

VALÉRIA HOLLUNDER KLIPPEL

**MODELAGEM ECOFISIOLÓGICA DE CULTIVOS DE EUCALIPTO EM  
REGIÕES SUBTROPICAIS DO BRASIL**

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

VIÇOSA  
MINAS GERAIS- BRASIL  
2015

**Ficha catalográfica preparada pela Biblioteca Central da Universidade  
Federal de Viçosa - Câmpus Viçosa**

T

K65m  
2015

Klippel, Valéria Hollunder, 1987-  
Modelagem ecofisiológica de cultivos de eucalipto em  
regiões subtropicais do Brasil / Valéria Hollunder Klippel. –  
Viçosa, MG, 2015.  
x, 89f. : il. (algumas color.) ; 29 cm.

Orientador: Aristides Ribeiro.  
Tese (doutorado) - Universidade Federal de Viçosa.  
Inclui bibliografia.

1. Ecofisiologia vegetal. 2. Eucalipto - Crescimento.  
3. Fotossíntese. I. Universidade Federal de Viçosa.  
Departamento de Engenharia Agrícola. Programa de  
Pós-graduação em Meteorologia Agrícola. II. Título.

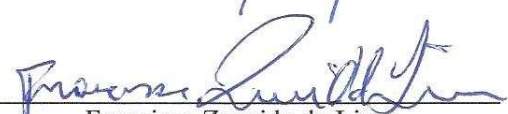
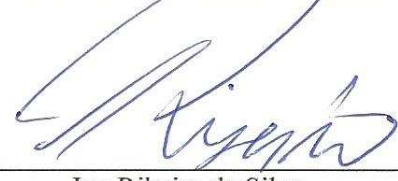
CDD 22. ed. 630.2815

VALÉRIA HOLLUNDER KLIPPEL

**MODELAGEM ECOFISIOLÓGICA DE CULTIVOS DE EUCALIPTO EM  
REGIÕES SUBTROPICAIS DO BRASIL**

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

APROVADA: 23 de junho de 2015.

|                                                                                                                                   |                                                                                                                                    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <br>_____<br>Gleison Augusto dos Santos        | <br>_____<br>Marcos Vinícius Winckler Caldeira |
| <br>_____<br>Francisca Zenaide de Lima         | <br>_____<br>Ivo Ribeiro da Silva              |
| <br>_____<br>Aristides Ribeiro<br>(Orientador) |                                                                                                                                    |

## **AGRADECIMENTOS**

Ao meu Deus, amado da minh'alma, fonte suprema de amor.

À Universidade Federal de Viçosa e ao Programa de Pós-Graduação em Meteorologia Agrícola, pela oportunidade de realização deste trabalho.

A CAPES pelo apoio financeiro.

Ao Professor Aristides Ribeiro pelos conhecimentos repassados e pelas inúmeras oportunidades.

À empresa CMPC pelo apoio irrestrito. Em especial aos pesquisadores Elias Frank de Araújo e Glêison Augusto dos Santos pelas valiosas ajudas e prontidão para que este trabalho fosse executado da melhor maneira possível.

Ao professor Wagner Luiz Araújo e Carlos Alberto Martinez Y Huaman pelas orientações.

Ao meu marido Luciano, pelo amor, amizade e companheirismo.

À família pelo apoio.

Aos amigos do “SOPA” e colegas da Pós-graduação: pelo estímulo, ajuda, amizade e aprendizado.

## **BIOGRAFIA**

VALÉRIA HOLLUNDER KLIPPEL, filha de Deoclério Klippel e Tereza Hollunder Klippel, natural de Afonso Cláudio, Espírito Santo, nasceu no dia 16 de junho de 1987. No período de 2007 a 2009 foi bolsista de iniciação científica pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq). Em agosto de 2009, graduou-se em Engenharia Florestal pela Universidade Federal do Espírito Santo, ES, onde também obteve o título de mestre em Ciências Florestais, em agosto de 2011. Em seguida, deu continuidade aos estudos e pesquisas no Programa de Pós-Graduação em Meteorologia Agrícola na Universidade Federal de Viçosa, MG, submetendo-se a defesa de tese em junho de 2015.

## SUMÁRIO

|                                         |          |
|-----------------------------------------|----------|
| LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS .....  | vi       |
| RESUMO.....                             | vii      |
| ABSTRACT.....                           | ix       |
| <b>INTRODUÇÃO GERAL .....</b>           | <b>1</b> |
| <b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b> | <b>6</b> |

## CAPÍTULO I

### **Ecofisiologia de plantios jovens de eucalipto saligna, benthamii e dunnii em regiões Subtropicais do Brasil**

|                                            |           |
|--------------------------------------------|-----------|
| <b>RESUMO.....</b>                         | <b>9</b>  |
| <b>1. Introdução.....</b>                  | <b>11</b> |
| <b>2. Material e métodos</b>               |           |
| 2.1. Caracterização da área de estudo..... | 12        |
| 2.2. Condições experimentais.....          | 14        |
| 2.3. Análises estatísticas .....           | 16        |
| <b>3. Resultados e discussão.....</b>      | <b>16</b> |
| <b>4. Conclusão .....</b>                  | <b>29</b> |
| <b>5. Referências bibliográficas.....</b>  | <b>29</b> |

## CAPÍTULO II

### **Comparação das trocas gasosas de cultivo de eucalipto saligna em diferentes fases de desenvolvimento (jovens e adultos) e condições sazonais na Região Sul do Brasil**

|                                                  |           |
|--------------------------------------------------|-----------|
| <b>RESUMO.....</b>                               | <b>34</b> |
| <b>1. Introdução.....</b>                        | <b>35</b> |
| <b>2. Material e métodos</b>                     |           |
| 2.1. Caracterização da área de estudo.....       | 37        |
| 2.2. Dados meteorológicos e umidade do solo..... | 38        |
| 2.3. Trocas gasosas.....                         | 39        |
| 2.4. Potencial hídrico foliar.....               | 40        |

|                                           |           |
|-------------------------------------------|-----------|
| 2.5. Análises estatísticas .....          | 40        |
| <b>3. Resultados e discussão.....</b>     | <b>41</b> |
| <b>4. Conclusão .....</b>                 | <b>54</b> |
| <b>5. Referências bibliográficas.....</b> | <b>54</b> |

### CAPÍTULO III

#### Estimativa da produtividade potencial para *Eucalyptus saligna* na Região Sul do Brasil

|                                               |           |
|-----------------------------------------------|-----------|
| <b>RESUMO.....</b>                            | <b>57</b> |
| <b>1. Introdução.....</b>                     | <b>58</b> |
| 1.1. Descrição do modelo 3-PG.....            | 59        |
| <b>2. Material e métodos</b>                  |           |
| 2.1. Caracterização da área de estudo.....    | 61        |
| 2.2. Dados meteorológicos .....               | 62        |
| 2.3. Parametrização do Modelo 3-PG.....       | 64        |
| 2.4. Calibração do Modelo 3-PG.....           | 68        |
| 2.5. Validação do Modelo 3-PG.....            | 68        |
| 2.6. Avaliação das estimativas do modelo..... | 69        |
| <b>3. Resultados e discussão.....</b>         | <b>69</b> |
| 3.1. Parametrização.....                      | 76        |
| 3.2. Calibração .....                         | 79        |
| 3.3. Validação .....                          | 83        |
| <b>4. Conclusão .....</b>                     | <b>85</b> |
| <b>5. Referências bibliográficas.....</b>     | <b>85</b> |
| <b>CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>              | <b>89</b> |

## LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

$A$  = fotossíntese líquida ( $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ )

$A_{\text{max}}$  = fotossíntese líquida máxima ( $\mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ )

$CA$  - concentração ambiente de  $\text{CO}_2$

$C_i$  - concentração interna de  $\text{CO}_2$

$DPV$  - déficit de pressão de vapor (kPa)

$E$  - transpiração ( $\text{mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ )

$F_v/F_m$  - Eficiência quântica máxima do fotossistema II

$g_s$  - condutância estomática ( $\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ )

$IAF$  - índice de área foliar

$J_{\text{max}}$  - taxa de transporte de elétrons ( $\mu\text{mol mol}^{-1}$ )

$RFA$  = radiação fotossinteticamente ativa ( $\mu\text{mol RFA m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ )

$V_{\text{c-max}}$  - taxas máximas de carboxilação da Rubisco ( $\mu\text{mol mol}^{-1}$ )

$\alpha$  - eficiência quântica ( $\mu\text{mol C } \mu\text{mol RFA}^{-1}$ )

$\Psi_f$  - potencial hídrico foliar diurno (MPa)

$\Psi_w$  - potencial hídrico foliar na antemanhã (MPa)

## RESUMO

KLIPPEL, Valéria Hollunder, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, junho de 2015. **Modelagem ecofisiológica de cultivos de eucalipto em regiões subtropicais do Brasil.** Orientador: Aristides Ribeiro. Coorientadores: Wagner Luiz Araújo e Carlos Alberto Martinez Y Huaman.

O sul do Brasil tem se mostrado promissor à expansão da silvicultura, como uma área de interesse para a implantação de novos plantios de eucalipto. Contudo, essa região apresenta condições climáticas bastante peculiares, com frios bem rigorosos sendo comum a ocorrência de geadas em algumas áreas. São importantes estudos com espécies de *Eucalyptus* resistentes ao frio, buscando conhecimento sobre os processos ecofisiológicos e a produtividade dos plantios dessas espécies em condições de campo, diante das diferentes variações sazonais do clima verificadas na região Sul do Brasil. Diante disso o estudo teve como objetivo avaliar a produtividade potencial e as trocas gasosas de plantios jovem e adulto de *Eucalyptus saligna* e estudar o comportamento ecofisiológico de três espécies de eucalipto de clima subtropical (*Eucalyptus saligna*, *E. dunnii* e *E. benthamii*), em diferentes períodos climáticos. Assim, um experimento foi conduzido em áreas pertencentes à Empresa CMPC, no município de Eldorado do Sul – RS. Para avaliação do comportamento ecofisiológico de plantios jovens (idades de 15, 19 e 22 meses) de *Eucalyptus saligna*, *E. dunnii* e *E. benthamii* e de plantios jovens (15 a 22 meses) e adulto (57 a 76 meses) de *Eucalyptus saligna* foram realizadas medições ecofisiológicas em julho de 2013 (período frio), novembro de 2013 (período intermediário) e fevereiro de 2014 e 2015 (período quente). A fim de parametrizar, calibrar e validar o modelo 3-PG para plantios de *Eucalyptus saligna* foram coletados, ao longo de um ciclo produtivo (12 a 103 meses), dados de inventário, biomassa da parte aérea e raiz e volume de lenho. Foram determinadas a área foliar específica (*AFE*) e a fração de galho e casca em relação à biomassa da parte aérea (*FGC*) excluindo as folhas. Foi estimado o índice de área foliar (*IAF*) e monitorada a taxa de queda de serapilheira. Com base nos parâmetros fisiológicos avaliados, nota-se melhor desempenho do *E. benthamii*, sendo este, sempre igual ou melhor que o *E. saligna* e *E. dunnii*. No entanto, o *E. saligna* apresentou maior *IAF*. Menores valores de  $\Psi_w$  verificados no período quente ocorreram devido à redução na disponibilidade hídrica, e afetaram principalmente o *E. saligna*. Menores temperaturas do ar observadas no período frio reduziram a  $\alpha$  das três espécies estudadas e favoreceram os valores da

