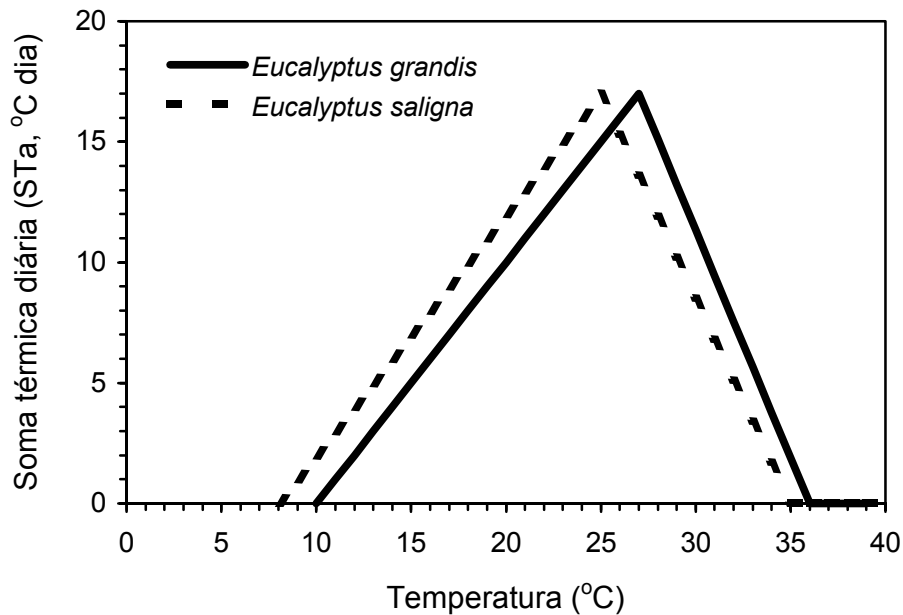


FIGURA 1 – Representação gráfica do método de cálculo da soma térmica usado no modelo do filocrono para estimar o aparecimento de folhas em duas espécies de eucalipto (*E. grandis* e *E. saligna*).

2.2.2 Modelo de WE

O modelo de WE (WANG & ENGEL, 1998) utiliza uma função de resposta não linear de temperatura [$f(T)$], conhecida por função beta, combinada com um fator multiplicativo (TAF_{max}). A $f(T)$ varia de zero à 1, sendo que para o valor de zero não há desenvolvimento, o que ocorre quando a $T_m \leq T_b$ e $T_m \geq T_{max}$. Quanto mais próximo de 1 maior é a taxa de aparecimento de folhas, o que ocorre quando $T_m = T_{tot}$. O TAF_{max} é a taxa máxima de aparecimento de folhas, a qual ocorre sob temperatura ótima da espécie (STRECK, 2002a). O modelo de WE tem a fórmula geral: $TAF = TAF_{max} f(T)$ (5)

Em que TAF é a taxa de aparecimento de folhas (folhas dia⁻¹)

A $f(T)$ é definida como (STRECK et al., 2003; STRECK 2004ab; XUE et al., 2004):

Quando: $T_b < T_m \leq T_{max}$

$$f(T) = [2(\overline{T_m} - T_b)^\alpha (T_{ot} - T_b) - (\overline{T_m} - T_b)^{2\alpha}] / (T_{ot} - T_b)^{2\alpha} \quad (6)$$

$f(T) = 0$ quando $\overline{T_m} < T_b$ ou $\overline{T_m} > T_{max}$

O coeficiente α é definido como:

$$\alpha = \ln 2 / \ln[(T_{max} - T_b) / (T_{ot} - T_b)] \quad (7)$$

Em que T_b , T_{ot} e T_{max} são as temperaturas cardinais (mínima, ótima e máxima) de cada espécie (°C), $\overline{T_m}$ é a temperatura média diária do ar (°C).

A representação gráfica da $f(T)$ do modelo de WE com as temperaturas cardinais das duas espécies de eucalipto está na Figura 2.

Para calcular o número de folhas (NF), somam-se os valores diários de TAF, ou seja, $NF = \sum TAF$, a partir da data de emergência.

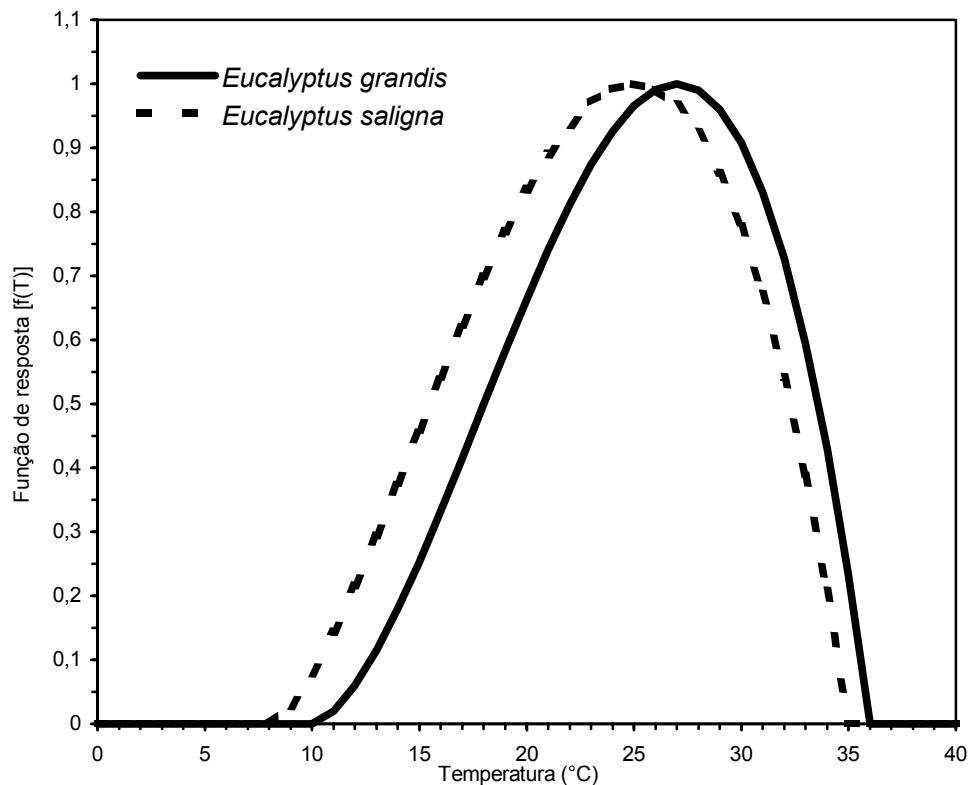


FIGURA 2 - Curva da função de resposta da taxa de aparecimento de folhas em função da temperatura $[f(T)]$ usada no modelo de WE com base nas temperaturas cardinais para as duas espécies de eucalipto (*E. grandis* e *E. saligna*).

2.2.3 Estimativa dos coeficientes dos modelos do filocrono e WE

Os coeficientes “a” do modelo do filocrono (Equação 1) e “TAF_{max}” do modelo de WE (Equação 5) são dependentes da espécie e foram estimados usando-se os dados das épocas de semeadura 1, 2, 3 e 4 do experimento a campo.

Para a determinação do coeficiente “a” do modelo do filocrono foi feita a média aritmética dos coeficientes angulares da equação (1) estimados nas épocas 1, 2, 3 e 4. O valor do coeficiente “a” para *Eucalyptus grandis* foi de 0,03239 (filocrono = 30,9 °C dia folha⁻¹) e para *Eucalyptus saligna* foi de 0,03101 (filocrono = 32,2 °C dia folha⁻¹). Para a determinação do coeficiente “TAF_{max}” do modelo de WE foram estimadas equações de regressão não linear múltipla para os valores do NF acumulado em função dos valores acumulados de f(T). A equação de regressão forneceu o valor do coeficiente “TAF_{max}” baseado no menor valor do quadrado médio do erro (QME). O valor do coeficiente “TAF_{max}” para *Eucalyptus grandis* foi de 0,4107 folhas dia⁻¹ e para *Eucalyptus saligna* foi de 0,3180 folhas dia⁻¹.

2.2.4 Avaliação dos modelos

Para avaliar a performance dos modelos foram utilizados os valores de NF estimados pelos modelos e os valores de NF observados nas épocas 5, 6, 7, 8, 9 do experimento à campo e nas duas épocas do experimento em casa de vegetação. As estatísticas utilizadas para avaliar a performance dos modelos foram: o coeficiente de correlação (r) (CAMARGO & SENTELHAS, 1997; SCHNEIDER, 1998), índice “dw” de Willmott (WILLMOTT, 1981; CAMARGO & SENTELHAS, 1997; STRECK, 2004a), índice “c” (CAMARGO & SENTELHAS, 1997), raiz do quadrado médio do erro (RQME) (STRECK, 2003; STRECK et al., 2003; XUE et al., 2004) e BIAS (LEITE & ANDRADE, 2002).

A estatística r permite quantificar o grau de associação entre duas ou mais variáveis (SCHNEIDER, 1998). O valor de r varia de -1 à 1 e quanto maior o valor absoluto de r (seja positivo ou negativo) maior a adesão entre os valores observados e os valores estimados (GARCIA, 2001). O valor de r é dado pela fórmula geral (SCHNEIDER, 1998).

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})(E_i - \bar{E})}{\sqrt{\left\{ \sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2 \right\} \left\{ \sum_{i=1}^n (E_i - \bar{E})^2 \right\}}} \quad (8)$$

Em que E = valores estimados, O = valores observados, \bar{E} = média dos valores estimados, \bar{O} = média dos valores observados.

O índice de concordância, designado “ d_w ”, fornece a exatidão do modelo, pois está relacionada ao afastamento dos valores estimados em relação ao observados. Seus valores variam de zero, para nenhuma concordância, a 1 para a concordância perfeita (WILLMOTT, 1981; CAMARGO & SENTELHAS, 1997). O valor de d_w é dado pela fórmula (CAMARGO & SENTELHAS, 1997; STRECK, 2004a):

$$d_w = 1 - \left[\frac{\sum_{i=1}^n (E_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^n (|E_i - \bar{O}| + |O_i - \bar{O}|)^2} \right] \quad (9)$$

Em que E = valores estimados, O = valores observados, \bar{E} = média dos valores estimados, \bar{O} = média dos valores observados.

O índice c fornece o desempenho do modelo, sendo classificado pela tabela 1 e obtido pela fórmula (CAMARGO & SENTELHAS, 1997):

$$c = r d_w \quad (10)$$

Em que r = coeficiente de correlação, d_w = índice de concordância.

TABELA 1 - Critérios de interpretação do desempenho dos métodos pelo índice c (adaptado de CAMARGO & SENTELHAS, 1997):

Valor de c	Desempenho
> 0,85	Ótimo
0,76 à 0,85	Muito bom
0,66 à 0,75	Bom
0,61 à 0,65	Moderado
0,51 à 0,60	Fraco
0,41 à 0,50	Muito fraco
≤ 0,40	Péssimo

O RQME expressa o erro produzido pelo modelo, quanto menor o valor dessa estatística, melhor o modelo. O valor do RQME é obtido pela fórmula (JANSSEN & HEUBERGER, 1995; STRECK, 2002ab):

$$RQME = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Ei - Oi)^2}{n}} \quad (11)$$

Em que E = valores estimados, O = valores observados, n = número de observações.

O índice BIAS expressa a tendência do modelo, sendo o desvio médio dos valores estimados em relação aos observados (SCHNEIDER, 1998). Esse índice varia de valores positivos, quando o modelo superestima os valores observados, à negativos, quando o modelo subestima os valores observados. Quanto mais próximo de zero for o valor dessa estatística, menor é a tendência do modelo e melhor é o modelo. Para fins de comparação com outros modelos, o BIAS deve ser analisado em valores absolutos. O valor do BIAS é dado pela fórmula geral (LEITE & ANDRADE, 2002):

$$BIAS = \frac{\sum_{i=1}^n Ei - \sum_{i=1}^n Oi}{\sum_{i=1}^n Oi} \quad (12)$$

Na escolha do melhor modelo foi adotado um ranqueamento usando-se a metodologia dos valores ponderados dos escores estatísticos (Vp) (THIERSCH, 1997). Para a obtenção do Vp é atribuído pesos de 1 à 'n' aos indicadores estatísticos, sendo 'n' o número total de equações. Para diferenciar as duas equações, adotou-se os valores 1 e 2. Assim o valor 1 é atribuído a melhor indicador estatístico e o valor 2 é atribuído ao pior indicador estatístico. Obteve-se o Vp somando todos os pesos atribuídos a cada indicador estatístico em cada época de semeadura. O melhor modelo foi o que apresentou o menor valor ponderado (SCHNEIDER & TONINI, 2003).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Durante as nove épocas de semeadura no campo houve grande variação nas condições meteorológicas, assim como nas duas épocas de semeadura em casa de vegetação (Tabela 2). No experimento a campo o menor valor de temperatura mínima diária do ar foi de $-0,2$ °C observado na época de semeadura 9 (CA9) e o maior valor de temperatura máxima diária do ar foi de $38,6$ °C observado nas épocas de semeadura 6 (CA6) e 7 (CA7). No experimento em casa de vegetação o menor valor de temperatura mínima diária do ar foi $9,4$ °C e $2,0$ °C nas época 1 (CV1) e 2 (CV2), respectivamente e o maior valor de temperatura máxima diária do ar foi $43,4$ °C e $38,9$ °C nas épocas CV1 e CV2, respectivamente. Essas diferentes condições meteorológicas afetaram a velocidade de emissão de folhas na haste principal e são importantes em estudos de desenvolvimento e crescimento vegetal (SCURFIELD, 1961) e na calibração e avaliação de modelos matemáticos para a estimativa da TAF (STRECK et al., 2003).