$J_{max}$ . Com relação aos plantios jovem e adulto de *E. saligna*, maiores valores diários de  $A$  e  $E$  ocorreram no período intermediário, havendo semelhança no comportamento dos dois plantios. No período quente houve redução das médias de  $A$ ,  $g_s$  e  $E$ , sendo observados valores superiores para o plantio adulto. A redução dos parâmetros das trocas gasosas no período quente está relacionada com a maior demanda atmosférica verificada nesse período, onde foram observados maiores valores de temperatura do ar e  $DPV$ . O plantio adulto apresentou taxas de fotossíntese em luz saturante e  $A_{max}$  significativamente maiores quando comparadas ao plantio jovem, em todos os períodos climáticos considerados no estudo. Não houve fotoinibição para as espécies de eucalipto em nenhum período climático estudado. A variação da alocação de biomassa ao longo da idade para os povoamentos de *E. saligna*, acompanha a tendência geral observada para diversas espécies, onde os componentes lenho e casca aumentaram sua proporção ao longo do ciclo, e os componentes folhas, galhos e raízes diminuíram a proporção em relação a biomassa total com o passar do tempo. O incremento médio anual (IMA) sem casca aos 103 meses de idade foi de  $51 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ , muito acima da produtividade média dos plantios brasileiros de eucalipto. Os valores de  $IAF$  foram crescentes até 29 meses de idade, com posterior redução. A máxima deposição de serapilheira (60 meses) foi de  $3,07 \text{ ton ha}^{-1}$ , e as maiores quedas de serapilheira ocorrem nos meses de janeiro e fevereiro. O desempenho do modelo 3-PG foi satisfatório ao simular o crescimento de florestas de eucalipto. As estimativas obtidas pelo modelo apresentaram correlação com os dados observados, tanto na etapa de calibração, quanto na de validação.

## ABSTRACT

KLIPPEL, Valéria Hollunder, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, June, 2015. **Ecophysiological modeling of eucalyptus plantations in subtropical regions of Brazil.** Adviser: Aristides Ribeiro. Co-advisers: Wagner Luiz Araujo and Carlos Alberto Martinez Y Huaman.

The south of Brazil has shown promise for the expansion of forestry, as an area of interest for the implementation of new eucalyptus plantations. However, this region has very particular climatic conditions, with very rigorous cold is common the occurrence of frost in some areas. Are important studies with *Eucalyptus* species resistant to cold, seeking knowledge about the eco-physiological processes and productivity of plantations of these species under field conditions, given the different climate seasonal variations observed in southern Brazil. Thus the study aimed to evaluate the potential productivity and gas exchange of young adult plantations of *Eucalyptus saligna* and study the ecophysiological behavior of three species of subtropical climate of eucalyptus (*Eucalyptus saligna*, *E. benthamii* and *E. dunnii*) in different climatic periods. Thus, an experiment was conducted in areas belonging to the company CMPC, in Eldorado do Sul - RS. To evaluate the behavior of young plantings ecophysiological (ages 15, 19 and 22 months) of *Eucalyptus saligna*, *E. benthamii* and *E. dunnii* and young stands (15 to 22 months old) and adult (57 to 76 months) *Eucalyptus saligna* ecophysiological measurements were conducted in July 2013 (cold period), November 2013 (intermediary period) and February 2014 and 2015 (warm period). In order to parameterize, calibrate and validate the 3-PG model for *Eucalyptus saligna* plantations, were collected over a production cycle (12 to 103 meses), inventory data, biomass of shoot and root and volume of wood (V). They determined the specific leaf area (SLA) and the branch and bark fraction in relation to the aerial biomass (FGC) excluding the leaves. It has been estimated the leaf area index (LAI) and monitored litter fall rate. Based on the physiological parameters evaluated, there is better performance *E. benthamii*, which is always equal to or better than the *E. saligna* and *E. dunnii*. However, *E. saligna* presented the highest LAI. Hydrotime lower values recorded in the warm period occurred due to reduced water availability, and mainly affected the *E. saligna*. Lower air temperatures in the cool period reduced  $\alpha$  of the three species studied and fostered the values of  $J_{max}$ . With respect to young adult plantations of *E. saligna*, higher daily values of  $A$  and  $E$  occurred in the interim

period, there was similarity in the behavior of the two plantations. In warm period there was a reduction of mean  $A$ ,  $g_s$  and  $E$ , observed higher values for adult planting. The reduction of the parameters of gas exchange in the hot period is related to higher atmospheric demand during this period, with higher values of temperature of air and  $VPD$ . Adult planting showed rates of photosynthesis in saturating light and  $A_{max}$  significantly higher when compared to the young planting in all climatic periods considered in the study. There was no photoinhibition for the species of eucalyptus in any climatic period studied. The change in biomass allocation along the old to the stands of *E. saligna*, follows the general trend observed for several species, where the wood and bark components increased their proportion over the cycle and the components leaves, branches and roots decreased the ratio to the total biomass over time. The average annual increment (MAI) shelled to 103 months of age was  $51 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$ , well above the average productivity of Brazilian eucalyptus plantations. The  $LAI$  values were increased until 29 months of age, with subsequent reduction. The maximum deposition of litter (60 months) was  $3.07 \text{ ton ha}^{-1}$ , and the largest litter of falls occur in January and February. The performance of the model 3-PG was satisfactory to simulate the growth of eucalyptus forests. Estimates obtained by the model correlated with the observed data, both the calibration stage and in validation.

## INTRODUÇÃO GERAL

A partir de 1966, com a criação do programa nacional de incentivos fiscais, o eucalipto passou a ser plantado em grande escala no Brasil. Desde então, a área plantada saltou de 400 mil hectares, existentes antes de 1966 (TONINI et al., 2006), para os atuais 5,56 milhões de hectares (IBÁ, 2015).

O cultivo de espécies arbóreas no Brasil surgiu para suprir a falta de madeira, principalmente nas regiões Sul e Sudeste. Concentrada próximo aos grandes centros urbanos e industriais, esta atividade tem desempenhado um importante papel no atendimento da demanda, cada vez maior, por energia e produtos a base de madeira, permitindo diminuir o uso de materiais nobres e a pressão de exploração sobre os remanescentes florestais (SILVA, 2012). Além disso, a atividade ganhará mais importância, por conta dos compromissos do Brasil de redução dos gases de efeito estufa. As árvores plantadas terão papel de destaque no cumprimento das metas nacionais (IBÁ, 2015).

O sucesso global da indústria brasileira de base florestal é resultado da alta produtividade dos plantios florestais. Em 2014, o Brasil manteve mais uma vez sua liderança no ranking global de produtividade florestal. A produtividade média dos plantios brasileiros de eucalipto atingiu  $39 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ , bem acima da produtividade de plantios de eucalipto realizados em países como: EUA ( $15 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ ), África do Sul ( $18 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ ), Chile ( $20 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ ), Austrália ( $22 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ ), China ( $23 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ ). Historicamente, as empresas brasileiras do setor de florestas priorizaram a manutenção de investimentos em pesquisas e desenvolvimento, buscando primordialmente a melhoria da genética dos plantios e das técnicas de manejo florestal (IBÁ, 2015). Em algumas regiões do Brasil a produtividade dos plantios de eucalipto supera  $50 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$  (BAESSO et al., 2010; BASSA et al., 2007).

A alta produção de madeira é muito sensível à disponibilidade de recursos naturais como luz, água e nutrientes (LITTON et al., 2007) e, portanto, características que afetam a captura e o uso destes recursos pelas árvores influenciam diretamente no crescimento das plantas (ACKERLY et al., 2000).

Segundo Otto et al. (2013), identificar quando a temperatura, a quantidade de luz, e o suprimento de água são fatores limitantes para o crescimento das plantas é essencial para entender como o estresse imposto às mesmas pode ser amenizado.

O sul do Brasil tem se mostrado promissor à expansão da silvicultura, como uma área de interesse para a implantação de novos plantios de eucalipto devido à rusticidade e adaptabilidade da espécie às diferentes condições edafoclimáticas, além de ser usada como matéria-prima para a produção de diversos produtos como celulose, carvão, lenha, madeira serrada, entre outros (PREVEDELLO et al., 2014). No entanto, ainda existem certas limitações, em especial, devido à ocorrência de temperaturas baixas e geadas frequentes. Estudos relacionados à ocorrência dessas temperaturas extremas ( $-8^{\circ}\text{C}$  no inverno e  $40^{\circ}\text{C}$  no verão), quando comparada com as condições climáticas brasileiras, são importantes para o desenvolvimento dos plantios nessas áreas, e para que essa expansão ocorra de forma responsável.

Ao analisar os intervalos climáticos aos quais a espécie é adaptada, é importante examinar não apenas os padrões de crescimento em relação à temperatura média, mas também a sua capacidade em resistir a extremos em várias etapas de crescimento (LANDSBERG e SANDS, 2011).

O aumento da demanda de plantações florestais e a busca pelo incremento da produtividade, nos direciona à necessidade do conhecimento da ecofisiologia das espécies e da limitação dos recursos naturais no seu crescimento (STAPE, 2004).

A produtividade de uma floresta tem, como bases, a capacidade fotossintética, o índice de área foliar, a respiração, os padrões de alocação de carbono na planta, o uso e a eficiência dos recursos disponíveis (STAPE et al., 2004; RYAN et al., 2010).

A absorção da luz pelas folhas é o fundamento de toda a produção florestal. O crescimento das árvores e plantios depende, em parte, da quantidade de radiação solar interceptada pelas folhas do dossel, mas também da eficiência da conversão dessa radiação absorvida em biomassa, e a alocação de fotoassimilados para vários tecidos (BINKLEY et al., 2013; CHAVES et al., 2007).

O uso eficiente da absorção da irradiância solar global para os processos fisiológicos é um fator crucial para o crescimento e desenvolvimento em ecossistemas florestais, sendo que, é a principal fonte de energia para processos físicos, químicos e biológicos das árvores (CHAVES et al., 2007; LEUCHNER et al., 2007).

O índice de área foliar (IAF) é uma variável biofísica que apresenta estreita relação com a produtividade de uma comunidade vegetal (GOWER et al., 1999; LANG e MCMURTRIE, 1992; XAVIER e VETTORAZZI, 2003), sendo muito utilizada como parâmetro de entrada em modelos relacionados à evapotranspiração, à simulação dos ciclos de carbono e de água e à produtividade florestal (RODRIGUEZ et al., 2009).

O monitoramento periódico das variações sazonais e diurnas das trocas gasosas, da fluorescência da clorofila *a* e do potencial hídrico foliar pode ser associado às variações climáticas e edáficas, servindo como importante ferramenta para a compreensão de como determinada espécie ou determinado genótipo utiliza os recursos disponíveis do ambiente e de como as flutuações sazonais destes recursos afetam a produtividade primária das plantas (RYAN et al., 2010, OTTO et al., 2013).

A fotossíntese depende, entre outros fatores, da temperatura, da concentração de CO<sub>2</sub> no sítio de carboxilação, da radiação absorvida, e das características bioquímicas (DE PURY e FARQUHAR, 1997). Farquhar et al. (1980) estabeleceram um modelo de fotossíntese baseado nas características bioquímicas que influenciam as trocas gasosas em plantas, e inclui a atividade da Ribulose-1,5-Bifosfato carboxilase-oxigenase ( $V_{c-max}$ ) e a taxa de regeneração da Ribulose 1,5-Bifosfato via transporte de elétrons ( $J_{max}$ ). A partir dessas duas variáveis, é possível quantificar a ação dos fatores externos e internos da planta sobre os componentes da fotossíntese e, conseqüentemente, a produtividade líquida de uma floresta.

O entendimento dos fatores que influenciam as respostas fisiológicas dos plantios de eucalipto pode, dessa forma, ajudar no planejamento e localização dos plantios e na seleção de genótipos. Além disso, a obtenção de dados sobre a capacidade fotossintética das plantas é uma importante ferramenta para modelos baseados em processos que necessitam de informações fisiológicas para a predição do crescimento e uso da água de diferentes genótipos (OTTO et al., 2013).

Modelos baseados em processos descrevem a produtividade florestal associada a processos ecofisiológicos que controlam o crescimento (fotossíntese, alocação de biomassa, respiração, transpiração, nutrição e queda de folhas e galhos) (BAESSO et al., 2010).

Dentre os diversos modelos existentes, o 3-PG (*Physiological Principles in Predicting Growth*), desenvolvido por Landsberg e Waring (1997), é um modelo baseado em processos que utilizam princípios fisiológicos para estimar a produtividade de povoamentos florestais equiâneos. O uso de modelos de crescimento como o 3-PG permite a avaliação dos riscos da variação climática e a identificação de novas áreas aptas ao plantio florestal.

A mensuração dos processos de fotossíntese e condutância estomática em plantas é comumente efetuada em casa de vegetação (INOUE et al., 1998; GRASSI et al., 2002, PEREIRA Et al., 2006; VELLINI et al., 2008; TATAGIBA et al., 2008), onde as

condições ambientais são controladas. Porém, em campo, o comportamento da árvore se diferencia, devido ao seu grande porte, à competição pelos recursos naturais tais como luz, água e nutrientes, e também por estar sujeita a condições adversas que acarretem em déficit hídrico, tais como baixa umidade relativa do ar ou altas temperaturas do ar (LARCHER, 2006).

Estudos realizados no campo diferem de estudos realizados no laboratório em razão, principalmente, da maior demanda evaporativa e maior variação climática em condições de campo. Ou seja, estudos cuja escala é a planta toda representam o melhor nível para integrar condições ambientais e respostas fisiológicas (GRANIER e TARDIEU, 1998; LARCHEVEQUE et al., 2011; RYAN, 2011).

Diante disso, os estudos sobre as interações planta-ambiente em campo devem ser realizados visto que a planta é impactada nos seus processos pela exposição e sensibilidade da sua resposta ao meio. Essas interações têm sido avaliadas em plantios florestais do Brasil por diversos pesquisadores. Tatagiba et al. (2015) verificaram, em plantio clonal de eucalipto (híbrido *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus Urophylla*) com idade de 30 a 36 meses na região de Itauninhas, distrito do município de São Mateus - ES, que a deficiência hídrica encontrada na estação seca foi suficiente para diminuir o teor de água nos tecidos vegetais das plantas, provocando redução da condutância estomática e, conseqüentemente, queda na taxa fotossintética e na transpiração. A menor abertura estomática durante estação seca contribuiu para queda na assimilação de carbono, diminuindo a produtividade potencial das plantas.

Reis (2014) e Rody (2013) estudaram povoamentos clonais de eucalipto (híbrido *Eucalyptus grandis*) jovem e adulto no município de Brasilândia - MS, observaram valores de fotossíntese líquida, transpiração e condutância estomática sempre maiores nos cultivos de eucalipto jovem quando comprado ao adulto, devido ao rápido crescimento e altas taxas de atividades metabólicas evidenciadas nesta idade.

Em estudo realizado por Baesso et al. (2010) na região norte do Espírito Santo e sul da Bahia, notaram que as mudanças futuras no clima provocaram decréscimos na produtividade de eucalipto.

Stape et al. (2010) e Ryan et al. (2010), buscando definir os patamares da produtividade do *Eucalyptus* no Brasil e os fatores que a controlam (Produtividade Potencial do *Eucalyptus* no Brasil - BEPP, [www.ipef.br/bepp](http://www.ipef.br/bepp)), estudaram oito clones em oito locais do Brasil, e concluíram que na escala do povoamento a produtividade florestal é dependente da disponibilidade hídrica e da uniformidade de tamanho entre árvores.

Carneiro et al. (2008) estudaram povoamentos clonais de híbridos de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*, com 14 meses após o plantio no município de Belo Oriente, Estado de Minas Gerais. Os autores observaram que a condutância estomática dos plantios jovens sofreu variação sazonal entre os períodos úmido e seco, a qual foi relacionada com algumas variáveis ambientais e umidade do solo.

Reis et al. (2006), avaliando o comportamento de clones de híbridos de *Eucalyptus grandis* x *E. urophylla* e de *E. camaldulensis* x *E. spp* submetidos a dois regimes de irrigação no campo, observaram que o crescimento em altura, aos 38 meses de idade, não variou significativamente entre os tratamentos de irrigação, enquanto em diâmetro e volume foram significativamente superiores nas plantas do tratamento irrigado em relação ao não irrigado.

Existem poucos estudos sobre interações planta-ambiente na região Sul do Brasil. Além disso, as espécies de eucalipto comumente plantadas nessa região, são de regiões de clima temperado à subtropical, diferentemente das espécies ou híbridos utilizados em outros locais do País. Se por um lado, as chuvas no estado do Rio Grande do Sul são bem distribuídas ao longo dos meses, por outro, o período de maior demanda evapotranspirativa (novembro a fevereiro) coincide com a época em que se observa totais de chuva menores. Outro fato climático que diferencia a região sul é a intensidade do resfriamento verificado no inverno, sendo este coincidente com os maiores totais de chuva, impondo até mesmo insuficiência de irradiância solar para manter a fotossíntese potencial. Nesse sentido, torna-se evidente a necessidade de se avançar nos estudos sobre os processos ecofisiológicos que determinam a produtividade dos plantios de eucalipto em condições de campo, cobrindo as diferentes épocas sazonais na região Sul do Brasil.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ACKERLY, D.D.; DUDLEY, S.A.; SULTAN, S.E.; SCHMITT, J.; COLEMAN, J.S.; LINDER, C.R.; SANDQUIST, D.R.; GEBER, M.A.; EVANS, A.S.; DAWSON, T.E.; LECHOWICZ, M.J. The evolution of plant ecophysiological traits: recent advances and future directions. *BioScience*, Washington, v. 50, n. 11, p. 979-995, 2000.
- BAESSO, R. C. E.; RIBEIRO, A.; SILVA, M. P. Impacto das mudanças climáticas na produtividade do eucalipto na região Norte do Espírito Santo e Sul da Bahia. *Ciência Florestal*, Santa Maria, v. 20, n. 2, p. 335-344, 2010.
- BASSA, A. G. M. C.; SILVA JUNIOR, F. G.; SACON, V. M. Misturas de madeira de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* e *Pinus taeda* para produção de celulose kraft através do Processo Lo-Solids®. *Scientia Forestalis*, Piracicaba, n. 75, p. 19-29, 2007.
- BINKLEY, D.; CAMPOE, O. C.; GSPALTL, M.; FORRESTER, D. I. Light absorption and use efficiency in forests: Why patterns differ for trees and stands. *Forest Ecology and Management*, v. 288, p. 5–13, 2013.
- CARNEIRO, R. L. C.; RIBEIRO, A.; HUAMAN, C. A. M.; LEITE, F. P.; SEDIYAMA, G. C.; BARROS, N. F. Consumo de água em plantios de eucalipto - Parte 1: Determinação da condutância estomática em tratamentos irrigados e não irrigados. *Revista Árvore*, Viçosa, v. 32, p. 1-10, 2008.
- CHAVES, R. A.; REIS, M. G. F.; REIS, G. G.; PEZZOPANE, J. E. M.; XAVIER, A.; MONTE, M. A. Dinâmica de cobertura de dossel de povoamentos de clone de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex-Maiden submetidos a desrama artificial e desbaste. *Revista Árvore*, Viçosa, v. 31, n. 6, p. 989-998, 2007.
- DE PURY, D. G. G.; FARQUHAR, G. D. Simple scaling of photosynthesis from leaves to canopies without the errors of big-leaf models. *Plant, Cell and Environment*, Oxford, v. 20, p. 537-557, 1997.
- FARQUHAR, G.D.; VON CAEMMERER, S.; BERRY, J.A. A biochemical model of photosynthetic CO<sub>2</sub> assimilation in leaves of C<sub>3</sub> plants. *Planta*, Berlin, v. 149, p. 78-90, 1980.
- GOWER, S. T.; KUCHARIK, C. J.; NORMAN, J. M. Direct and indirect estimation of leaf area index,  $f_{APAR}$ , and net primary production of terrestrial ecosystems. *Remote Sensing of Environment*, New York, v. 70, p. 29-51, 1999.
- GRANIER, C.; TARDIEU, F. Spatial and temporal analyses of expansion and cell cycle in sunflower leaves. A common pattern of development for all zones of a leaf and different leaves of a plant. *Plant Physiology*, v.116, n.3, p.991-1001, 1998.
- GRASSI, G.; MEIR, P.; CROMER, R.; TOMPKINS, D.; JARVIS, P.G. Photosynthetic parameters in seedlings of *Eucalyptus grandis* as affected by rate of nitrogen supply. *Plant, Cell & Environment*, Oxford, v. 25, n. 12, p. 1677-1688, 2002.
- IBÁ – Indústria Brasileira de Árvores. Relatório 2015. Ano base 2014. Brasília, 2015.

INOUE, M. T.; RIBEIRO, F. A. Fotossíntese e transpiração de clones de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna*. IPEF, Piracicaba, n. 40, p. 15-20, 1988.

LANDSBERG, J. J.; WARING, R. H. A generalized model of forest productivity using simplified concepts of radiation-use efficiency, carbon balance and partitioning. *Forest Ecology and Management*, v. 95, p. 209-228, 1997.

LANDSBERG, J.; SANDS, P. *Physiological ecology of forest production: principles, processes, and models*. Amsterdam: Elsevier. Academic Press, ed. 1, v.4, 331 p., 2011.