Nas épocas CA6 e CA7, onde as temperaturas mínima, média e máxima foram mais elevadas (Tabela 2), a velocidade de emissão das folhas foi maior, o contrário ocorreu com as épocas CA1, CA2 e CA9, onde as temperaturas foram baixas e conseqüentemente a velocidade de emissão das folhas foi baixa.

TABELA 2 – Média da temperatura mínima, média e máxima diária do ar nas diferentes épocas de semeadura no campo e em casa de vegetação. A média é da emergência até a última observação de número de folhas na haste principal. Santa Maria RS, 2005/2006.

Experimento	Temperatura (°C)		
	mínima	média	máxima
Campo			
Época 1 (CA1)	12,4	17,1	21,9
Época 2 (CA2)	11,2	16,7	21,6
Época 3 (CA3)	13,0	18,0	23,0
Época 4 (CA4)	16,0	21,0	27,0
Época 5 (CA5)	16,4	22,7	29,1
Época 6 (CA6)	18,8	25,0	31,2
Época 7 (CA7)	19,5	25,6	31,5
Época 8 (CA8)	16,0	22,0	27,4
Época 9 (CA9)	11,3	16,8	22,3
Casa de vegetação			
Época 1 (CV1)	17,1	25,1	33,2
Época 2 (CV2)	12,8	19,8	26,8

O modelo de WE estimou melhor o NF que o modelo do filocrono para *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna*, com valores menores de RQME (Figura 3). Nota-se na Figura 3 que, para ambas espécies, os valores estimados pelo método de WE estão mais próximos da linha 1:1 do que os valores estimados pelo método do filocrono.

Os valores de RQME apresentados na figura 3 foram calculados a partir dos dados observados e estimados pelos modelos em todas as épocas usadas como dados independentes. O valor do RQME para o modelo do filocrono foi de 7,1 folhas para *Eucalyptus grandis* e 10 folhas para *Eucalyptus saligna*, enquanto que o valor do RQME para o modelo de WE foi de 2,7 folhas para *Eucalyptus grandis* e 3,7 folhas para *Eucalyptus saligna* (Figura 3). Um erro de 3 – 4 folhas pode ser considerado baixo e aceitável em mudas de eucalipto, uma vez que as folhas das duas espécies estudadas na fase de muda apareceram sempre aos pares, o que significa um erro de apenas um ou dois nós e em dias do calendário civil um erro de um ou dois nós representa um erro menor que uma semana (MITCHELL, 1997).

Este erro na estimativa pode ser minimizado se for reduzido o intervalo de medição do NF de cada 7 dias para cada 3 ou 4 dias, principalmente nos períodos em que a temperatura do ar é mais elevada e conseqüentemente a velocidade de emissão de folhas é maior. No campo ocorreu de aparecer até 4 folhas em uma semana nos períodos em que a temperatura do ar foi mais elevada e até 2 folhas semanalmente nos períodos de temperatura do ar foi menos elevada. Ao reduzir-se o intervalo de medição fica mais fácil detectar o momento exato do aparecimento da folha, sem contabilizar um excesso de energia térmica. Quando o intervalo de medida é de 7 dias a soma térmica é contabilizada até esse dia não sabe-se o momento exato do aparecimento da folha, que poderia ter ocorrido dias antes. Por outro lado, quando a temperatura do ar foi maior, observou-se o aparecimento de 1 par de folhas e quase o aparecimento do próximo par de folhas (folhas < 1 cm). Conseqüentemente, na semana seguinte será contabilizado o aparecimento desse par que na semana anterior estava quase emitido e do próximo par.

Para *Eucalyptus grandis* o modelo de WE foi superior ao modelo do filocrono em todas as épocas de semeadura a campo e também no experimento em casa de vegetação (Tabela 3). Os valores dos índices estatísticos 'd_w', 'r' e 'c' foram maiores no modelo de WE em todas as épocas, variando de 0,8675 à 0,9943 para o índice d_w, 0,9892 à 0,9996 para o índice r e 0,8595 à 0,9939 para o índice c e segundo a

tabela 1 todos apresentam ótimo desempenho. Os índices RQME e BIAS tiveram os menores valores para o modelo de WE e variaram entre 0,8572 à 5,0704 para RQME e entre 0,0237 à 0,2768 para o BIAS. Analisando-se os valores de BIAS, os dois modelos geralmente superestimaram o NF em pequena amplitude de valores, exceto para a primeira época de semeadura no experimento em casa de vegetação (CV1), onde o modelo de WE subestimou o NF. Nesta época CV1 ocorreram as maiores temperaturas do ar (Tabela 2) o que resultou em baixos valores de TAF estimado pelo modelo de WE em função de que vários dias apresentaram T_m maior que a Tot para esta espécie. Analisando-se o valor de Vp, que integra todos os indicadores estatísticos, foi superior o modelo de WE (menor valor de Vp) em relação ao modelo do filocrono (maior valor de Vp) em todas as épocas no campo e em casa de vegetação.

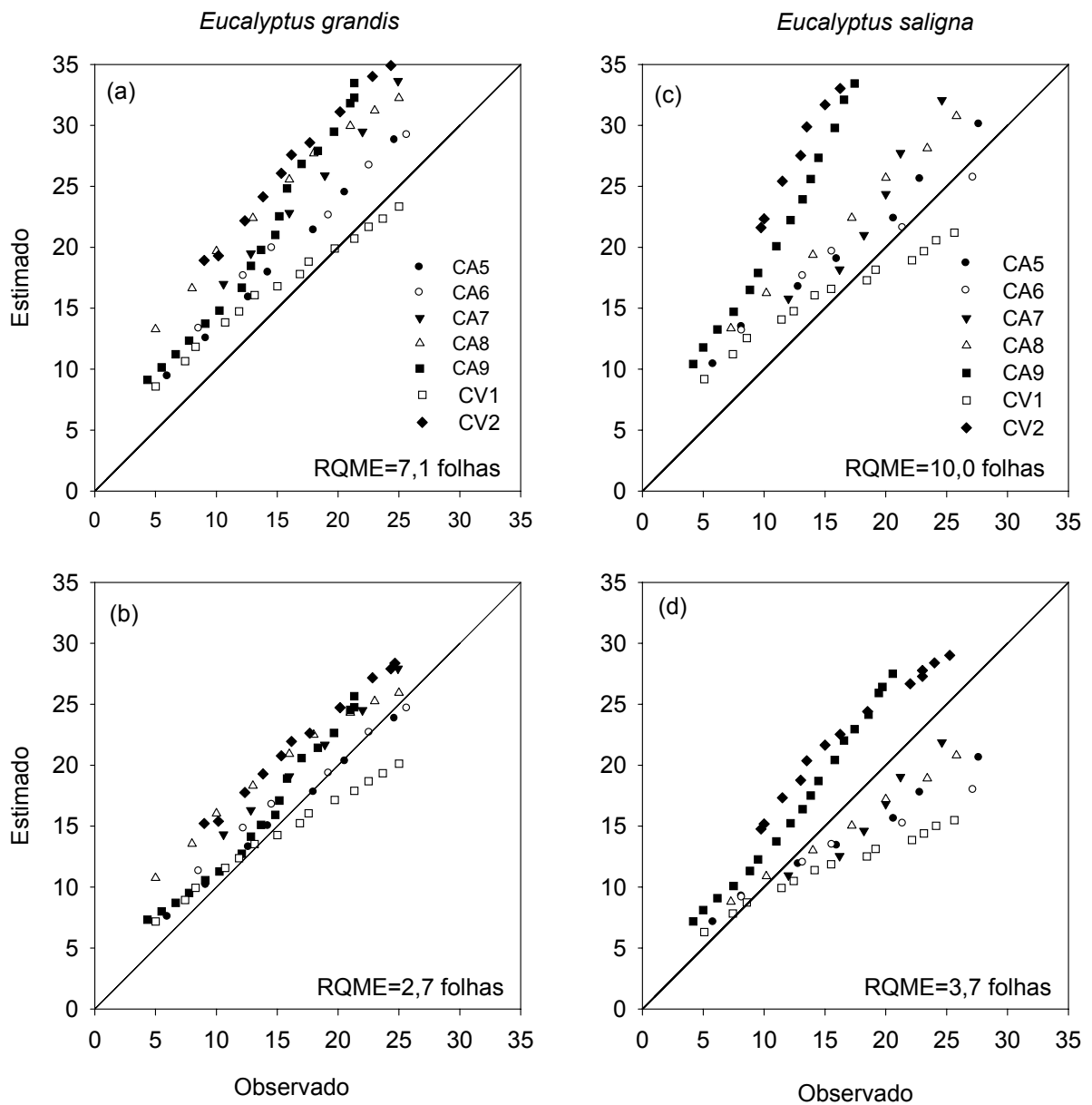


FIGURA 3 - Número de folhas na haste principal observado versus estimado pelos modelos do filocrono (a, c) e pelo modelo de WE (b, d) nas duas espécies de eucalipto. A linha cheia é a linha 1:1. Para identificar as épocas de semeadura, consultar a tabela 2. Santa Maria, RS, 2005/2006.

Para *Eucalyptus saligna* a superioridade do modelo de WE não foi verificada na época 5 do experimento a campo (CA5) e na época 1 (CV1) do experimento em casa de vegetação, onde a maioria dos indicadores estatísticos apontaram melhor performance do modelo do filocrono (Tabela 3). Nas outras épocas do experimento a campo (CA6, CA7, CA8 e CA9) e na segunda época do experimento em casa de vegetação (CV2) o modelo de WE foi superior ao modelo do filocrono.

No que se refere a resposta da TAF em função da temperatura os dois modelos tendem a se assemelhar próximo a temperatura ótima de cada espécie (Figura 1 e 2). Já na região entre a T_b e T_{ot} e entre a T_{ot} e T_{max} o dois modelos descrevem a resposta da TAF em função da temperatura de maneira diferente (STRECK, 2003, STRECK, 2004a). No modelo de WE, por usar uma $f(T)$ não linear, a primeira parte da curva de resposta (entre a T_b e a T_{ot}) (Figura 2) é uma curva do tipo logística (YAN & HUNT, 1999) com uma resposta curvilínea logo após a T_b . Em temperaturas do ar intermediárias a função de resposta é linear e próximo a temperatura ótima a função resposta torna-se novamente curvilínea (SHAYKEWICH, 1995). Um aumento de temperatura acima da T_{ot} faz com que a função resposta decresça curvilinearmente até a T_{max} , onde a função resposta é novamente zero (YAN & HUNT, 1999). A inflexão suave gerada pelo modelo de WE não é verificada no modelo do filocrono que é formado por duas retas (Figura 1).

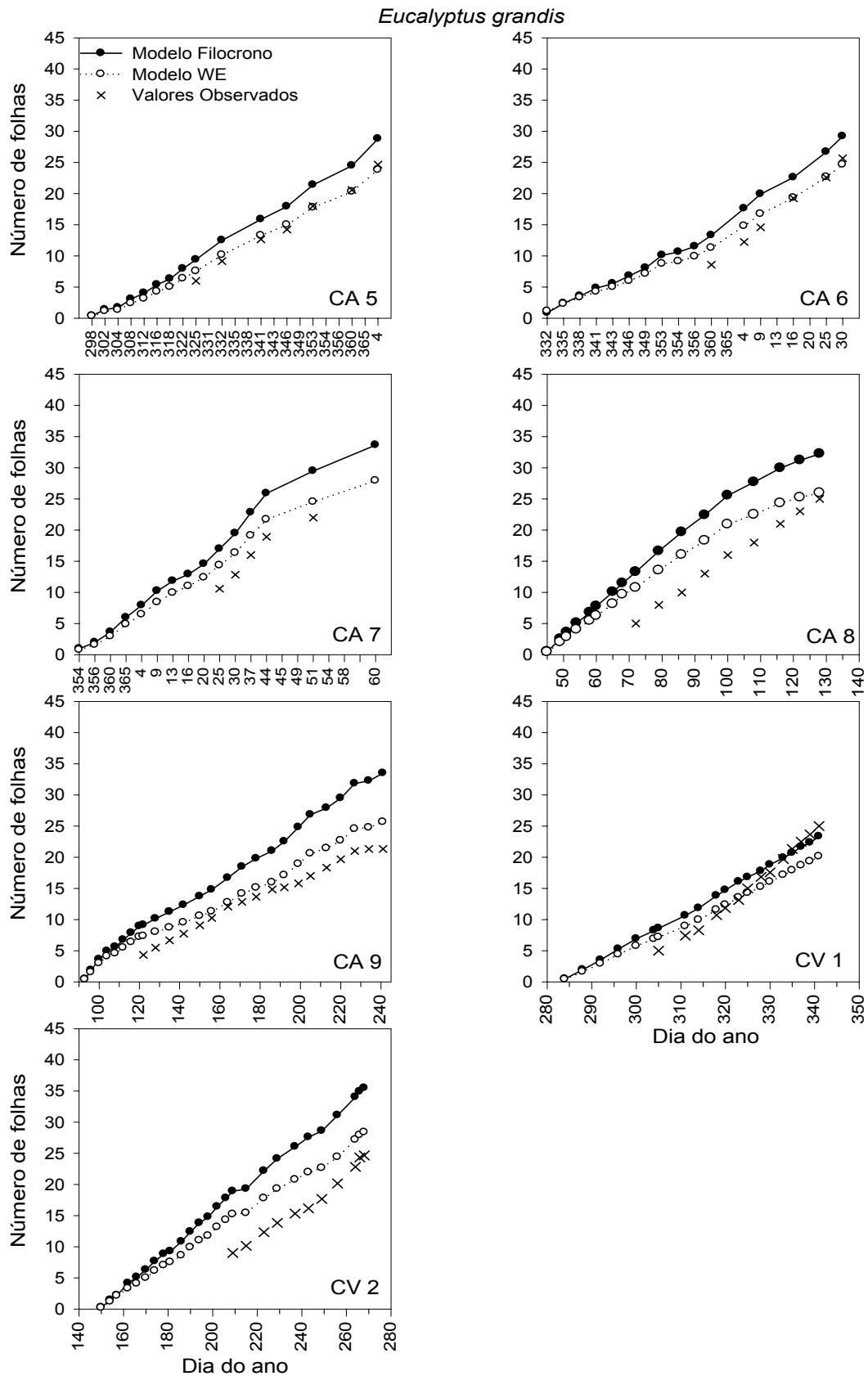


FIGURA 4 – Número de folhas na haste principal em *Eucalyptus grandis* observado e estimado pelos dois modelos (FIL e WE) em cinco épocas de cultivo a campo (CA5, CA6, CA7, CA8 e CA9) e duas em casa de vegetação (CV1 e CV2). Santa Maria, RS, 2005/2006.