LANG, A. R. G.; MCMURTRIE, R. E. Total leaf areas of single trees of *Eucalyptus grandis* estimated from transmittances of the sun's beam. *Agricultural and Forest Meteorology*, Amsterdam, v. 58, p. 79-92, 1992.

LARCHER, W. *Ecofisiologia vegetal*. São Carlos: RiMa, 550 p., 2006.

LARCHEVEQUE, M.; MAUREL, M.; DESROCHERS, A.; LAROCQUE, G. R. How does drought tolerance compare between two improved hybrids of balsam poplar and an unimproved native species? *Tree Physiology*, v.31, n.3, p.240-249, 2011.

LEUCHNER, M.; HERTEL, C.; MENZEL, A. Spatial variability of photosynthetically active radiation in European beech and Norway spruce. *Revista Agricultural and Forest Meteorology*, v. 151, p. 1226 – 1232, 2011.

LITTON, C. M.; RAICH, J.W.; RYAN, M.G. Carbon allocation in forest ecosystems (review article). *Global Change Biology*, Oxford, v. 13, p. 2089-2109, 2007.

OTTO, M. S. G.; VERGANI, A. R.; GONÇALVES, N. A.; VRECHI, A.; SILVA, R. S.; STAPE, J.S. Fotossíntese, condutância estomática e produtividade de clones de *Eucalyptus* sob diferentes condições edafoclimáticas. *Revista Árvore*, Viçosa, v. 36, n. 3, p. 431-439, 2013.

PEREIRA, M. R. R.; KLAR, A. E.; SILVA, M. R.; SOUZA, R. A.; FONSECA, N. R. Comportamento fisiológico e morfológico de clones de *Eucalyptus urograndis* submetidos a diferentes níveis de água no solo. *Irriga*, Botucatu, v. 11, n. 4, p. 518-531, 2006.

PREVEDELLO, J.; VOGELMANN, E. S.; KAISER, D. R.; FONTANELA, E.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M. Agregação e matéria orgânica de um argissolo sob diferentes preparos do solo para plantio de Eucalipto. *Pesquisa Florestal Brasileira*, Colombo, v. 34, n. 78, p. 149-158, 2014.

REIS, G. G.; REIS, M. G. F.; FONTAN, I. C. I.; MONTE, M. A.; GOMES, N. A.; OLIVEIRA, C. H. R. Crescimento de raízes e da parte aérea de clones de híbridos de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* e de *Eucalyptus camaldulensis* x *Eucalyptus* spp submetidos a dois regimes de irrigação no campo. *Revista Árvore*, Viçosa, v. 30, p. 921-931, 2006.

REIS, M. G. R. Partição da radiação fotossinteticamente ativa e trocas gasosas em cultivos de eucalipto e Cerrado. 2014. 56 f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia Agrícola) – Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2014.

RODRÍGUEZ, R.; REAL, P.; ESPINOSA, M.; PERRY, D. A. A process-based model to evaluate site quality for *Eucalyptus nitens* in the Bio-Bio Region of Chile. *Forestry*, Oxford, v. 82, n. 2, p. 149-162, 2009.

RODY, Y. P. Balanço de carbono e trocas gasosas nos diferentes compartimentos em plantios de eucalipto. 2013. 97 f. Tese (Doutorado em Meteorologia Agrícola) – Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2013.

RYAN, M. G. Tree responses to drought. *Tree Physiology*, v.31, n.3, p.237-239, 2011.

RYAN, M. G.; STAPE, J. L.; BINKLEY, D.; FONSECA, S.; LOOS, R. A.; TAKAHASHI, E. N.; SILVA, C. R.; SILVA, S. R.; HAKAMADA, R. E.; FERREIRA, J. M.; LIMA, A. M. N.; GAVA, J. L.; LEITE, F. P.; ANDRADE, H. B.; ALVES, J. M.; SILVA, G. G. C. Factors controlling *Eucalyptus* productivity: How water availability and stand structure alter production and carbon allocation. *Forest Ecology and Management*, Amsterdam, v. 259, p. 1695-1703, 2010.

SILVA, M. D. Os cultivos florestais do Pampa, no Sul do Rio Grande do Sul: desafios, perdas e perspectivas frente ao avanço de novas fronteiras agrícolas. *Floresta*, Curitiba, PR, v. 42, n. 1, p. 215 - 226, 2012.

STAPE, J. L.; BINKLEY, D.; RYAN, M. G.; FONSECA, S.; LOOS, R.; TAKAHASHI, E. N.; SILVA, C. R.; SILVA, S.; HAKAMADA, R. E.; FERREIRA, J. M.; LIMA, A. M.; GAVA, J. L.; LEITE, F. P.; SILVA, G.; ANDRADE, H.; ALVES, J. M. The Brazil *Eucalyptus* potential productivity project: influence of water, nutrients and stand uniformity on wood production. *Forest Ecology and Management*, Amsterdam, v. 259, p. 1686–1694, 2010.

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

TATAGIBA, S. D.; PEZZOPANE, J. E. M.; REIS, E. F. Fotossíntese em *Eucalyptus* sob diferentes condições edafoclimáticas. *Engenharia na agricultura*, Viçosa - MG, v. 23, n. 4, 2015.

TONINI, H.; SCHNEIDER, P. R.; FINGER, C. A. G. Curvas de índice de sítio para povoamentos clonais de *Eucalyptus saligna* Smith para a Depressão Central e Serra do Sudeste, Rio Grande do Sul. *Ciência Florestal*, v. 16, n. 1, 2006.

VELLINI, A. L. T. T.; PAULA, N. F.; ALVES, P. L. C. A.; PAVANI, L. C.; BONINE, C. A. V.; SCARPINATI, E. A.; PAULA, R. C. Respostas fisiológicas de diferentes clones de eucalipto sob diferentes regimes de irrigação, *Revista Árvore*, v.32, n.4, p.651-663, 2008.

XAVIER, A. C.; VETTORAZZI, C. A. Índice de área foliar de coberturas em uma microbacia hidrográfica subtropical. *Scientia Agrícola*, Piracicaba, v. 60, n. 3, p. 425-431, 2003.

## CAPITULO I

### **Ecofisiologia de plantios jovens de eucalipto saligna, benthamii e dunnii em regiões Subtropicais do Brasil**

#### **RESUMO**

O estudo teve como objetivo estudar as respostas ecofisiológicas a disponibilidade de recursos naturais de três espécies de eucalipto com potencial produtivo e tolerância a geada na Região Sul do Brasil. O experimento foi conduzido em área pertencente à Empresa CMPC, no município de Eldorado do Sul – RS, onde um experimento foi instalado em abril de 2012, com três clones de espécies comerciais de eucalipto (*Eucalyptus saligna*, *E. dunnii* e *E. benthamii*). Parcelas com 1350 m<sup>2</sup> (10 linhas e 15 plantas por linha) em espaçamento de 3,0 x 3,0 m dos três materiais genéticos foram implantadas, tendo um total de 150 plantas em cada parcela para cada espécie avaliada. No centro de cada parcela foram escolhidas quatro árvores onde, utilizando andaimes para acessar o dossel médio, foram realizadas medições de curvas *A/RFA* - fotossíntese (*A*) versus radiação fotossinteticamente ativa (*RFA*), curvas *A/Ci* - fotossíntese (*A*) versus concentração interna (*Ci*) de CO<sub>2</sub>, valores da eficiência quântica máxima do fotossistema II ou relação *Fv/Fm*, potencial hídrico foliar na antemanhã ( $\Psi_w$ ). Também foi estimado o índice de área foliar (*IAF*) e calculado a eficiência quântica ( $\alpha$ ), fotossíntese máxima (*A<sub>max</sub>*), velocidade máxima de carboxilação da Rubisco (*V<sub>c-max</sub>*) e a taxa de transporte de elétrons (*J<sub>max</sub>*). Os dados foram coletados em julho de 2013 (período frio), novembro de 2013 (período intermediário) e fevereiro de 2014 (período quente), respectivamente, com idades de 15, 19 e 22 meses. *E. benthamii* apresentou as maiores taxas de fotossíntese em luz saturante em comparação com os outros materiais genéticos em todas os períodos climáticos considerados no estudo. *A<sub>max</sub>* foi maior no período intermediário para as três espécies (28,78; 23,27 e 19,00  $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ , respectivamente, para *E. benthamii*, *E. saligna* e *E. dunnii*) e não foram observadas diferenças entre as médias do *E. benthamii* e *E. dunnii* ao longo dos períodos climáticos estudados. Maiores valores de  $\alpha$  foram observados para o plantio jovem de *E. saligna* no período intermediário. Menores temperaturas observadas no período frio reduziram a  $\alpha$  das três espécies estudadas. Contudo, favoreceram os valores da *J<sub>max</sub>*. Somente houve diferença da *V<sub>c-max</sub>* entre as espécies de eucalipto no período intermediário, onde maior média foi observada no *E. dunnii* em relação ao *E. saligna* e *E. benthamii*. Não houve fotoinibição para as espécies

de eucalipto em nenhum período climático (relação  $F_v/F_m$  variaram de 0,788 a 0,844). Com base nos parâmetros fisiológicos avaliados, nota-se melhor desempenho do *E. benthamii*, sendo este, sempre igual ou melhor que o *E. saligna* e *E. dunnii*. No entanto, o *E. saligna* apresentou maior  $IAF$ . Menores valores de  $\Psi_w$  verificados no período quente ocorreram devido à redução na disponibilidade hídrica, e afetaram principalmente o *E. saligna*.

**Palavras-chave:** *Eucalyptus*, fotossíntese, eficiência quântica, velocidade máxima de carboxilação da Rubisco, taxa máxima de transporte de elétrons.

## 1. Introdução

O reflorestamento de grandes áreas torna-se cada dia mais necessário em consequência da crescente demanda por produtos e subprodutos florestais (PINTO et al., 2004). O gênero *Eucalyptus* oferece diversas vantagens em comparação a outras espécies florestais (BAESSO et al. 2010), apresentando alta produtividade e adaptabilidade a diferentes condições de solo e clima (GONÇALVES et al., 2002). A manutenção de uma alta produtividade florestal depende da disponibilidade de recursos naturais como luz, água e nutrientes (LITTON et al., 2007).

O crescimento previsto da indústria nacional de celulose irá demandar estudos de espécies de *Eucalyptus* resistentes ao frio, para plantios nos estados da Região Sul do Brasil, que apresentam condições climáticas bastante peculiares, com frios bem rigorosos sendo comum a ocorrência de geadas em algumas áreas (ALVES et al., 2011).

De acordo com Higa et al. (1997), muitas espécies do gênero *Eucalyptus* crescem naturalmente em regiões de geadas severas. No entanto, poucas espécies deste gênero são indicadas para plantios em regiões susceptíveis às geadas severas no Brasil. Esse comportamento deve-se ao fato da temperatura nas áreas de ocorrência natural das espécies diminuírem gradativamente no frio, permitindo a sua adequação fisiológica a condição de estresse térmico, em contraste do observado em áreas de altitude das Regiões Sul e Sudeste do Brasil, onde as temperaturas caem abruptamente e as plantas não têm tempo para se aclimatarem às geadas.