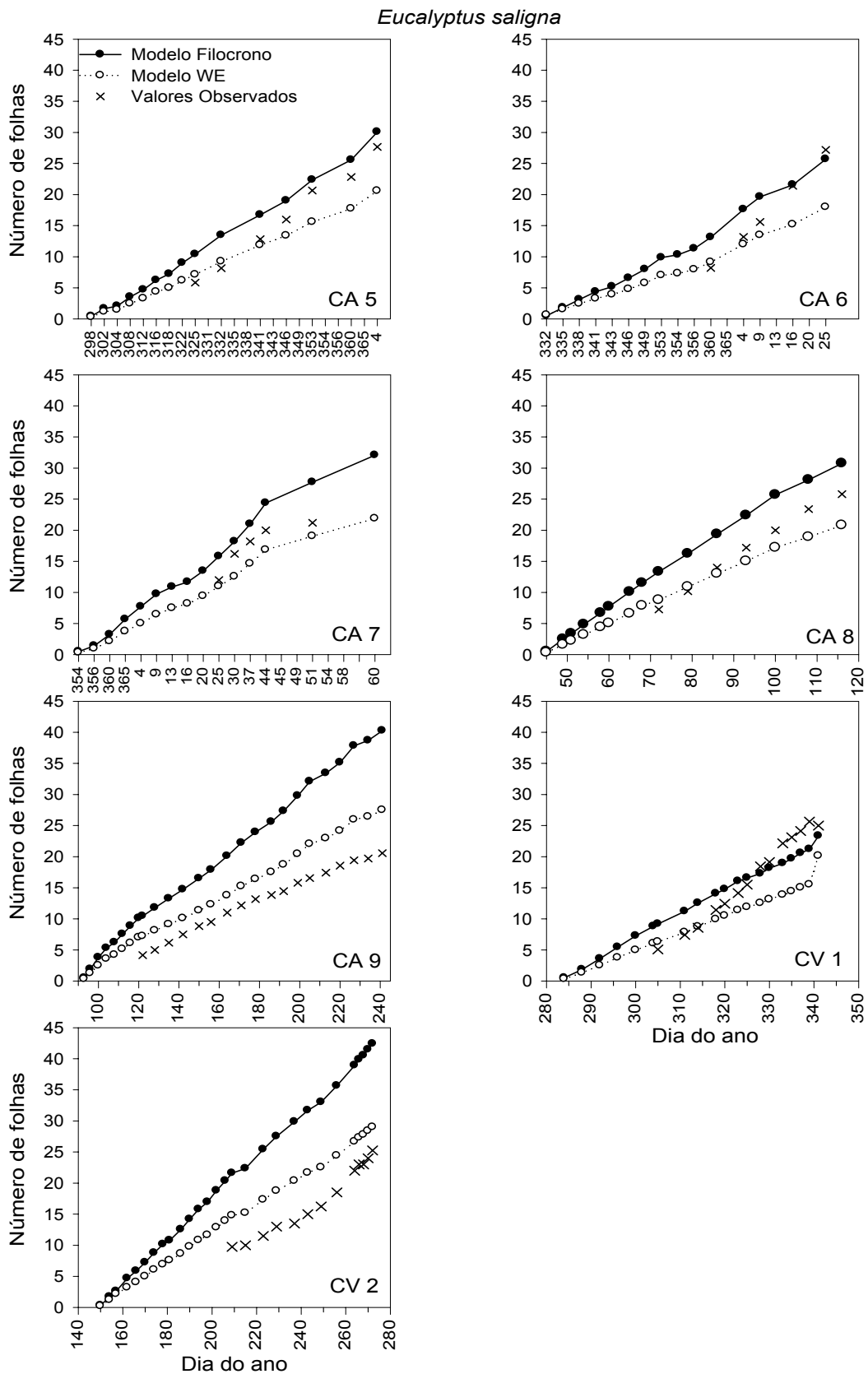


FIGURA 5 - Número de folhas na haste principal em *Eucalyptus saligna* observado e estimado pelos dois modelos (FIL e WE) em cinco épocas de cultivo a campo (CA5, CA6, CA7, CA8 e CA9) e duas em casa de vegetação (CV1 e CV2). Santa Maria, RS 2005/2006.

Nas figuras 4 e 5 são apresentadas os valores de NF observados e estimados pelos dois modelos desde a emergência até o último dia de observação em cada época de semeadura no campo e em casa de vegetação para *E. grandis* e *E. saligna*. O modelo de WE manteve sua superioridade em relação ao modelo do filocrono ao longo do ciclo de desenvolvimento das plantas, bem como, captura as variações de NF nos valores observados de uma semana para a outra. Para *E. saligna* (Figura 5), onde o modelo do filocrono teve melhor performance na época CA5 e CV1 comparado ao modelo de WE, nota-se que o modelo de WE teve melhor performance no início do ciclo, quando as plantas apresentaram até 10 folhas na haste principal, e o modelo do filocrono teve melhor performance quando o NF foi maior que 20 folhas no CA5 e maior que 15 folhas no CV1.

Os resultados deste estudo mostram que deve ser dada preferência ao modelo de WE para estimar o aparecimento de folhas em mudas de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna*. O modelo de WE também foi melhor para estimar o aparecimento de folhas em espécies agrícolas anuais como cevada, sorgo e milho (YAN & HUNT, 1999), trigo (XUE et al., 2004), melão (STRECK et al., 2006) e batata (STRECK et al., 2007) comparado com o modelo do filocrono. A melhor performance do modelo de WE tem sido atribuída a resposta não linear do aparecimento de folhas à temperatura usada no primeiro modelo (XUE et al., 2004; STRECK et al., 2006; STRECK et al., 2007). No modelo do filocrono a resposta do aparecimento de folhas à temperatura é linear, o que não é completamente aceito do ponto de vista biológico, pois próximo às temperaturas cardinais (temperatura base, ótima e máxima), a resposta da taxa de aparecimento de folhas à temperatura é não linear (STRECK, 2002 a; STRECK, 2004 b; XUE et al., 2004). Em apenas uma pequena faixa entre a temperatura base e a temperatura ótima, a resposta da taxa de aparecimento de folhas à temperatura é linear (STRECK, 2003; STRECK 2004 b), o que é contemplado na $f(T)$ usada no modelo de WE (Figura 2).

Outra vantagem do modelo de WE é que os coeficientes do modelo têm significado biológico (WANG & ENGEL, 1998) e definição operacional, como o coeficiente TAF_{max} e os coeficientes da $f(T)$, as temperaturas cardinais (base, ótima e máxima). É possível encontrar na literatura outras funções não lineares para descrever a resposta do desenvolvimento à temperatura, mas algumas destas funções têm a desvantagem de ser composta por coeficientes empíricos que não apresentam significado biológico, como a função exponencial dupla (STRECK, 2004

a), as quais devem ser evitadas. O modelo de WE também tem a vantagem de combinar os efeitos do ambiente sobre a TAF de forma multiplicativa, o que é realístico biologicamente, uma vez que as interações entre ambiente e o desenvolvimento vegetal são geralmente multiplicativas (STRECK et al., 2003).

4. CONCLUSÃO

O modelo de WE foi o que melhor estimou o número de folhas na haste principal em mudas de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna* cultivadas em épocas diferentes em experimentos a campo e casa de vegetação. O valor de RQME obtido com o modelo de WE foi de 2,7 e 3,7 folhas, comparado com o modelo do filocrono de 7,1 e 10 folhas para *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna*, respectivamente. A principal razão atribuída para a melhor performance do modelo de WE é a resposta não linear da taxa de aparecimento de folhas em função da temperatura assumida neste modelo.

5. REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE FLORESTAS PLANTADAS. **Anuário Estatístico da ABRAF**: ano base 2005, Brasília, 2006. Disponível em: <<http://www.ipef.br/estatisticas/relatorios/anuario-ABRAF-2006.pdf>>. Acesso em: 07 dez. 2006.
- ALMEIDA, A.C.; LANDSBERG, J.J.; SANDS, P.J. Parameterisation of 3-PG model for fast-growing *Eucalyptus grandis* plantations. **Forest Ecology and Management**, v.193, p.179-195, 2004.
- ARNOLD, C.Y. Maximum-Minimum temperature as a basis for computing heat units. **American Society for Horticulture Science**, v. 76, p.682-692, 1960.
- BATTAGLIA, M.; BEADLE, C.; LOUGHHEAD, S. Photosynthetic temperature responses of *Eucalyptus globulus* and *Eucalyptus nitens*. **Tree Physiology**, v.16, p.81-89, 1996.
- CAMARGO, A.P. de; SENTELHAS, P.C. Avaliação do desempenho de diferentes métodos de estimativa da evapotranspiração potencial no estado de São Paulo, Brasil. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v.5, n.1, p.89-97, 1997.
- CARNEIRO, J.G. de A. **Produção e controle de qualidade de mudas florestais**. CURITIBA: UFPR/FUPEF/UNEF, 1995. 451p.
- CREMER, K.W. Temperature and other climatic influences on shoot development and growth of *Eucalyptus regnans*. **Australian Journal of Botany**, v.26, p.27-44, 1975.
- DYE, P.J.; JACOBS, S.; DREW, D. Verification of 3-PG growth and water-use predictions in twelve Eucalyptus plantation stands in Zululand, South Africa. **Forest Ecology and Management**, v.193, p.197-218, 2004.
- ELDRIDGE, K.; CROMER, R.N. Adaptation and physiology of eucalypts in relation to genetic improvement. In: SIMPOSIO SOBRE SILVICULTURA Y MEJORAMIENTO GENÉTICO DE ESPECIES FORESTALES, 1987, Buenos Aires. **Actas...**Buenos Aires: CIEF, 1987. 1-15p.
- FRANK, A.B.; BAUER, A. Phyllochron differences in wheat, barley and forage grasses. **Crop Science**, v.35, n.1, p.19-23, 1995.
- GARCIA, S.M. **Florestamentos compensatórios para retenção de água em microbacias**. Santa Maria, 2001. 161f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola)-Universidade Federal de Santa Maria, 2001.
- GOMES, J.M.; et al. Parâmetros morfofisiológicos na avaliação da qualidade de mudas de *Eucalyptus grandis*. **Revista Árvore**, v.26, n.6, p.655-664, 2002.
- HODGES, T.F. **Predict crop phenology**. Boca Raton: CRC, 1991, 233p.
- JANSSEN, P.H.M.; HEUBERGER, P.S.C. Calibration of process-oriented models. **Ecological Modelling**, v.83, n.1, p.55-56, 1995.

- KALLARACKAL, J.; SOMER, C.K. An ecophysiological evaluation of the suitability of *Eucalyptus grandis* for planting in the tropics. **Forest Ecology and Management**, v.95, p. 53 – 61, 1997.
- KIRBY, E.J.M. Factors affecting rate of leaf emergence in barley and wheat. **Crop Science**, v. 35, n.1 p.11-18, 1995.
- KLEPPER, B.; RICKMAN, R.W.; PETERSON, C.M. Quantitative characterization of vegetative development in small cereal grains. **Agronomy Journal**, v.74, p. 789-792, 1982.
- LANDSBERG, J.J.; WARING, R.H.; COOPS, N.C. performance of the forest productivity model 3-PG applied to a wide range of forest types. **Forest Ecology and Management**, v.172, p.199-214, 2003.
- LEITE, H.G.; ANDRADE, V.C.L. de. Um método para condução de inventários florestais sem o uso de equações volumétricas. **Revista Árvore**, v.26, n.3, p.321-328, 2002.
- MARCHIORI, J.N.C.; SOBRAL, M. **Dendrologia das Angiospermas – myrtales**. Santa Maria: Ed. UFSM, 1997. 213-241p.
- MARTINS, F.B.; SILVA, J.C. da; STRECK, N.A. Estimativa da temperatura base para emissão de folhas e do filocrono em duas espécies de eucalipto na fase de muda. **Revista Árvore**, Viçosa (no prelo).
- MATTHEWS, R.B.; HUNT, L.A. GUMCAS: a model describing the growth of cassava (*Manihot esculenta*). **Field Crops Research**, v.39, p.69-84, 1994.
- McMASTER, G.S.; WILHELM, W.W. Growing degree-days: one equation, two interpretations. **Agricultural and Forest Meteorology**, v.87, n.4, p.291-300, 1997.
- MITCHELL, P.L. Misuse of regression for empirical validation of models. **Agricultural Systems**, v.54, n.3, p.313-326, 1997.
- NGUGI, M.R. et al. Photosynthetic light and temperature responses of *Eucalyptus cloeziana* and *Eucalyptus argophloia*. **Australian Journal of Botany**, v.51, p.573-583, 2003.
- NIETO, V.M.; RODRIGUEZ, J. **Part II – Species descriptions *Eucalyptus saligna* Sm.**. Corporacion Nacional de Investigacion Forestal: Santafé, 2005. p.468-469.
- PATON, D.M. *Eucalyptus* Physiology. II Temperature responses. **Australian Journal of Botany**, v.28, p.555-566, 1980.
- SANDS, P.J.; LANDSBERG, J.J. Parameterisation of 3-PG for plantation grown *Eucalyptus globulus*. **Forest Ecology and Management**, v.163, p.273-292, 2002.
- SANTOS, P.E.T. dos; GERALDI, I.O.; GARCIA, J.N. estimativas de parâmetros genéticos de propriedades físicas e mecânicas da madeira de *Eucalyptus grandis*. **Scientia Forestalis**, v.63, n.1, p. 54-64, 2003.
- SCHNEIDER, P.R. **Análise de regressão aplicada à Engenharia Florestal**. 2. ed. Santa Maria: Ed. UFSM/CEPEF, 1998. 236p.
- SCHNEIDER, P.R.; TONINI, H. Utilização de variáveis Dummy em equações de volume para *Acacia Mearnsii* De Wild. **Ciência Florestal**, v.13, n.2, p.121-129, 2003.
- SCURFIELD, G. The effects of temperature and day length on species of *Eucalyptus*. **Australian Journal of Botany**, v.9, n.1, p.37-56, 1961.

SHAYKEWICH, C.F. An appraisal of cereal crop phenology modeling. **Canadian Journal of Plant Science**, v.75, n.2, p.329-341, 1995.

SINCLAIR, et al. Sugarcane leaf area development under field conditions in Florida, USA. **Field Crops Research**, v.88, n.1, p.171-178, 2004.

SOCIEDADE BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO. COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO – RS/SC. **Manual de adubação e calagem para os estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina**. 10. ed. Comissão de Química e Fertilidade do Solo. Porto Alegre: 2004. 394p.

STAPE, J.L.; BINKLEY, D; RYAN, G.M. 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, n.1/2, p. 17 - 31, 2004a.

STAPE, J.L.; RYAN, G.M.; BINKLEY, D. Testing the utility of the 3-PG model for growth of *Eucalyptus grandis* x *urophylla* with natural and manipulated supplies of water and nutrients. **Forest Ecology and Management**, v.193, n.1/2, p. 219 – 234, 2004b.

STAPE, J.L.; RYAN, M.G; BINKLEY, D. Testing the 3-PG process-based model to simulate *Eucalyptus* growth with an objective approach to the soil fertility rating parameter. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, 2006 (article in press).

STRECK, N.A. A generalized nonlinear air temperature response function for node appearance rate in muskmelon (*Cucumis melo* L.). **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v.10, n.1, p.105-111, 2002a.

_____. A generalized vernalization response function for lily (*Lilium* spp.). **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v.10, n.2, p.221-228, 2002b.

STRECK, N.A.; WEISS, A.; XUE, Q.; BAENZIGER, P.S. Incorporating a chronology response function into the prediction of leaf appearance rate in winter wheat. **Annals of Botany**, v. 92, n. 2, p. 181-190, 2003.

STRECK, N.A. A generalized nonlinear temperature response function for some growth and developmental parameters in Kiwifruit (*Actinidia deliciosa* (A. Chev.) C.F.Liang & A. R. Ferguson). **Ciência Rural**, v.33, n.2, p.255-262, 2003.

_____. A temperature response function for development of the chrysanthemum (*Chrysanthemum x morifolium* Ramat.). **Ciência Rural**, v.34, n.1, p.49-54, 2004a.

_____. A temperature response function for modeling leaf growth and development of the African Violet (*Saintpaulia ionantha* Wendl.). **Ciência Rural**, v.34, n.1, p.55-62, 2004b.

STRECK, N.A. et al. Estimativa do plastocrono em meloeiro (*Cucumis melo* L.) cultivado em estufa plástica em diferentes épocas do ano. **Ciência Rural**, v.35, n.6, p.1275-1280, 2005.

STRECK, N. A. et al. A non-linear model to simulate node appearance in muskmelon (*Cucumis melo* L.) grown inside plastic greenhouse as a function of air temperature. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 14, p. xx-xxx, 2006. (article in press)

STRECK, N. A. et al. Improving predictions of leaf appearance in field grown potato. **Scientia Agricola**, v. 64, p. xx-xxx, 2007. (article in press)

THIERSCH, A. **Eficiência das distribuições diamétricas para prognose da produção de *Eucalyptus camaldulensis***. 1997. 155 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 1997.

WANG, E.; ENGEL, T. Simulation of phenological development of wheat crops. **Agricultural Systems**, v.58, n.1, p.1-24, 1998.

WAUGH, G. Sawing of young fast-grow eucalypts. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL SOBRE PRODUTOS SÓLIDOS DE MADEIRA DE ALTA TECNOLOGIA, 1. e ENCONTRO SOBRE TECNOLOGIAS APROPRIADAS DE DESDOBRO, SECAGEM E UTILIZAÇÃO DA MADEIRA DE EUCALIPTO, 1., 1998, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte. 1998. p. 69-81.

WILLMOTT, C.J. On the validation models. **Physical Geography**, v.2, n.1, p.184-194, 1981.

XUE, Q., WEISS, A.; BAENZIGER, P.S. Predicting leaf appearance in field-grown winter wheat: evaluating linear and non-linear models. **Ecological Modelling**, v.175, p.261-270, 2004.

YAN, W.; HUNT, L.A. An equation for modelling the temperature response of plants using only the cardinal temperatures. **Annals of Botany**, v.84, n.5, p.607-614, 1999.

YIN, X. KROPFF, M.J.; McLAREN, G.; VISPERAS, R.M. A nonlinear odel for crop development as a function of temperature. **Agricultural and Forest Meteorology**, v.77, p.1-16, 1995.

CAPÍTULO II

TRANSPIRAÇÃO, CRESCIMENTO E DESENVOLVIMENTO DE DUAS ESPÉCIES DE EUCALIPTO NA FASE DE MUDA SUBMETIDAS AO DÉFICIT HÍDRICO NO SOLO

RESUMO

A água é fundamental no metabolismo das plantas, sendo que uma pequena redução na disponibilidade de água pode afetar o crescimento, desenvolvimento e a produtividade das culturas. O objetivo neste trabalho foi quantificar a influência do déficit hídrico no solo sobre a transpiração e sobre alguns parâmetros de crescimento (altura de planta e diâmetro de caule) e desenvolvimento (número de folhas acumuladas na haste principal), em mudas de *Eucalyptus grandis* (Hill ex Maiden) e *Eucalyptus saligna* (Smith). Para atingir esse objetivo foi instalado um experimento em casa de vegetação no Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, em duas épocas de semeadura, sendo a primeira em 01/10/2005 e a segunda em 12/05/2006. A água no solo foi representada pela fração de água transpirável no solo (FATS). O início do decréscimo da transpiração, indicativo do fechamento estomático, ocorreu quando a FATS foi 0,9 (CV2) e 0,7 (CV1) para *Eucalyptus grandis* e 0,7 para *Eucalyptus saligna*, indicando que o fechamento estomático em resposta ao déficit hídrico no solo é mais rápido nestas espécies perenes do que em culturas agrícolas anuais. Os parâmetros de crescimento e desenvolvimento das mudas decresceram imediatamente após o início do déficit hídrico no solo, antes da transpiração ser afetada pela redução da água no solo.

Palavras-chave: Fração de água transpirável no solo; estresse hídrico; *Eucalyptus grandis*; *Eucalyptus saligna*.

TRANSPIRATION, GROWTH AND DEVELOPMENT OF TWO EUCALIPTUS SPECIES DURING SEEDLING PHASE UNDER WATER DEFICIT SOIL

ABSTRACT

Water is a critical component of plant metabolism. A small reduction in water available may affect crops growth, development and yield. The objective of this study was to quantify the influence of soil water deficit on transpiration and on some growth (plant height and stem diameter) and development (main stem leaf number) parameters in seedlings of *Eucalyptus grandis* (Hill ex Maiden) and *Eucalyptus saligna* (Smith). To achieve this objective, a greenhouse experiment was conducted in the Plant Science Department, Federal University of Santa Maria, Santa Maria, RS, Brazil. Two sowing dates were performed, on 01/10/2005 and on 12/05/2006. Soil water was expressed as the fraction of transpirable soil water (FTSW). Transpiration started to decrease, which is an indicator of stomata closure, at a FTSW 0.9 (CV2) or 0.7 (CV1) in *Eucalyptus grandis*, and at a 0.7 in *Eucalyptus saligna*. These results suggest that stomata close in response to soil water deficit earlier in these two perennial species than in annual agricultural crops. Seedlings growth and developmental parameters decreased immediately after the beginning of soil water deficit, before transpiration was affected by reduction of soil water.

Key words: fraction of transpirable of soil water; water stress; *Eucalyptus grandis*; *Eucalyptus saligna*.

1. INTRODUÇÃO

A água é um recurso natural valioso e certamente o elemento mais importante para a vida dos animais e vegetais, pois é necessária à maioria das funções vitais, reações e rotas metabólicas (CARLESSO & ZIMMERMANN, 2000). A água é o principal constituinte do tecido vegetal, representando 50% da massa fresca nas plantas lenhosas e cerca de 80 a 95% nas plantas herbáceas, sendo necessária como reagente no metabolismo vegetal, transporte e translocação de solutos, na turgescência celular, na abertura e fechamento dos estômatos e na penetração do sistema radicular (TAIZ & ZIEGER, 2004). A água é responsável pela forma e estrutura dos órgãos e essencial para o crescimento e desenvolvimento das culturas (LARCHER, 2000), sejam elas anuais ou perenes (CARLESSO & SANTOS, 1999; CABRAL, 2004; FIGUERÔA et al, 2004).

A redução da água disponível à planta influencia negativamente o seu crescimento e desenvolvimento (SINCLAIR & LUDLOW, 1986; LECOEUR & SINCLAIR, 1996; SANTOS & CARLESSO, 1998). Dessa forma, a produtividade agrícola e florestal é influenciada pela disponibilidade de água no solo. LEVIT (1980) salienta a importância de analisar as respostas das plantas e seus mecanismos de defesa ao déficit hídrico no solo. Entretanto, a quantificação do impacto da disponibilidade de água no solo sobre o crescimento e desenvolvimento vegetal tem recebido pouca atenção (CARLESSO, 1995), especialmente nas espécies do gênero *Eucalyptus* (KALLARACKAL & SOMEN, 1997).

A deficiência hídrica pode afetar o crescimento e desenvolvimento de espécies florestais em qualquer fase de seu ciclo (FAÇANHA et al., 1983; GOLÇALVES & PASSOS, 2000). No eucalipto os sintomas da deficiência hídrica são mais visíveis e drásticos na fase de muda (SANTARÉM et al., 1996; JELLER & PEREZ, 2001; SILVA et al., 2004). Dessa forma o conhecimento das relações entre deficiência hídrica, crescimento e desenvolvimento nas espécies de *Eucalyptus* sp. durante a fase de muda assume particular importância, pois com o aumento da demanda por produtos de origem florestal aumentou a área plantada com espécies deste gênero, exigindo a produção de mudas de qualidade (LIMA, 1984; LIMA,

1993). Além disso, o entendimento da relação entre deficiência hídrica, crescimento e desenvolvimento de mudas é necessário para que o déficit hídrico não afete o crescimento e o desenvolvimento da muda no viveiro e conseqüentemente o sucesso na implantação da floresta (FERREIRA et al., 1999).