O *Eucalyptus saligna* Smith é uma das espécies mais plantadas no estado do Rio Grande do Sul devido à alta capacidade produtiva nessa região. No entanto, é susceptível a eventos de geada (LIMA et al. 2011, SANTOS et al., 2013). Onde as temperaturas baixas e a ocorrência de geadas têm sido os principais fatores limitantes da sobrevivência e do crescimento do eucalipto, espécies como *Eucalyptus dunni* Maiden e *Eucalyptus benthamii* Maiden e Cabbage vêm se destacando em função da tolerância à geada (PALUDZYSZYN FILHO et al., 2006; LIMA et al. 2011; ALVES et al., 2011, SANTOS et al., 2012).

São poucas as áreas de plantio ao redor do mundo com *Eucalyptus benthamii* e, conseqüentemente, há carência de informações mais detalhadas sobre a espécie (ALVES et al., 2011).

É necessário ter um equilíbrio entre o potencial produtivo dos materiais genéticos e sua tolerância a eventos extremos, verificados ocasionalmente, para que a

sustentabilidade econômica do setor florestal seja viabilizada. Nesse sentido, o estudo das respostas produtivas as condições ambientais, dos diferentes materiais com potencial para ser incluído nessas regiões, são importantes.

Com a expansão do setor florestal o plantio de florestas homogêneas se tornou cada vez mais comum em várias partes do Brasil nas décadas de 70 e 80. O gênero *Eucalyptus* foi amplamente utilizado na formação de maciços florestais, principalmente, na região Sudeste. Na região Sul do país, inicialmente foram utilizadas espécies de pinus em função das características climáticas específicas dessa região. No entanto, a produtividade dos plantios de pinus ( $20$  e  $30 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ ) era inferior ao que era observado em plantios de eucalipto (de  $40$  a  $50 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ ) (BASSA et al., 2007). Além disso, a qualidade da fibra dessas espécies é diferente. De acordo com Oliveira et al. (1981), as fibras curtas, como do Eucalipto, geram papéis com melhor formação e maior lisura, mas, baixa resistência ao rasgo. Já as fibras longas, como a de Pinus, produzem papéis com melhor resistência mecânica, e de folha úmida.

Diante da crescente competitividade do setor florestal e a busca por aumento da produtividade, espécies de eucalipto de clima subtropical foram inseridas na região Sul do Brasil. Contudo, eventos de geada ocorridos nos anos de 2012 e 2013 nessa região, onde as temperaturas do ar chegaram a  $-8^\circ\text{C}$ , causaram grandes prejuízos, levando as empresas desse setor a buscarem materiais tolerantes a geada e com boa produtividade. Portanto, esse estudo teve como objetivo estudar as respostas ecofisiológicas a disponibilidade de recursos naturais de três espécies de eucalipto com potencial produtivo e tolerância a geada na Região Sul do Brasil.

## **2. Material e métodos**

### **2.1. Caracterização da área de estudo**

A área de estudo pertence a Empresa CMPC, localizada no Horto Florestal Terra Dura, no município de Eldorado do Sul, região fisiográfica da Depressão Central do estado do Rio Grande do Sul, situado na latitude  $30^\circ 11' 15''\text{S}$  e longitude  $51^\circ 37' 36''\text{W}$ , e altitude de 115 metros.

O clima da região segundo a classificação de Köppen é subtropical úmido, do tipo Cfa, com estações de verão e inverno bem definidas, precipitação bem distribuída ao longo do ano e inexistência de estação seca definida. A precipitação total média anual é

de 1440 mm e a temperatura média anual do ar de 19,6 °C, com temperaturas máxima e mínima média anual de 25,3 °C e 15,6 °C, respectivamente, de acordo com as normais climatológicas do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET).

O solo foi classificado como Argissolo Vermelho distrófico típico (SILVA et al., 2012; BRUN et al., 2013; VIERA et al., 2014).

O estudo foi conduzido em um experimento instalado em abril de 2012, com três clones de espécies comerciais de eucalipto (*Eucalyptus saligna*, *E. dunnii* e *E. benthamii*). Parcelas com 1350 m<sup>2</sup> (10 linhas e 15 plantas por linha) em espaçamento de 3,0 x 3,0 m dos três materiais genéticos foram implantadas, tendo um total de 150 plantas em cada parcela para cada espécie avaliada.

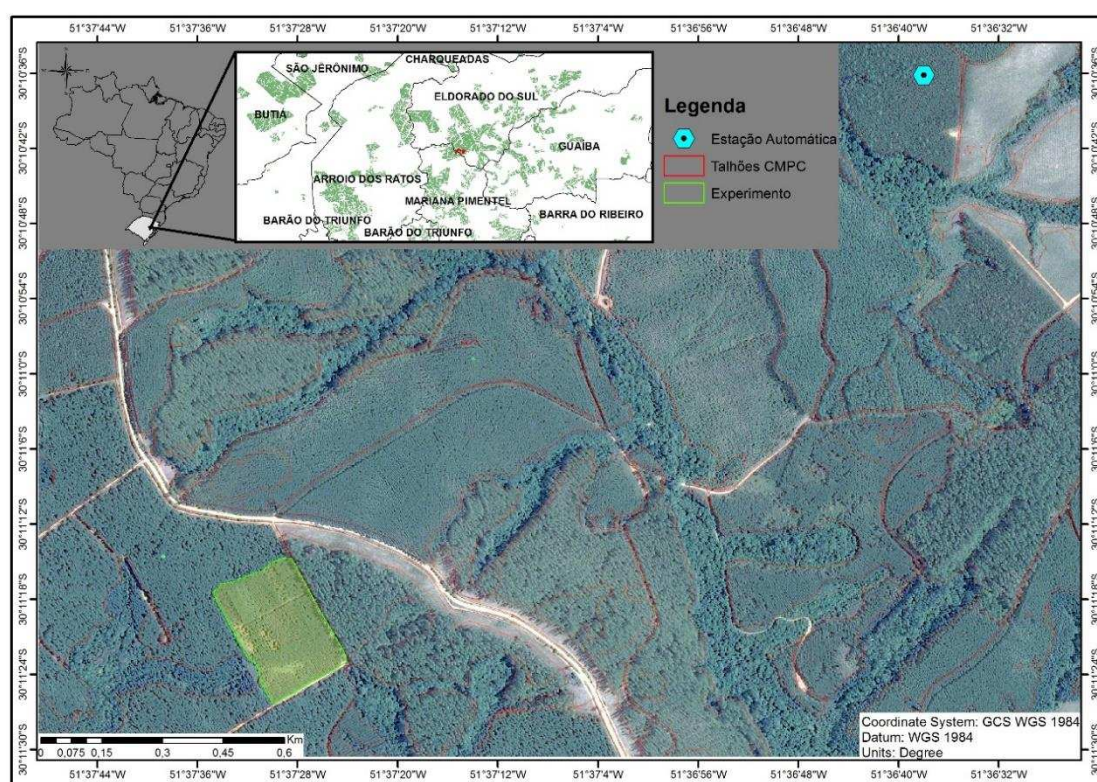


Figura 1. Localização da área de estudo: parcelas do experimento com as espécies de eucalipto (*Eucalyptus saligna*, *E. dunnii* e *E. benthamii*) e estação automática micrometeorológica, município de Eldorado do Sul – RS.

O preparo da área teve início com a subsolagem do solo na profundidade de 50 cm seguido com aplicação de calcário (2 Mg ha<sup>-1</sup>) e fosfato reativo (200 kg ha<sup>-1</sup>) no sulco. Posteriormente, ocorreu o plantio das mudas com adubação de 100 g planta<sup>-1</sup> de NPK (06: 30: 06). Aplicou-se herbicida aos 18 e 120 dias após o plantio para evitar a competição

com plantas invasoras. Foram realizadas adubações de cobertura no terceiro e 12º mês após o plantio com a aplicação de 150 g planta<sup>-1</sup> de NPK (15:05:30).

## 2.2. Condições experimentais

No centro de cada parcela das espécies de eucalipto estudadas (*Eucalyptus saligna*, *E. dunnii* e *E. benthamii*) foram escolhidas quatro árvores onde, a partir dos 15 meses de idade, foram instalados andaimes para medição das curvas *A/RFA* - fotossíntese (*A*) versus radiação fotossinteticamente ativa (*RFA*), curvas *A/Ci* - fotossíntese (*A*) versus concentração interna (*Ci*) de CO<sub>2</sub>, valores da eficiência quântica máxima do fotossistema II ou relação *Fv/Fm*, utilizando a câmara de folha com 2 cm<sup>2</sup> do equipamento LI-6400XT (Licor Biosciences, Nebraska-EUA). Os andaimes também foram utilizados para coleta de folhas a fim de analisar o potencial hídrico foliar na antemanhã ( $\Psi_w$ ) usando uma bomba de Pressão de Scholander (Modelo 615, PMS Instrument Company) (SCHOLANDER et al., 1965). A localização dos andaimes no centro das quatro árvores permitiu acesso ao dossel médio, possibilitando amostrar os quadrantes das quatro diferentes exposições das folhas à radiação solar. Os dados foram coletados durante os meses de julho de 2013 (período frio), novembro de 2013 (período intermediário) e fevereiro de 2014 (período quente), respectivamente, com idades de 15, 19 e 22 meses.

Para comparação das três espécies de eucalipto estudadas, em cada período climático considerado, foram mensuradas quatro curvas *A/RFA* e quatro curvas *A/Ci* (uma curva de cada tipo para cada árvore selecionada), sendo estas obtidas no período de 8 as 11 horas da manhã (garantir menores valores de déficit de pressão de vapor (*DPV*) e máxima abertura estomática), em dois dias para cada espécie (uma manhã para cada tipo de curva). Nesses dois dias, também foram medidos o potencial hídrico antemanhã e a relação *Fv/Fm*, em quatro folhas por árvore, das 4:00 as 5:00 horas da manhã. Para as mensurações, foram eleitas folhas no dossel médio, totalmente expandidas, do quarto ao sexto par de folhas no ramo e com aspecto sadio, no lado da árvore voltado para o andaime.

As curvas de resposta à luz foram construídas em [CO<sub>2</sub>] ambiente (380  $\mu\text{mol mol}^{-1}$ ). Os valores de *A* foram registrados em valores de fluxo de fótons (*RFA*) de 2700, 2500, 2300, 2000, 1700, 1500, 1200, 1000, 800, 600, 400, 200, 150, 100, 80, 60, 40, 20 e 0  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ . A partir da curva *A/RFA* (Equação 1) foram determinados à fotossíntese

saturada por luz ( $A_{\max}$ ) e ponto de compensação por luz ( $PCR$ ). Os dados foram ajustados utilizando a equação de Prado e Moraes (1997):

$$A = A_{\max} [1 - e^{-k(RFA - PCR)}] \quad (\text{Eq. 1})$$

em que:  $A$  = fotossíntese líquida momentânea,  $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ;  $A_{\max}$  = fotossíntese líquida máxima,  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ;  $e$  = base do logaritmo natural ( $e = 2,718$ );  $k$  = constante de proporcionalidade associada à concavidade da curva ( $0,001 - 0,009$ );  $PCR$  = ponto de compensação à radiação,  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ; e  $RFA$  = radiação fotossinteticamente ativa,  $\mu\text{mol RFA m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ .

A declividade da região linear da curva de resposta fotossintética à luz representa o rendimento quântico máximo da fotossíntese, ou seja, expressa a relação entre moles de carbono assimilados e moles de fótons absorvidos. Por meio da equação 2 é possível encontrar a inclinação da curva na fase linear conhecida como eficiência quântica ( $\alpha$ ).

$$\alpha = k A_{\max} (e^{k PCR}) \quad (\text{Eq. 2})$$

em que  $\alpha$  é a eficiência quântica,  $\mu\text{mol C } \mu\text{mol}^{-1} \text{ RFA}^{-1}$ .

A curva de resposta ao  $\text{CO}_2$  (curva  $A/C_i$ ) foi gerada conforme descrito por Long e Bernacchi (2003). Inicialmente, a fotossíntese foi medida em concentração de  $\text{CO}_2$  ambiente ( $400 \mu\text{mol mol}^{-1}$ ) e fluxo de fóton mantido em nível saturante ( $1500 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ) até que foi verificado a estabilidade das medidas ( $\pm 5\%$ ). Posteriormente, os valores da concentração ambiente ( $CA$ ) foram reduzidos para concentrações de 300, 200, 100 e  $50 \mu\text{mol mol}^{-1}$ . Após atingir a menor concentração, a próxima medida foi novamente em concentração ambiente ( $400 \mu\text{mol mol}^{-1}$ ) para obter o valor de fotossíntese original. Posteriormente, a  $CA$  foi aumentada para valores de 600, 800, 1000 e  $1300 \mu\text{mol mol}^{-1}$ .

Dados da curva  $A/C_i$  foram utilizados para determinar a velocidade máxima de carboxilação da Rubisco ( $V_{c-\max}$ ) e a taxa de transporte de elétrons ( $J_{\max}$ ) calculadas segundo Long e Bernacchi (2003) e Sharkey et al. (2007), normalizados a  $25^\circ\text{C}$  utilizando as equações descritas por Medlyn et al. (1999).

Ao lado das quatro árvores selecionadas foram instalados dois tubos de PVC (linha e entrelinha) a 2,0 m de profundidade, onde foram realizadas medições de umidade do solo com o equipamento Diviner 2000 (Sentek Pty Ltda., Austrália) para mensurar a variabilidade temporal da umidade do solo.

Foi estimado o Índice de Área Foliar ( $IAF$ ) utilizando o equipamento LAI-2200 (Licor Biosciences, Nebraska-EUA) para cada período estudado. As medidas foram feitas

em todas as parcelas, a partir de médias de 20 repetições em posições da linha e na entrelinha.

Os dados meteorológicos procederam de estação automática pertencente à Empresa, localizada a aproximadamente dois km de distância das parcelas, coletados durante o período experimental (julho de 2013 a fevereiro de 2014). O registro de médias ou integrações foram feitos em intervalos de 60 minutos.

### 2.3. Análises estatísticas

Os dados foram interpretados e analisados estatisticamente num esquema de parcela subdividida no tempo 3 x 3, combinando três períodos climáticos (frio, intermediário e quente) e três espécies de eucalipto (*E. saligna*, *E. benthamii* e *E. dunnii*), num delineamento inteiramente casualizado, ao nível de 5% de significância, sendo realizado o teste de Tukey quando o resultado da análise de variância foi significativo para o fator ou interação estudada, sendo este também ao nível de 5% de probabilidade.

Os ajustes das curvas *A/RFA* e das curvas *A/Ci* foram realizados utilizando o *software* Origin 6.1.

As diferenças entre as curvas *A/RFA* foram avaliadas pela aplicação do teste de identidade de modelos, adotando 5% de significância.

## 3. Resultados e discussão

Como estratégia para representar a variação do comportamento dos plantios às diferentes condições ambientais adotou-se coletas em três períodos (julho de 2013, novembro de 2013 e fevereiro de 2014) e aqui nominados como períodos frio, intermediário e quente. Notou-se níveis térmicos muito diferentes entre o período quente e o frio com temperaturas extremas de 32,9 °C e 24,9 °C e de 13,1 °C e 6,8 °C, como pode ser observado na figura 2. Os valores do déficit de pressão de vapor (*DPV*) no período quente são em média duas vezes e meia maior em relação ao período frio (Figura 2).

A amplitude dos valores de temperatura média do ar e de *DPV* ao longo do dia é maior no período quente quando comparado ao período frio (Figura 2). O período intermediário apresenta valores de temperatura média do ar e de *DPV* mais próximos

daqueles observados no período quente. Contudo, a amplitude dos valores é semelhante ao período frio, sem picos de máxima as 14 horas como observado no período quente.

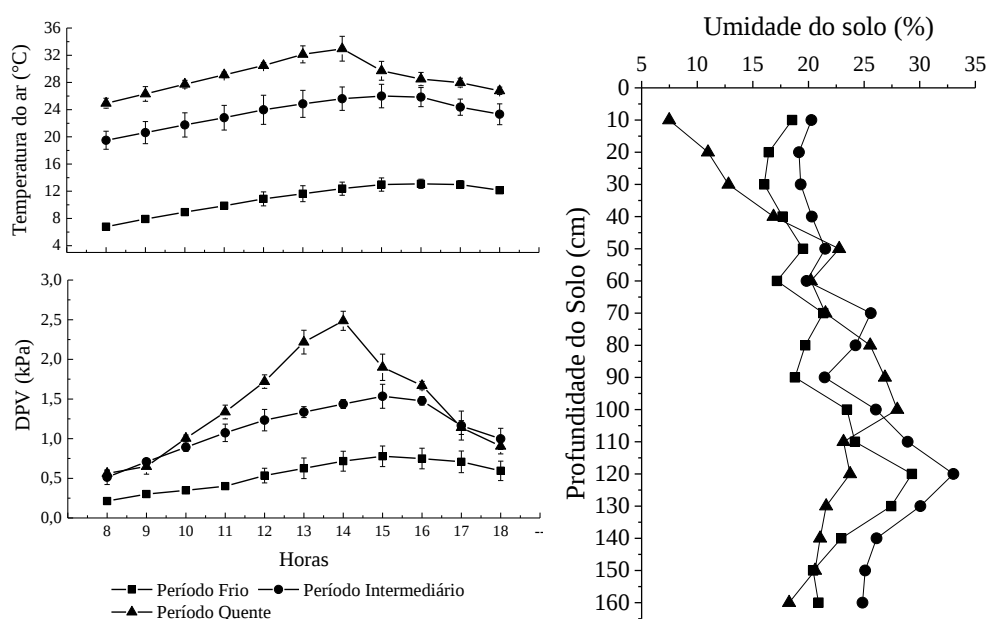


Figura 2. Caracterização do clima e da umidade volumétrica no perfil do solo, durante os períodos frio, intermediário e quente.

Analisando a variação do armazenamento de água do perfil do solo nos três diferentes períodos do ano (Figura 2), nota-se uma queda nos valores de umidade nas primeiras camadas do solo (até 30 cm) no período quente. Na idade dos plantios em que o experimento foi conduzido o sistema radicular ainda não está plenamente desenvolvido, e este explora as camadas mais superficiais do solo, indicando que este seria o local de maior absorção de água pelo sistema radicular. Carneiro et al. (2008) também observou menor umidade do solo na camada de até 30 cm, em comparação com aquelas entre 60 e 90 cm, que pode ser explicada em razão da maior concentração de raízes finas nessa camada.

O potencial hídrico foliar antemanhã ( $\Psi_w$ ) diminuiu no período quente em média 3,0; 1,9 e 1,5 vezes, respectivamente, nos plantios de *E. saligna*, *E. benthamii* e *E. dunnii* quando comparado aos demais períodos climáticos (Tabela 1). Também foi nesse período que houve diferença significativa entre os materiais estudados. Menores valores de  $\Psi_w$  foram observados no *E. saligna*, seguido do *E. benthamii* e menores valores no *E. dunnii*.

Menores valores de  $\Psi_w$  são verificados no período quente e ocorreram devido à redução na disponibilidade hídrica do solo (Figura 2). Diferenças entre estações

climáticas nos valores de potencial hídrico foliar também foram observadas por Tatagiba et al. (2015) em plantio clonal de eucalipto (híbrido *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus Urophylla*) com idade entre 30 e 36 meses, São Mateus – ES, em que o  $\Psi_w$  apresentou diferenças significativas entre as duas estações, seca (medições realizadas em julho de 2005) e chuvosa (março de 2006). Na estação chuvosa foram registrados maiores valores de  $\Psi_w$  (-3,89 MPa), em relação à estação seca (-1,99 MPa).

Tatagiba et al. (2008), estudando as relações hídricas e das trocas gasosas em quatro clones de eucalipto submetidos a três diferentes manejos de irrigação, em Jerônimo Monteiro – ES, verificaram que o déficit hídrico promoveu redução nos valores de  $\Psi_w$ , registrando valores de -1,83 a -1,03 MPa. Em estudo realizado por Valadares et al. (2014), avaliando cinco híbridos de *Eucalyptus grandis* x *E. urophylla* submetidos a quatro regimes de irrigação, em casa de vegetação, Jaboticabal – SP, observaram redução de 96 e 103% no  $\Psi_w$ .

Tabela 1. Potencial hídrico foliar na antemanhã (MPa) médio para plantios jovens de *Eucalyptus saligna*, *E. benthamii* e *E. dunnii*, em diferentes períodos climáticos (frio, intermediário e quente), em Eldorado do Sul, RS.

| Período   | Idade (meses) | <i>E. saligna</i> |                     | <i>E. benthamii</i> |                     | <i>E. dunnii</i> |                     |
|-----------|---------------|-------------------|---------------------|---------------------|---------------------|------------------|---------------------|
| Frio      | 15            | -0,182            | ( $\pm 0,036$ ) A a | -0,206              | ( $\pm 0,034$ ) A a | -0,191           | ( $\pm 0,052$ ) A a |
| Intermed. | 19            | -0,215            | ( $\pm 0,025$ ) A a | -0,190              | ( $\pm 0,019$ ) A a | -0,217           | ( $\pm 0,022$ ) A a |
| Quente    | 22            | -0,623            | ( $\pm 0,055$ ) B c | -0,375              | ( $\pm 0,027$ ) B b | -0,321           | ( $\pm 0,011$ ) B a |

As médias seguidas pela mesma letra maiúscula, na coluna, e mesma letra minúscula, na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Valores entre parênteses são os desvios padrão.