Existem vários parâmetros que expressam o déficit hídrico no solo. Entre eles existe o conceito de quantidade total de água armazenada – QTA, definido como a quantidade de água armazenada entre o ponto de murcha permanente e a capacidade de campo (CARLESSO & ZIMMERMANN, 2000). Entretanto, este parâmetro está aberto à críticas (RITCHIE, 1981; RATCLIFF et al., 1983), sendo a principal de que as plantas conseguem retirar água do solo a potenciais menores que -1,5 MPa, ou seja, o valor de -1,5 MPa subestima o ponto de murcha permanente para solos arenosos e siltosos e superestima em solos francos e argilosos (CARLESSO, 1995). Um outro problema na utilização deste método é que a determinação está baseada somente na profundidade do sistema radicular, desconsiderando a densidade radicular (MASON et al., 1983 citado por CARLESSO, 1995).

Ritchie (1981) e Carlesso (1995) utilizaram a capacidade de armazenamento de água disponível (CAD). Sua determinação é realizada pela diferença de conteúdo volumétrico de água entre os limites superior e inferior de disponibilidade de água às plantas, considerando cada camada do perfil de solo explorado pelo sistema radicular das plantas. O limite superior é definido como o conteúdo de água no solo observado 24 horas após a drenagem do perfil (em solos de textura arenosa) e de 2 à 3 dias (em solos de textura argilosa), a partir da saturação do solo por irrigação ou precipitação, e o limite inferior é definido como o conteúdo de água no solo quando as plantas estiverem completamente senescidas (CARLESSO & ZIMMERMANN, 2000). O inconveniente desse método em espécies florestais é que os limites devem ser determinados a campo, em condições ótimas de crescimento da cultura e, principalmente, considerando-se a profundidade efetiva do sistema radicular da cultura, sendo difíceis de serem determinados nestas culturas, devido ao grande crescimento radicular.

A fração de água disponível (FAD) foi utilizada por Ritchie (1972) e Meyer & Green (1980), citados por Carlesso (1995); Rosenthal et al., (1987) e Carlesso (1993) citado por Santos & Carlesso (1998). Este conceito é a razão entre a quantidade total de água, ou seja, o conteúdo de água volumétrico das camadas do

solo explorado pelo sistema radicular em um dia específico, e a quantidade potencial de água no solo. Apesar de muito utilizado, este conceito também apresenta desvantagem, pois nem toda a água disponível no solo é extraível pelas culturas (CARLESSO, 1995).

Sinclair & Ludlow (1986), utilizaram outro conceito na avaliação das respostas das plantas ao déficit hídrico, a fração de água transpirável no solo (FATS). Nesse conceito, assume-se que o conteúdo de água no solo utilizado pela planta para a transpiração varia entre o conteúdo de água no solo na capacidade de campo, quando a transpiração é máxima, e o conteúdo de água no solo quando a transpiração da planta é igual a 10% da transpiração máxima. Este conceito parece ser o que mais se aproxima da realidade como indicador da quantidade real de água no solo que pode ser extraída pelas plantas para a transpiração (SANTOS & CARLESSO, 1998).

Para a determinação da FATS são considerados dois estágios de deficiência hídrica (SINCLAIR & LUDLOW, 1986; MUCHOW & SINCLAIR, 1991; BINDI et al., 2005): O estágio I, quando a água está disponível livremente no solo e a planta não tem deficiência hídrica e sua condutância estomática e transpiração são máximas, ou seja, o conteúdo de água transpirável no solo não limita a condutância estomática e a transpiração; o estágio II, quando a água disponível no solo diminui, e a planta diminui sua condutância estomática e transpiração para manter seu balanço hídrico e turgescência celular.

Utilizando o conceito de FATS, o conteúdo de água em que inicia o fechamento estomático e conseqüentemente reduz a transpiração das plantas, foi determinado para várias espécies anuais agrícolas, como feijão caupi (*Vigna unguiculata*), feijão mungo (*Vigna mungo*) e guandu (*Cajanus cajan*) (SINCLAIR & LUDLOW, 1986), soja (*Glicine max*) (SINCLAIR, 1986), trigo (*Spring wheat*) (AMIR & SINCLAIR, 1991), milho (*Zea mays*) (MUCHOW & SINCLAIR, 1991) e videira (*Vitis vinifera*) (BINDI et al., 2005). No entanto, poucos estudos têm investigado a transpiração e parâmetros de crescimento e desenvolvimento em resposta a deficiência hídrica em plantas lenhosas (SINCLAIR et al., 2005), especialmente em eucalipto (KALLARACKAL & SOMEN, 1997), o que constitui o incentivo para este esforço científico.

O objetivo neste trabalho foi quantificar a influência do déficit hídrico sobre a transpiração e sobre alguns parâmetros de crescimento e desenvolvimento em

mudas de *Eucalyptus grandis* (Hill ex Maiden) e *Eucalyptus saligna* (Smith). Essas espécies foram escolhidas por apresentar importância econômica no Brasil (LOPES, 2003; TONINI, 2003), além de serem objeto de controvérsia e debate em função do uso da água (KALLARACKAL & SOMEN, 1997).

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Protocolo experimental

Foi instalado um experimento em casa de vegetação na área experimental do Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS (latitude: 29° 43' S, longitude: 53°43' W e altitude: 95 m). As sementes das espécies de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna* foram adquiridas da Estação Experimental de Silvicultura da Fundação Estadual de Pesquisa Agropecuária do RS (FEPAGRO), localizada no Distrito de Boca do Monte, Santa Maria, RS.

O delineamento utilizado foi o inteiramente casualizado, com dois tratamentos: com irrigação - T1 e sem irrigação - T2, duas épocas de semeadura e 14 repetições por espécie.

Cada repetição foi constituída de um vaso plástico de 8 litros preenchido com solo (horizonte B) pertencente a unidade de mapeamento Santa Maria (Argissolo Vermelho-amarelo distrófico típico). O espaçamento entre os vasos foi de 50 cm. Os vasos ficavam sobre uma bancada de 70 cm de altura. Como os vasos foram pretos, eles foram revestidos com papel jornal para reduzir a absorção da radiação solar pelas paredes externas, o que aumentaria a temperatura do substrato e seria uma fonte de erro experimental. A correção da acidez e nutrientes do substrato usado nos dois experimentos foi realizada conforme análise de solo e recomendação técnica para as espécies (SBCS, 2004).

A semeadura da época 1 (CV1) foi realizada em 01/10/2005 e a emergência foi em 11/10/2005. A semeadura da época 2 (CV2) foi em 12/05/2006 e a emergência em 30/05/2006.

Uma semana após a emergência, duas plantas por vaso foram marcadas com arame colorido. Foram realizados dois raleios nas plântulas, o primeiro raleio quando haviam duas folhas visíveis na haste principal (HP) e o segundo raleio foi realizado quando haviam quatro folhas visíveis na HP, deixando-se apenas as duas plantas marcadas por vaso. As brotações axilares foram removidas à medida que foram aparecendo nas plantas, mantendo-se apenas a HP em crescimento.

Como parâmetros de crescimento, avaliaram-se as variáveis altura das plantas (h), considerando-se o comprimento da HP do nível do solo até o ponto de crescimento apical, e diâmetro do caule (d) ao nível do solo. Como parâmetro de desenvolvimento, contou-se o número de folhas emitidas ou acumuladas na haste principal (NF). Estas variáveis foram medidas a cada três dias até a aplicação da deficiência hídrica e diariamente após a aplicação da deficiência hídrica. A contagem do NF iniciou quando havia no mínimo 2 folhas visíveis. As folhas foram consideradas visíveis quando tinham um comprimento do limbo de no mínimo 1,0 cm. A área foliar foi medida no primeiro e no último dia da aplicação da deficiência hídrica. Foram feitas medições no comprimento e na largura de todas as folhas de uma planta por repetição e multiplicado pelo fator de forma da área foliar (f), que para *Eucalyptus grandis* foi estimado em 0,73 e para o *Eucalyptus saligna* em 0,77 e a partir da amostragem de 150 folhas de cada espécie provenientes de plantas cultivadas concomitantemente ao experimento CV1.

Na CV1 foi determinado o coeficiente de transpiração (CT), um indicador utilizado para comparação da eficiência do uso de água pelas plantas (HSIAO & ACEVEDO, 1974; GONÇALVES & PASSOS, 2000). Esse indicador fornece a quantidade de água, em litros, necessária para a produção de 1Kg de biomassa (L H₂O Kg⁻¹ massa seca) (SILVA et al., 2004). Para a determinação do CT foi selecionada uma repetição de cada tratamento antes da aplicação da deficiência hídrica, onde foi determinada a biomassa total e de cada compartimento (raízes, folhas e caule) em estufa à 65°C. Ao término do experimento foi determinada a biomassa total e de cada compartimento em todas as repetições. O CT foi determinado através do cálculo (SILVA et al., 2004):

$$CT = \frac{\text{total de água transpirada em cada tratamento}}{\text{biomassa final - biomassa inicial de cada tratamento}} \quad (1)$$

As temperaturas mínima e máxima diárias do ar foram medidas durante todo o período do experimento com um termômetro de mínima de álcool e de um termômetro de máxima de mercúrio, respectivamente, instalados dentro de um mini abrigo meteorológico de madeira pintado de branco e instalado na altura e ao lado da bancada de localização das plantas.

As análises estatísticas foram realizadas utilizando o software SAS (SAS Institute, 2001).

2.2. Aplicação da deficiência hídrica

A deficiência hídrica foi imposta quando as plantas tinham em média 20 folhas acumuladas na HP. Das 14 repetições (vasos com duas plantas) por espécie, 7 repetições foram utilizadas como testemunha (T1), onde não foi aplicada a deficiência hídrica e as plantas cresceram e desenvolveram sem a falta de água no solo, e em 7 repetições foi aplicada a deficiência hídrica (T2).

A metodologia utilizada para quantificar o déficit hídrico foi a utilizada em Sinclair & Ludlow (1986), Muchow & Sinclair (1991), Lecoœur & Sinclair (1996), Ray & Sinclair (1997), Bindi et al. (2005) e Sinclair et al. (2005). Para garantir que a água perdida do solo fosse apenas pela transpiração das plantas, todos os vasos foram cobertos por um filme plástico branco a fim de minimizar a perda de água pela evaporação do solo. Os vasos foram saturados com água, deixados drenar por 10 horas para atingir a capacidade de campo e pesados para determinar o peso inicial. A partir de então foi aplicada a deficiência hídrica nos vasos do T2, os quais não foram mais irrigados até o final do experimento. Diariamente, ao final da tarde, todos os vasos foram pesados. Logo após a pesagem, os vasos do T1 foram irrigados com a quantidade de água perdida pela transpiração das plantas, determinada pela diferença entre o peso do vaso no dia específico e o peso inicial (primeiro dia em que foi aplicada a deficiência hídrica). O término do experimento foi considerado quando as plantas do T2 atingiram uma taxa de transpiração relativa (TR) de 10% comparada com as plantas do T1, calculada pela equação (SINCLAIR & LUDLOW, 1986):

$$TR = \frac{\text{perda diária de água das plantas do T2 (cada balde)}}{\text{média da perda de água das plantas do T1}} \quad (2)$$

A fração de água transpirável no solo (FATS) foi calculada pela equação (SINCLAIR & LUDLOW, 1986):

$$FATS = \frac{\text{Peso de cada balde em cada dia} - \text{peso final}}{\text{Peso inicial de cada repetição} - \text{peso final}} \quad (3)$$

O peso final é o peso do vaso quando a transpiração relativa (TR) atingiu 10%. O limite de 10% foi imposto por assumir-se que abaixo dessa taxa de transpiração os estômatos estão fechados e a perda de água é devida apenas pela condutância epidérmica (SINCLAIR & LUDLOW, 1986).

2.3. Normalização das variáveis e ajuste das equações

As variáveis de crescimento (h, d) e desenvolvimento (NF) foram normalizadas para ficarem entre os intervalos de valores de zero à 1 pela equação (MUCHOW & SINCLAIR, 1991; SINCLAIR et al., 2005):

$$V_n = \frac{\text{valor TR 10\%} - \text{valor (n)}}{\text{valor TR 10\%} - v \text{ inicial}} \quad (4)$$

Em que V_n é variável normalizada (h, d, NF), valor TR 10% é o valor da variável quando a TR é 10% (final do experimento), valor (n) é o valor da variável no dia específico e v inicial é o valor da variável no primeiro dia do experimento.

Aos dados das variáveis medidas (TR, NF, h, d) em função da FATS foi ajustada uma equação logística (SINCLAIR & LUDLOW, 1986; LECOEUR & SINCLAIR, 1996, BINDI et al., 2005) do tipo:

$$V_n = a / (1 + \exp(b_0 * (FATS - b_1))) \quad (5)$$

Em que a, b_0 e b_1 são coeficientes da equação logística.

Para ajustar as equações logísticas foi utilizado o procedimento MODEL do SAS (SAS Institute, 2001). As equações foram utilizadas para determinar, para as duas espécies de eucalipto, o valor de FATS em que inicia a redução da transpiração relativa e, conseqüentemente, da condutância estomática (transição entre o estágio I e estágio II da transpiração), bem como a FATS em que o crescimento e desenvolvimento começam a ser afetados (SINCLAIR & MUCHOW, 2001). O critério utilizado para definir o valor da FATS em que inicia a redução do crescimento e desenvolvimento foi o momento em que as variáveis normalizadas TR, h, d e NF começam a decrescer na curva logística (SINCLAIR & LUDLOW, 1986; RAY & SINCLAIR, 1997). Para avaliar o desempenho das equações foram utilizados os indicadores estatísticos: eficiência do modelo (Em) e o erro padrão de estimativa (S_{yx}) (SCHNEIDER, 1998).

Como as equações utilizadas nesse estudo foram não lineares, o coeficiente de determinação (R^2) não é o mais adequado a ser utilizado, pois requer a presença de intercepto no modelo, parâmetro que nem sempre compõe os modelos não lineares (SCHABENBERGER, 2006). Nesse estudo o R^2 foi substituído pelo indicador estatístico eficiência do modelo (Em) proposto por Souza, 1998. O valor de Em é dado pela fórmula (SOUZA, 1998):

$$Em = \frac{1 - \sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2}{\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y}_i)^2} \quad (6)$$

Em que Y_i é o valor observado, \hat{Y}_i é o valor estimado pelo modelo, \bar{Y}_i é a média dos valores observados.

O valor do S_{yx} é dado pela fórmula (SCHNEIDER, 1998):

$$S_{yx} = \sqrt{QM_{res}} \quad (7)$$

Em que QM_{res} é o quadrado médio do resíduo.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Durante as duas épocas de semeadura do experimento houve grande variação nas condições meteorológicas. A temperatura mínima e máxima absoluta do ar durante a época 1 (CV1) foi de 9,4°C e 43,4°C, respectivamente, e a média da temperatura mínima do ar foi de 17,1°C, a média da temperatura média do ar foi de 25,1°C, e a média da temperatura máxima do ar foi de 33,2°C. Durante a época 2 (CV2) a temperatura mínima e máxima absoluta do ar foi de 2,0°C e 38,9°C, respectivamente, e a média da temperatura mínima do ar foi de 12,8°C, a média da temperatura média do ar foi de 19,8°C, e a media da temperatura máxima do ar foi de 26,8°C. Essa diferença das condições meteorológicas nas duas épocas de semeadura causaram uma variação na demanda atmosférica e conseqüentemente uma diferença na duração do período (dias) de deficiência hídrica. Na CV1 a aplicação da deficiência hídrica teve início no dia 29/11/2005 e terminou dia 09/12/2005, totalizando 11 dias. A temperatura média do ar nesse período foi de 36,1°C. Na CV2 a aplicação da deficiência hídrica iniciou em 21/09/2006 e terminou em 11/10/2006, prolongando-se por 20 dias. Nesse período a temperatura média do ar foi de 31,1 °C.

A transpiração e o consumo de água na planta é comandado pela demanda atmosférica e pelo controle estomático (CARLESSO, 1995). A transpiração e o consumo de água das duas espécies podem ser observados na tabela 1.

TABELA 1 – Transpiração total média por planta (g planta⁻¹) e consumo médio de água (mm planta.dia⁻¹) nas mudas de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna* em dois tratamentos (T1, T2) em casa de vegetação em duas épocas de semeadura (CV1, CV2). Santa Maria, RS, 2005/2006.

	<i>E. grandis</i>		<i>E. saligna</i>	
	T1	T2	T1	T2
	CV1			
Transpiração	1825 (± 78)	911 (± 74)	2008 (± 99)	919 (± 74)
Consumo	5,81	2,90	6,39	2,93
	CV2			
Transpiração	1744 (± 33)	621 (± 17)	1923 (± 50)	519 (± 20)
Consumo	2,77	1,03	3,05	0,83

Valores entre parênteses correspondem a um desvio padrão da média.

O *Eucalyptus saligna* teve maior transpiração e consumiu mais água diariamente que o *Eucalyptus grandis* no T1, em ambas épocas de semeadura, por apresentar maior área foliar (WHITEHEAD & BREADLE, 2004) (tabela 2). No T2 da primeira época de semeadura o *Eucalyptus saligna* apresentou transpiração e consumo de água similar ao *Eucalyptus grandis* e no T2 da segunda época de semeadura o *Eucalyptus saligna* teve uma transpiração e consumo de água menor que o *Eucalyptus grandis*. Essa redução na transpiração e no consumo de água no T2 ocorreu devido a redução na área foliar de ambas espécies e essa redução foi maior no *Eucalyptus grandis*. Porém no *Eucalyptus saligna* houve maior redução na transpiração e no consumo de água, devido ao fato dessa espécie possuir maior controle na abertura e fechamento estomático (SILVA et al., 2004).

TABELA 2 – Área foliar média ($\text{cm}^2 \text{ planta}^{-1}$) inicial (AFi) e final (AFf) de mudas de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna* em dois tratamentos (T1, T2) em casa de vegetação e duas épocas de semeadura (CV1 e CV2). Santa Maria, RS, 2005/2006.

Variável	<i>E. grandis</i>		<i>E. saligna</i>	
	T1	T2	T1	T2
----- CV1 -----				
AFi	146,86 ($\pm 24,3$)	240,87 ($\pm 91,5$)	232,75 ($\pm 75,7$)	205,71 ($\pm 82,9$)
AFf	817,74 ($\pm 214,6$)	344,61 ($\pm 137,9$)	1100,53 ($\pm 307,8$)	436,08 ($\pm 131,7$)
----- CV2 -----				
AFi	309,42 ($\pm 101,8$)	216,58 ($\pm 46,7$)	360,09 ($\pm 80,7$)	279,45 ($\pm 50,5$)
AFf	835,69 ($\pm 185,2$)	265,2 ($\pm 99,7$)	890,69 ($\pm 96,1$)	312,05 ($\pm 79,2$)

Valores entre parênteses correspondem a um desvio padrão da média.

O coeficiente de transpiração (CT) foi calculado para as duas espécies no T1 e T2 na primeira época de semeadura. Os valores de CT para o T1 foram 282 e 275 $\text{l H}_2\text{O Kg}^{-1}$ massa seca para *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna*, respectivamente, e no T2 foram de 241 e 228 $\text{l H}_2\text{O Kg}^{-1}$ massa seca para *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna*, respectivamente. Esses resultados indicam que o *Eucalyptus saligna* utiliza mais eficientemente a água que o *Eucalyptus grandis*, por apresentar menor valor de CT, apesar de ter maior transpiração e maior consumo de água no T1. Esses valores de CT são menores que os valores encontrados para soja (700 $\text{l H}_2\text{O Kg}^{-1}$ massa seca), milho (300-400 $\text{l H}_2\text{O Kg}^{-1}$ massa

seca) (BALBINO et al., 2003), sorgo (277 l H₂O Kg⁻¹ massa seca), beterraba açucareira (443 l H₂O Kg⁻¹ massa seca), trigo de primavera (491 l H₂O Kg⁻¹ massa seca), cevada (527 l H₂O Kg⁻¹ massa seca), batata (575 l H₂O Kg⁻¹ massa seca), aveia (583 l H₂O Kg⁻¹ massa seca) (Shantz citado por SINGH et al., 2003).

A TR foi normalizada para reduzir a variação que ocorreu entre as repetições e experimentos, procedimento usado em outros trabalhos (SINCLAIR & LUDLOW, 1986; LECOEUR & SINCLAIR, 1996; RAY & SINCLAIR, 1997). Esta variação ocorreu devido a diferença no crescimento das plantas no CV1 e CV2. A TR foi normalizada dividindo os valores individuais de TR pela média de todos os valores de TR quando a FATS foi maior que 0,50 (SINCLAIR & LUDLOW, 1986). A relação entre as variáveis normalizadas TR, h, d e NF com a FATS nas duas épocas de semeadura é apresentada nas figuras 1 e 2. Houve uma considerável variabilidade nos dados observados, especialmente nas variáveis TR e NF no experimento CV2, quando as temperaturas foram menores. Esta variabilidade também foi verificada em outros estudos, principalmente em baixas temperaturas, quando a transpiração é menor (SINCLAIR & LUDLOW, 1986). Apesar desta variabilidade, há uma tendência de decréscimo das variáveis a medida que a FATS decresce até zero, e este decréscimo pode ser descrito por uma equação logística, como foi relatado em estudos com outras espécies (SINCLAIR & LUDLOW, 1986; AMIR & SINCLAIR, 1991; LECOEUR & SINCLAIR, 1996; RAY & SINCLAIR, 1997). Observa-se uma tendência similar de decréscimo das variáveis em ambas as épocas de semeadura, indicando uma resposta geral das variáveis à FATS. Todas as equações logísticas ajustadas para a TR de ambas espécies, nas duas épocas de semeadura, apresentaram boa precisão estatística, com valores elevados de Em e baixos de S_{yx} (Tabela 3).

Comparando-se a resposta das variáveis normalizadas à FATS, observa-se semelhanças e diferenças entre as duas espécies. Por exemplo, a TR na época CV1 tem uma resposta similar entre as duas espécies já que os valores dos coeficientes b₀ e b₁ são muito próximos (Figura 1). Seguindo o critério de Sinclair & Ludlow (1986) de que o valor de FATS em que inicia a redução da TR (estágio 1 da transpiração) é quando a curva estimada pela equação logística deixa de ser próxima a 1,0 e inicia o decréscimo linear, o valor de FATS para as duas espécies na época CV1 é aproximadamente 0,7. Já na época CV2, é clara a tendência de uma redução de TR a uma FATS maior no *E. grandis* do que no *E. saligna* (Figura

2), dado pelo valor maior (menos negativo) do coeficiente b_0 no primeiro comparado com o segundo. Neste caso, a FATS em que inicia a redução de TR é aproximadamente 0,9 para *E. grandis* e 0,7 para *E. saligna*. A partir destes valores de FATS a TR começou diminuir linearmente em ambas espécies nas duas épocas de semeadura. Os valores de FATS de 0,9 e 0,7 são superiores a muitas culturas agrícolas anuais como soja (FATS = 0,40), guandu (FATS = 0,40), feijão mungo (FATS = 0,40) e feijão caupi (FATS = 0,30) (SINCLAIR & LUDLOW, 1986), trigo de primavera (FATS = 0,30) (AMIR & SINCLAIR, 1991), ervilha (FATS = 0,55) (LECOEUR & SINCLAIR, 1996) e milho (FATS = 0,50) (RAY & SINCLAIR, 1997) e superior a algumas espécies perenes como a videira (FATS = 0,35) (BINDI et al., 2005), tuia (*Thuja plicata* FATS = 0,35), algarrobeira (*Robinia pseudoacacia* FATS = 0,30), *Hibiscus* sp. (FATS = 0,30), o azevinho europeu (*Ilex aquifolium* FATS = 0,30) o acer (*Acer rubrum* FATS = 0,25) (SINCLAIR et al., 2005) e a espirradeira (*Nerium olander* L. FATS = 0,50) (GOLLAN et al., 1985).

O início da redução da transpiração é um indicativo do fechamento estomático e marca a transição entre o estágio I e II da transpiração (SINCLAIR & LUDLOW, 1986; BINDI et al., 2005) e o valor de FATS, em que ocorre o início do fechamento estomático encontrado para estas duas espécies é considerado alto, o que pode ser considerado como uma vantagem nas duas espécies de eucalipto (SINCLAIR et al., 2005). O fechamento estomático mais cedo em solos com baixo conteúdo de água conserva a água no solo e constitui um critério adaptativo da espécie para melhor suportar a deficiência hídrica prolongada (MUCHOW & SINCLAIR, 1991) o que certamente é uma adaptação das plantas perenes comparado com plantas anuais.

A similaridade da relação entre TR e a FATS e conseqüentemente dos estágios I e II da transpiração verificada entre as duas espécies de eucalipto na época CV1 e entre as duas épocas no *E. saligna*, onde as plantas desidrataram em condições de temperatura (e demanda hídrica) diferente, reforçam a teoria de que o fechamento estomático, para evitar ou reduzir a perda de água e a perda de turgor do tecido vegetal, é determinada pelo teor de água no solo (SINCLAIR & LUDLOW, 1986), apontando em favor de sinais nas raízes como os responsáveis pelo controle estomático (STEUDLE & PETERSON; 1998; STRECK, 2004).