Crous et al. (2011), estudando plantios de *Eucalyptus saligna* (18 a 22 meses de idade), em Richmond, NSW, Austrália, caracterizado por um clima temperado húmido (precipitação média anual de 800 mm), verificaram redução nos valores de  $\Psi_w$  (-0,2 para -0,4 MPa) entre os meses de dezembro e fevereiro, em tratamentos irrigados (equivalente à precipitação média anual de 1200 mm). Observa-se que resultado semelhante ocorreu no presente estudo com redução do  $\Psi_w$  entre os períodos intermediário e quente.

As curvas de resposta da fotossíntese em função da radiação fotossinteticamente ativa e seus respectivos ajustes para as espécies de eucalipto estudadas em diferentes períodos climáticos estão na figura 3 e na tabela 2. Observa-se que o *E. benthamii* apresentou as maiores taxas de fotossíntese em luz saturante em comparação com os outros materiais genéticos em todas os períodos climáticos considerados no estudo.

Nota-se maior taxa de assimilação líquida em resposta ao estímulo luminoso para o *E. benthamii*, seguido pelo *E. saligna* e finalmente o *E. dunnii* nos períodos frio e intermediário. No período quente há uma inversão de posição entre o *E. saligna* e o *E. dunnii* (Figura 3). De acordo com o teste de identidade de modelos, somente as curvas do *E. saligna* e *E. dunnii* no período frio foram estatisticamente iguais.

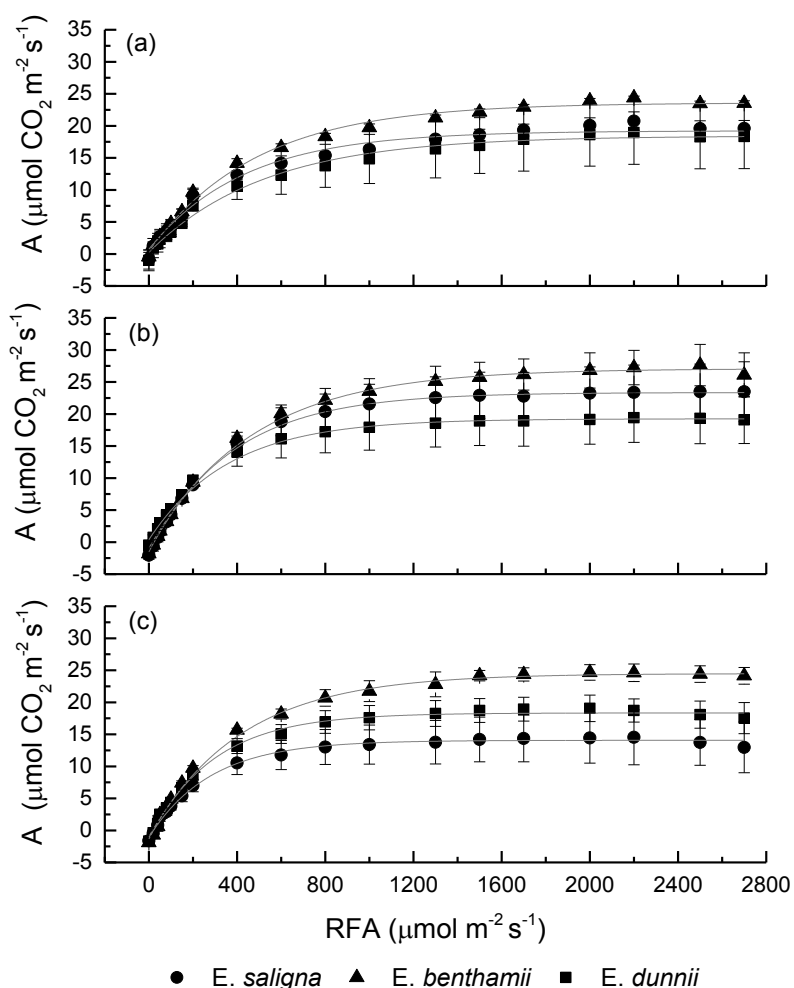


Figura 3. Curvas de resposta da fotossíntese ( $A$ ) em função da radiação fotossinteticamente ativa ( $RFA$ ) e desvios padrão para as espécies de eucalipto estudadas, em diferentes períodos climáticos: frio (a), intermediário (b) e quente (c), em Eldorado do Sul, RS.

Tabela 2. Curvas de resposta da fotossíntese em função da radiação fotossinteticamente ativa para plantios jovens de *E. saligna*, *E. benthamii* e *E. dunnii*, em diferentes períodos climáticos, em Eldorado do Sul, RS.

| Período       | Idade (meses) |                                                                    | R <sup>2</sup> |
|---------------|---------------|--------------------------------------------------------------------|----------------|
| Frio          | 15            | $Y_{E.saligna} = 19,64 \left[ 1 - e^{-0,0022 (x+8,71)} \right]$    | 0,990          |
|               |               | $Y_{E.benthamii} = 23,60 \left[ 1 - e^{-0,0021 (x+9,28)} \right]$  | 0,998          |
|               |               | $Y_{E.dunnii} = 18,43 \left[ 1 - e^{-0,0019 (x+7,14)} \right]$     | 0,992          |
| Intermediário | 19            | $Y_{E.saligna} = 23,27 \left[ 1 - e^{-0,0029 (x-29,28)} \right]$   | 0,997          |
|               |               | $Y_{E.benthamii} = 26,78 \left[ 1 - e^{-0,0024 (x-26,1)} \right]$  | 0,999          |
|               |               | $Y_{E.dunnii} = 19,00 \left[ 1 - e^{-0,0034 (x-5,64)} \right]$     | 0,999          |
| Quente        | 22            | $Y_{E.saligna} = 13,91 \left[ 1 - e^{-0,0038 (x-23,18)} \right]$   | 0,994          |
|               |               | $Y_{E.benthamii} = 24,28 \left[ 1 - e^{-0,0027 (x-22,43)} \right]$ | 0,997          |
|               |               | $Y_{E.dunnii} = 18,43 \left[ 1 - e^{-0,0034 (x-21,11)} \right]$    | 0,996          |

Em que: Y = Estimativa da fotossíntese ( $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ); x = radiação fotossinteticamente ativa ( $\mu\text{mol RFA m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ).

A interação entre os períodos climáticos (frio, intermediário e quente) e as espécies estudadas (*E. saligna*, *E. benthamii* e *E. dunnii*) foi significativa pelo teste F ( $p < 0,05$ ) para os parâmetros fotossíntese máxima ( $A_{max}$ ) e eficiência quântica ( $\alpha$ ) (Tabela 3), portanto, os efeitos dos fatores atuam de forma dependente. Assim, procedeu-se a análise de variância, em que se fez o desdobramento de espécie dentro de cada nível período climático e também o desdobramento dos períodos climáticos dentro de cada nível de espécie.

No período frio, a  $A_{max}$  foi maior ( $p < 0,05$ ) para o *E. benthamii* (22%) quando comparado ao *E. dunnii* e igual ao *E. saligna* (Tabela 3). No período intermediário *E. benthamii* e *E. saligna* apresentaram médias maiores (25%) que o *E. dunnii*. Já no período quente a  $A_{max}$  do *E. benthamii* foi diferente dos demais, sendo maior em 43% e 23% quando comparado, respectivamente, a  $A_{max}$  do *E. saligna* e *E. dunnii*.

Não foram observadas diferenças entre as médias da  $A_{max}$  do *E. benthamii* e *E. dunnii* ao longo dos períodos climáticos estudados (Tabela 3). Contudo, o *E. saligna* mostrou uma redução significativa desse parâmetro no período quente, sendo a maior média verificada no período intermediário.

Tabela 3. Médias de fotossíntese máxima ( $A_{max}$ ) e da eficiência quântica ( $\alpha$ ) obtida a partir da medição do CO<sub>2</sub> fixado para plantios jovens de *E. saligna*, *E. benthamii* e *E. dunnii*, em diferentes períodos climáticos (frio, intermediário e quente), em Eldorado do Sul, RS.

| Período   | Idade<br>(meses) | Espécies                                                                                                    |          |      |                     |          |      |                  |          |     |
|-----------|------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|------|---------------------|----------|------|------------------|----------|-----|
|           |                  | <i>E. saligna</i>                                                                                           |          |      | <i>E. benthamii</i> |          |      | <i>E. dunnii</i> |          |     |
|           |                  | $A_{max}$ (μmol CO <sub>2</sub> m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup> )                                           |          |      |                     |          |      |                  |          |     |
| Frio      | 15               | 19,64                                                                                                       | (± 1,29) | B ab | 23,60               | (± 0,43) | A a  | 18,43            | (± 5,04) | A b |
| Intermed. | 19               | 23,27                                                                                                       | (± 4,15) | A a  | 26,78               | (± 2,98) | A a  | 19,00            | (± 3,92) | A b |
| Quente    | 22               | 13,91                                                                                                       | (± 3,76) | C b  | 24,28               | (± 1,13) | A a  | 18,43            | (± 1,86) | A b |
|           |                  | $\alpha$ (μmol CO <sub>2</sub> m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup> / μmol RFa m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup> ) |          |      |                     |          |      |                  |          |     |
| Frio      | 15               | 0,043                                                                                                       | (±0,002) | C ab | 0,048               | (±0,006) | B a  | 0,035            | (±0,012) | B b |
| Intermed. | 19               | 0,072                                                                                                       | (±0,002) | A a  | 0,068               | (±0,002) | A ab | 0,065            | (±0,008) | A b |
| Quente    | 22               | 0,058                                                                                                       | (±0,006) | B a  | 0,068               | (±0,003) | A a  | 0,067            | (±0,010) | A a |

As médias seguidas pela mesma letra maiúscula, na coluna, e mesma letra minúscula, na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Valores entre parênteses são os desvios padrão.

Menores taxas fotossintéticas em luz saturante verificadas para o *E. saligna* no período quente (Figura 3 e Tabela 3) podem estar relacionadas com altos valores de temperatura do ar (Figura 2) e menores valores de  $\Psi_w$  para essa espécie detectados também nesse período (Tabela 1).

Quando o potencial hídrico da planta é reduzido, há uma diminuição da abertura estomática e, conseqüentemente, redução do potencial fotossintético. Para os plantios de *E. saligna*, a redução nos valores de  $\Psi_w$  de -0,215 para -0,623 MPa, reduziu o potencial fotossintético para essa espécie em 40% (valores de  $A_{max}$  passaram de 23,27 para 13,91  $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ), como observado entre os períodos intermediário e quente (Tabelas 1 e 3). Esse resultado indica um maior ajuste fisiológico do *E. saligna* frente as condições ambientais adversas do ambiente como, por exemplo, redução da disponibilidade hídrica. Merchant et al. (2007), obtiveram respostas diferentes ao déficit hídrico em seis espécies de eucalipto. As espécies que se desenvolveram em ambientes de baixa pluviosidade apresentaram menor potencial osmótico e redução do teor de água na folha.