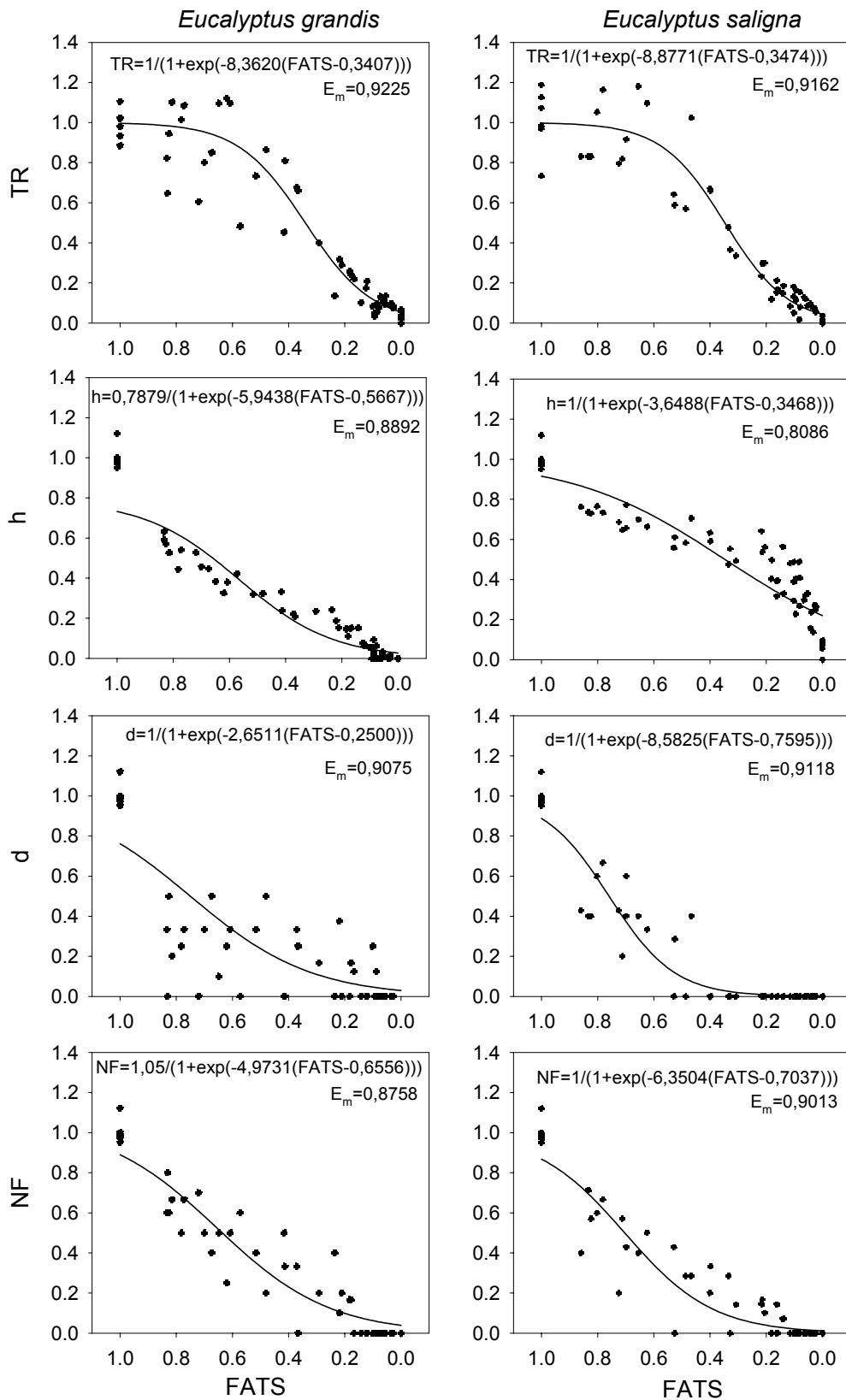


FIGURA 1 – Variáveis normalizadas de taxa de transpiração relativa (TR), altura de planta (h), diâmetro de caule (d) e número de folhas na haste principal (NF) em função da fração de água transpirável no solo (FATS) para mudas de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna* cultivados em casa de vegetação na primeira época de semeadura (CV1). Santa Maria, RS, 2005.

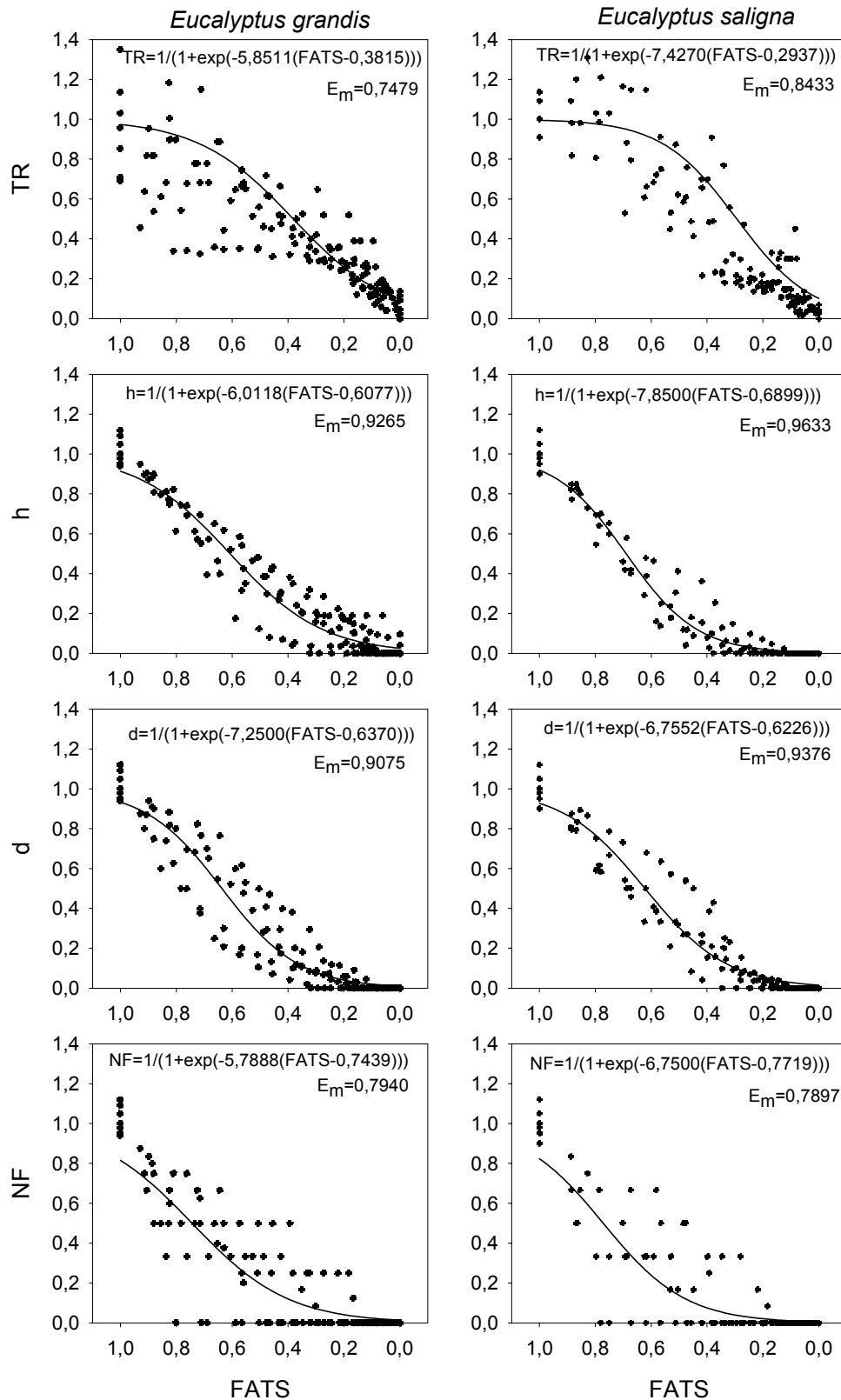


FIGURA 2 – Variáveis normalizadas de taxa de transpiração relativa (TR), altura de planta (h), diâmetro de caule (d) e número de folhas na haste principal (NF) em função da fração de água transpirável no solo (FATS) para mudas de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna* cultivados em casa de vegetação na segunda época de semeadura (CV2). Santa Maria, RS, 2006.

TABELA 3 – Equações ajustadas para as variáveis normalizadas TR, h, d e NF em função da FATS e valores dos indicadores estatísticos para mudas de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna* cultivadas em casa de vegetação em duas épocas de semeadura (CV1 e CV2). Santa Maria, RS, 2005/2006.

Espécie	Equação	Indicadores	
		Em	S _{yx}
----- CV1 -----			
<i>Eucalyptus grandis</i>	$TR = 1 / (1 + \exp(8,3620 * (FATS - 0,3407)))$	0,9225	0,1194
	$h = 0,7879 / (1 + \exp(5,9438 * (FATS - 0,5667)))$	0,8892	0,1019
	$d = 1 / (1 + \exp(2,6511 * (FATS - 0,2500)))$	0,8104	0,4048
	$NF = 1,05 / (1 + \exp(4,9731 * (FATS - 0,6556)))$	0,8758	0,1228
<i>Eucalyptus saligna</i>	$TR = 1 / (1 + \exp(8,8771 * (FATS - 0,3474)))$	0,9162	0,1212
	$h = 1 / (1 + \exp(3,6488 * (FATS - 0,3468)))$	0,8086	0,1268
	$d = 1 / (1 + \exp(8,5825 * (FATS - 0,7595)))$	0,7595	0,0945
	$NF = 1 / (1 + \exp(6,3504 * (FATS - 0,7037)))$	0,9013	0,1005
----- CV2 -----			
<i>Eucalyptus grandis</i>	$TR = 1 / (1 + \exp(3,8496 * (FATS - 0,4827)))$	0,7479	0,1473
	$h = 0,7879 / (1 + \exp(6,0118 * (FATS - 0,6077)))$	0,9265	0,0873
	$d = 1 / (1 + \exp(7,2500 * (FATS - 0,6370)))$	0,9075	0,1011
	$NF = 1,05 / (1 + \exp(5,7888 * (FATS - 0,7439)))$	0,7940	0,1374
<i>Eucalyptus saligna</i>	$TR = 1 / (1 + \exp(7,4270 * (FATS - 0,3937)))$	0,8433	0,1612
	$h = 1 / (1 + \exp(7,8500 * (FATS - 0,6899)))$	0,9633	0,0562
	$d = 1 / (1 + \exp(6,7552 * (FATS - 0,6226)))$	0,9376	0,0769
	$NF = 1 / (1 + \exp(6,7500 * (FATS - 0,7719)))$	0,7897	0,4000

Em que TR = Transpiração relativa, h = Altura de planta, d = Diâmetro de caule, FATS = Fração de água transpirável no solo, Em = Eficiência do modelo, S_{yx} = Erro padrão de estimativa.

As variáveis normalizadas h, d e NF começaram a ser afetadas imediatamente após o início da aplicação da deficiência hídrica, em ambas espécies, logo que a FATS diminuiu (Figuras 1 e 2). Porém, em dias do calendário civil os sintomas da deficiência hídrica demoraram a aparecer em torno de 5 dias na época CV1 e 10 dias na época CV2. As equações ajustadas para as variáveis h, d e NF para ambas espécies tiveram boa estimativa, com valores de Em entre 0,7479 à 0,9265 para *Eucalyptus grandis* e entre 0,7595 à 0,9633 para *Eucalyptus saligna*. Os valores de S_{yx} foram baixos nas duas espécies, variando de 0,873 à 0,4048 e 0,0562 à 0,1612 em *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna*, respectivamente.

O fato das variáveis h , d e NF serem afetadas pelo déficit hídrico no solo antes que a transpiração indica que possa ter ocorrido uma diminuição na turgescência das células antes do fechamento estomático, o que certamente foi suficiente para afetar o metabolismo e causar redução no crescimento e desenvolvimento das mudas.

Na época CV1, o *Eucalyptus saligna* demorou dois dias mais que o *Eucalyptus grandis* e na CV2, o *Eucalyptus saligna* demorou cinco dias mais que o *Eucalyptus grandis*, para aparecerem os sintomas de deficiência hídrica nas variáveis de crescimento e desenvolvimento, indicando que a espécie *Eucalyptus saligna* é mais tolerante a deficiência hídrica que a espécie *Eucalyptus grandis*. Estes resultados podem ser explicados pela tendência de ter ocorrido fechamento estomático mais tarde (a uma FATS menor) no *E. saligna* do que no *E. grandis*, especialmente na época CV2 (Figura 2), mas também pode ter ocorrido na época CV1, já que o coeficiente b_0 foi um pouco menor no *E. saligna* (Figura 1).

Os resultados deste estudo suportam a hipótese de que há diferença na resposta à deficiência hídrica no solo entre plantas anuais e plantas perenes, como indicado por Sinclair et al., 2005. As plantas perenes tem mecanismos de controle estomático para promover o decréscimo na taxa de transpiração mais cedo, assim como, uma rápida redução no crescimento e desenvolvimento durante a deficiência hídrica, a fim de melhor conservar a água no solo (BINDI et al., 2005; SINCLAIR et al., 2005).

4. CONCLUSÃO

O início da redução da transpiração, indicativo do início do fechamento estomático, ocorre quando a FATS é entre 0,9 na época 2 e 0,7 na época 1 para *Eucalyptus grandis* e 0,7 para *Eucalyptus saligna*. Estes valores são maiores do que das culturas anuais e de muitas espécies perenes. O crescimento e o desenvolvimento de mudas de eucalipto é afetado pela deficiência hídrica imediatamente após o início do déficit hídrico no solo em FATS, antes da transpiração ser afetada pela redução da água no solo.

5. REFERÊNCIAS

- AMIR, J.; SINCLAIR, T.R. A model of water limitation on spring wheat growth and yield. **Field Crops Research**, v.29, n.1, p.59-96, 1991.
- BALBINO, L.C.; BROSSARD, M; STONE, L.F.; LEPRUN, J.C. **Estruturas e propriedades hidráulicas em latossolos sob cultivo na região do Cerrado**. Rio de Janeiro: EMBRAPA, 2003. 44p. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento; n.8).
- BINDI, M. et al. Influence of water deficit stress on leaf area development and transpiration of Sangiovese Grapevines grown in pots. **American Journal of Enology and Viticulture**, v.56, n.1, p.68-72, 2005.
- CABRAL, E.L.; BARBOSA, D.C.A.; SIMABUKURO, E.A. Crescimento de plantas jovens de *Tabebuia aurea* (Manso) Benth. & Hook. ex S. Moore submetidas a estresse hídrico. **Acta Botânica Brasileira**, v.18, n.2, p.241-251, 2004.
- CARLESSO, R.; ZIMMERMANN, L.F. **Água no solo: parâmetros para dimensionamento de sistemas de irrigação**. Santa Maria: Imprensa Universitária, 2000, 88 p.
- CARLESSO, R. Absorção de água pelas plantas: Água disponível versus Água extraível e a produtividade das culturas. **Ciência Rural**, v.25, n.1, p.183-188, 1995.
- CARLESSO, R.; SANTOS, R.F. Disponibilidade de água às plantas de milho em solos de diferentes texturas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 23, p.27-33, 1999.
- FAÇANHA, J.G.V. et al. Relação germinação/crescimento em espécies de eucalipto submetidas a estresse hídrico. **Revista Árvore**, v.7, n.2, p.177-187, 1983.
- FERREIRA, C.A.G.; DAVIDE, A.C.; CARVALHO, L.R. de. Relações hídricas em mudas de *Eucalyptus citriodora* Hook, em tubetes, aclimatadas por tratamentos hídricos. **Cerne**, v.5, n.2, p.95-104, 1999.
- FIGUERÔA, J.M.; BARBOSA, D.C.A.; SIMABUKURO, E.A. Crescimento de plantas jovens de *Myracrodruon urundeuva* Allemão (Anacardiaceae) sob diferentes regimes hídricos, **Acta Botânica Brasileira**, v.18, n.3, p.573-580, 2004.
- GOLLAN, T.; TURNER, N.N.; SCHULZE, E.D. The responses of stomata and leaf gas exchange to vapor pressure deficits and water content III. In the sclerophyllous woody species *Nerium olander*. **Oecologia**, v.35, p.356-362, 1985.
- GONÇALVES, M.R.; PASSOS, C.A.M. Crescimento de cinco espécies de eucalipto submetidas a déficit hídrico em dois níveis de fósforo. **Ciência Florestal**, v.10, n.2, p.145-161, 2000.
- HSIAO, T.C.; ACEVEDO, E. Plant responses to water deficits, water-use efficiency, and drought resistance. **Agricultural Meteorology**, v.14, p.59-84, 1974.
- JELLER, H.; PEREZ, S.C.J.G.A. Efeitos dos estresses hídrico e salino e da ação da giberelina em sementes de *Senna spectabilisi*. **Ciência Florestal**, v.11, n.1, p.93-104, 2001.

- KALLARACKAL, J.; SOMER, C.K. An ecophysiological evaluation of the suitability of *Eucalyptus grandis* for planting in the tropics. **Forest Ecology and Management**, v.95, p. 53 – 61, 1997.
- LARCHER, W.. **Ecofisiologia vegetal**. São Carlos: Rima, 2000. 215 p.
- LECOEUR, J.; SINCLAIR, R.T. Field pea transpiration and leaf growth in response to soil water deficits. **Crop Science**, v.36, p.331-335, 1996.
- LEVIT, J. **Responses of plants to environmental stresses**. II. Water, radiation, salt and the other stress. New York: Academic Press, 1980. 606p.
- LIMA, W.P.de. The Hydrology of Eucalypt forests in Austrália – A review. **Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais**, n. 28, p.11-32, 1984.
- _____. **Impacto ambiental do eucalipto**. 2 ed. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 1993, 301p.
- LOPES, M.C.de. **Agrupamento de árvores matrizes de *Eucalyptus grandis* em função das variáveis dendrométricas e das características tecnológicas da madeira**. 2003. 93f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2003.
- MUCHOW, R.C.; SINCLAIR, T.R. Water deficits effects on maize yields modeled under current and “greenhouse” climates. **Agronomy Journal**, v.83, p.1052-1059, 1991.
- RATCLIFF, L.F.; RITCHIE, J.T.; CASSEL, D.K. Field-measured limits of soil water availability as related to laboratory measured properties. **Soil Science Society of America Journal**, v.47, p.770-775, 1983.
- RAY, J.D.; SINCLAIR, T.R. Stomatal conductance of maize hybrids in response to drying soil. **Crop Science**, v.37, p.803-807, 1997.
- RITCHIE, J.T. Soil water availability. **Plant and soil**, Dordrecht, v.58, p.327-338, 1981.
- ROSENTHAL, W.D. et al. Water deficits effects on transpiration and leaf growth. **Agronomy Journal**, v.79, n.6, p.1019-1026, 1987.
- SANTARÉM, E.R. et al. Efeito do estresse hídrico na germinação e crescimento inicial de três espécies de leguminosas. **Acta Botânica Brasílica**, v.10, n.2, p. 213-221, 1996.
- SANTOS, R.F.; CARLESSO, R. Déficit hídrico e os processos morfológico e fisiológico das plantas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.2, n.3, p.287-294, 1998.
- SAS INSTITUTE CORPORATION. **The SAS-System for Windows**: release 8.0. Cary, NC, USA, 2001.
- SCHABENBERGER, O. **Nonlinear regression with the SAS system**. Disponível em: <<http://www.cas.vt.edu/schabenb/SASNlin.htm>> Acesso em 14 nov. 2006.
- SCHNEIDER, P.R. **Análise de regressão aplicada à Engenharia Florestal**. 2. ed. Santa Maria: Ed. UFSM/CEPEF, 1998. 236p.
- SILVA, W. da. et al. Índice de consumo e eficiência do uso da água em eucalipto, submetido a diferentes teores de água em convivência com a braquiária. **Floresta**, v.34, n.3, p.325-335, 2004.

- SINCLAIR, T.R. Water and nitrogen limitations in soybean grain production I. Model Development. **Field Crops Research**, v.15, p.125-141, 1986.
- SINCLAIR, T.R.; LUDLOW, M.M. Influence of soil water supply on the plant water balance of four tropical grain legumes. **Australian Journal Plant Physiology**, v.13, p. 319-340, 1986.
- SINCLAIR, T.R.; MUCHOW, R.C. System analysis of plant traits to increase grain yield on limited water supplies. **Agronomy Journal**, v.93, p.263-270, 2001.
- SINCLAIR, T.R.; HOLBROOK, N.M.; ZWIENIECKI, M.A. Daily transpiration rates of woody species on drying soil. **Tree physiology**, v.25, p.1469-1472, 2005.
- SINGH, D.K.; BIRD, P.R.; SAUL G.R. Maximising the use of soil water by herbaceous species in the high rainfall zone of southern Australia: a review. **Australian Journal of Agricultural Research**, v.54, n.7, p.667-691, 2003.
- SOCIEDADE BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO. COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO – RS/SC. **Manual de adubação e calagem para os estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina**. 10. ed. Comissão de Química e Fertilidade do Solo. Porto Alegre: 2004. 394p.
- SOUZA, G.S. **Introdução aos modelos de regressão linear e não linear**. Brasília: EMBRAPA-SPI, 1998. 505p.
- STEUDLE, E.; PETERSON, C.A. How does water get through roots? **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v.49, n.322, p.775-788, 1998.
- STRECK, N.A. Do we know how plants sense a drying soil? **Ciência Rural**, v.34, n.2, p.581-584, 2004.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**. Piracicaba: Ed. Artmed, 3ª ed., 2004. 720p.
- TONINI, H. **Crescimento e produção de clones de *Eucalyptus saligna* Smith, na depressão central e serra do sudoeste, Rio Grande do Sul**. 2003. 289f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2003.
- WHITEHEAD, D.; BREADLE, C.L. Physiological regulation of productivity and water use in *Eucalyptus*: a review. **Forest Ecology and Management**, v.193, n.1, v.2, p.113-140, 2004.

CONCLUSÕES GERAIS

Os resultados do Capítulo I desta dissertação permitem concluir que o modelo de WE foi melhor do que o modelo do filocrono para estimar o número de folhas na haste principal em mudas de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna* cultivadas a campo e em casa de vegetação. Este resultado indica a melhor performance do modelo de WE é atribuída à uma resposta não linear da TAF à temperatura.

Já os resultados do Capítulo II permitem concluir que o início da redução da transpiração das mudas de eucalipto ocorre quando a FATS assume valores de 0,9 (CV2) e 0,7 (CV1) para *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna*. Estes valores são maiores do que para as culturas anuais e algumas espécies perenes e representam uma adaptação das espécies de eucalipto em tolerar a falta de água no solo. As variáveis de crescimento e o desenvolvimento das mudas de eucalipto foram afetadas imediatamente após o início do déficit hídrico no solo em FATS, porém os sintomas da deficiência hídrica demoraram para aparecer levando em consideração os dias do calendário civil.

Recomenda-se intensificar os estudos a respeito do efeito de fatores abióticos sobre o crescimento e desenvolvimento de espécies perenes. Tais estudos são importantes para aumentar o conhecimento da ecofisiologia destas espécies.

REFERÊNCIAS GERAIS

- CABRAL, E.L.; BARBOSA, D.C.A.; SIMABUKURO, E.A. Crescimento de plantas jovens de *Tabebuia aurea* (Manso) Benth. & Hook. ex S. Moore submetidas a estresse hídrico, **Acta Botânica Brasílica**, v.18, n.2, p.241-251, 2004.
- CARLESSO, R.; SANTOS, R.F. Disponibilidade de água às plantas de milho em solos de diferentes texturas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 23, p.27-33, 1999.
- FIGUERÔA, J.M.; BARBOSA, D.C.A.; SIMABUKURO, E.A. Crescimento de plantas jovens de *Myracrodruon urundeuva* Allemão (Anacardiaceae) sob diferentes regimes hídricos, **Acta Botânica Brasílica**, v.18, n.3, p.573-580, 2004.
- FORESTRY AND TIMBER BUREAU. **Forest trees of Australia**. Department of National Development, Canberra. 230 p, 1962.
- GOMES, J.M. et al. Parâmetros morfofisiológicos na avaliação da qualidade de mudas de *Eucalyptus grandis*. **Revista Árvore**, v.26, n.6, p.655-664, 2002.
- HODGES, T.F. **Predict crop phenology**. Boca Raton: CRC, 1991, 233p.
- HSIAO, T.C.; ACEVEDO, E. Plant responses to water deficits, water-use efficiency, and drought resistance. **Agricultural Meteorology**, v.14, p.59-84, 1974.
- LARCHER, W.. **Ecofisiologia vegetal**. São Carlos: Rima, 2000. 215 p.
- LIMA, W.P.de. The Hydrology of Eucalypt forests in Austrália – A review. **Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais**, Piracicaba, n. 28, p.11-32, 1984.
- LOPES, M.C.de. **Agrupamento de árvores matrizes de *Eucalyptus grandis* em função das variáveis dendrométricas e das características tecnológicas da madeira**. 2003. 93f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2003.
- MANTOVANI, M. et al. Fenologias reprodutivas de espécies arbóreas em uma formação secundária da Floresta Atlântica. **Revista Árvore**, v.27, n.4, p.451-458, 2003.
- MARCHIORI, J.N.C.; SOBRAL, M. **Dendrologia das Angiospermas: Myrtales**. Santa Maria: Ed. da UFSM, 1997. 304p.
- MESKIMEN, G.; FRANCIS, J.K. *Eucalyptus grandis* Hill (ex. Maiden) Rose gum *Eucalyptus*. Disponível em: <http://www.na.fs.fed.us/Spfo/pubs/silvics_manual/volume_2/eucalyptus/grandis.htm> Acesso 26 de set.2006.
- SANDS. P.J.; LANDSBERG, J.J. Parameterisation of 3-PG for plantation grown *Eucalyptus globulus*. **Forest Ecology and Management**, v. 163, p.273-292, 2002.
- SANTOS, R.F. **Comportamento morfo-fisiológico de plantas de milho submetidas a déficit hídrico em solos de diferentes texturas**. 1997. 90 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 1997.
- SCURFIELD, G. The effects of temperature and day length on species of *Eucalyptus*. **Australian Journal of Botany**, v.9, n.1, p.37-56, 1961.

SKOLMEN, R.G. *Eucalyptus saligna* **Smith Saligna Eucalyptus**. Disponível em: <http://na.fs.fed.us/spfo/pubs/silvics_manual/volume_2/eucalyptus/saligna.htm> Acesso 26 de set.2006.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**. Piracicaba: Ed. Artmed, 3^a ed., 2004. 720p.

TONINI, H. **Crescimento e produção de clones de *Eucalyptus saligna* Smith, na depressão central e serra do sudoeste, Rio Grande do Sul**. 2003. 289f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2003.

YAN, W.; HUNT, L.A. An equation for modeling the temperature response of plants using only the cardinal temperatures. **Annals of Botany**,v.84, n.5, p.607-614, 1999.

Nome do arquivo: Dissertação Fabrina (versão MDT2006)
Pasta: C:\Mestrado\Engenharia Agrícola\Projeto de pesquisa
Modelo: C:\WINDOWS\Application
Data\Microsoft\Modelos\Normal.dot
Título:
Assunto:
Autor:
Palavras-chave:
Comentários:
Data de criação: 06/03/07 23:27
Número de alterações:38
Última gravação: 07/03/07 01:27
Gravado por: FABRINA BOLZAN MARTINS
Tempo total de edição: 104 Minutos
Última impressão: 07/03/07 01:27
Como a última impressão
Número de páginas: 72
Número de palavras: 16.837 (aprox.)
Número de caracteres: 95.971 (aprox.)