No período quente também foram registrados maiores valores de  $DPV$  (Figura 2). Esse pode ser outro fator que contribuiu para reduzir a fotossíntese do *E. saligna*. Crous et al. (2011), relataram redução das taxas de fotossíntese em luz saturante em resposta a altos valores de  $DPV$  em plantios de *E. saligna*, em Richmond, NSW, Austrália, com precipitação média anual de 800 mm.

Algumas espécies de plantas são mais tolerantes ao estresse, outras menos, sendo os valores extremos (alto e baixo) de temperatura e umidade do ar os fatores com

manifestação mais imediatas nas trocas gasosas, em escala de poucos minutos. Por outro lado, embora apresentem de extrema dependência ecofisiológica da umidade do solo a manifestação de estresse pode levar dias para se manifestar (TAIZ e ZEIGER, 2004).

Extremos positivos ou negativos de temperaturaras do ar afetam negativamente as taxas fotossintéticas e consequentemente a produtividade das plantas. Baixas temperaturas normalmente são o maior limitador do crescimento em regiões frias (LESLIE et al. 2012), pois podem reduzir o crescimento através da fotoinibição da fotossíntese e causar danos com o congelamento devido à ruptura aos tecidos (DAVIDSON et al.,1995). No RS, além do período frio que submete os cultivos à uma condição térmica limitante e impõe em muitos dias irradiância solar insuficiente para manter a taxa fotossintética potencial, o período quente é coincidente com altas temperatura devido a declinação solar e comprimento dos dias, sendo também a época em que se verifica os meses com menor precipitação. Segundo Lloyd e Farquhar (2008), o aumento da temperatura do ar pode trazer efeitos benéficos ou desvantajosos para a fisiologia das plantas. O aumento da temperatura máxima diária pode levar ao decréscimo nas taxas fotossintéticas e consequentemente influenciar no crescimento (ISHIDA et al., 1999; KITAO et al., 2000).

Por certo, no estado do Rio Grande do Sul se observa comprometimento da fotossíntese líquida nos picos dos períodos quente e frios, impondo diferenças nos potenciais produtivos entre os materiais genéticos estudados em função das respostas ecofisiológicas as condições ambientais. Os valores de  $A_{max}$  variaram de 13,91 a 26,78  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  (48%) entre as espécies e períodos climáticos. Estes valores estão no intervalo de valores relatados em uma revisão realizada por Whitehead e Bidley (2004) para 11 espécies de *Eucalyptus* em diferentes locais do mundo, que variram entre 13 e 32  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ .

Os valores de  $A_{max}$  (Tabela 3) apresentam-se diferentes entre os períodos do ano apenas para os plantios de *E. saligna*. Nesse caso, é maior no período intermediário seguido pelo frio, tendo o período quente apresentado o menor valor representando apenas 40% daquele observado no intermediário. Isso demonstra que o estresse ambiental imposto aos plantios no período mais quente (menor disponibilidade hídrica e excessos térmico e de radiação solar) é maior que o no observado no frio (radiação solar e temperatura baixas) para este material. Considerando o período intermediário como referência e o valor potencial da fotossíntese, observa-se uma redução de 29% no valor de  $A_{max}$  do *E. saligna* no período quente em relação ao frio.

Comparando-se a eficiência quântica ( $\alpha$ ) dentro dos materiais genéticos verifica-se que para todos materiais os menores valores ocorreram no período mais frio do ano e uma tendência de máximos nas épocas intermediária e quente, com exceção do *E. saligna* que se apresenta crescente do frio para o período quente.

Este estudo mostrou que  $\alpha$  variou de 0,035 a 0,072  $\mu\text{mol C } \mu\text{mol}^{-1} \text{ RFA}^{-1}$  (Tabela 3). Os resultados de  $\alpha$  no período frio foram reduzidos em 40%, 29% e 47%, respectivamente para os plantios jovens de *E. saligna*, *E. benthamii* e *E. dunnii*, em comparação com os maiores valores observados para cada espécie.

Ryan et al. (2010) estudando plantios clonais de eucalipto em quatro regiões do Brasil (Aracruz – ES, Mogi Guaçu – SP, Teixeira de Freitas – BA e Eunapolis - BA, respectivamente, com precipitação média anual de 1360, 1320, 1350 e 1430 mm), observaram aumento da  $\alpha$  de 0,028 para 0,031  $\mu\text{mol C } \mu\text{mol}^{-1} \text{ RFA}^{-1}$  por meio da elevação da disponibilidade de água por irrigação. O maior valor de  $\alpha$  observado pelos autores é inferior ao menor valor encontrado nesse trabalho (0,035  $\mu\text{mol C } \mu\text{mol}^{-1} \text{ RFA}^{-1}$ ).

Em estudo realizado por Stape et al. (2008), verificaram valor máximo de  $\alpha$  de 0,060  $\mu\text{mol C } \mu\text{mol}^{-1} \text{ RFA}^{-1}$ , em povoamento clonal de *E. grandis* x *E. urophylla* submetidos a condições não limitantes de suprimento de água e nutrientes, valor esse menor que aqueles observados para os três materiais genéticos no período intermediário (sem restrição térmica ou hídrica).

A resposta de *A* às diferentes variações da concentração interna ( $C_i$ ) de  $\text{CO}_2$  indicam como os processos mesofílicos são afetados na folha (Figura 4). A dispersão dos dados se apresenta em curvas exponenciais crescentes e, para as três espécies estudadas, os dados apresentaram boas correlações ( $R^2$  de 0,92 a 0,99).

Esta relação é linear na fase inicial e a velocidade máxima de carboxilação da Rubisco ( $V_{c-max}$ ) é dada pelo coeficiente angular do incremento inicial de *A* em função de  $C_i$ . Os valores da  $V_{c-max}$  variaram de 114,65 a 260,39  $\mu\text{mol mol}^{-1}$  (Tabela 4). Somente houve diferença entre as espécies de eucalipto para esse parâmetro no período intermediário, onde maior média da  $V_{c-max}$  foi observada no *E. dunnii* em relação ao *E. saligna* e *E. benthamii*.

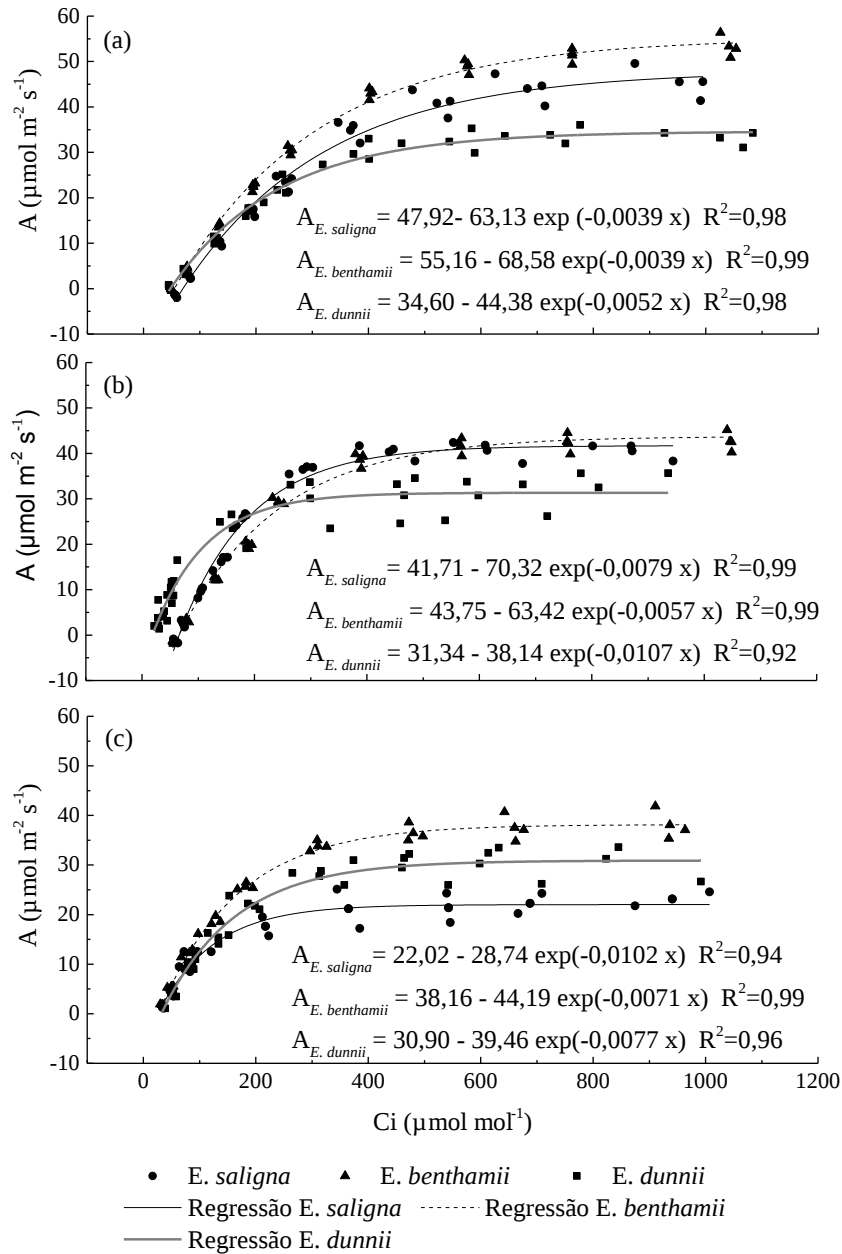


Figura 4. Curvas de resposta da fotossíntese ( $A$ ) em função da concentração interna ( $C_i$ ) de  $\text{CO}_2$  para as espécies de eucalipto estudadas, em diferentes períodos climáticos: frio (a), intermediário (b) e quente (c), em Eldorado do Sul, RS.

Para o *E. benthamii* os períodos climáticos não afetaram significativamente as médias da  $V_{c\text{-}max}$  (Tabela 4). O frio reduziu em 41% o valor da  $V_{c\text{-}max}$  para o *E. saligna* quando comparado ao período intermediário, onde verificou-se a maior média. No período intermediário também foi observado maior valor da  $V_{c\text{-}max}$  para o *E. dunnii*, sendo reduzido em média 51% nos períodos frio e quente para esta espécie.

Os valores da  $J_{max}$  variaram de 74,12 a 246,63  $\mu\text{mol mol}^{-1}$  (Tabela 4). No período frio os valores da  $J_{max}$  do *E. saligna* e *E. dunnii* foram menores quando comparados a do *E. benthamii*. No período intermediário, *E. saligna* e *E. benthamii* alcançaram maiores médias para esse parâmetro em relação ao *E. dunnii*. O período quente reduziu em 44% a  $J_{max}$  para o *E. saligna* sendo este menor que as médias do *E. benthamii* e *E. dunnii*.

Maiores valores da  $J_{max}$  para o *E. saligna* ocorrerem nos períodos frio e intermediário, em relação ao valor observado no período quente (Tabela 4). Para o *E. benthamii* a maior média da  $J_{max}$  foi verificada no período frio, sendo esta 25 e 43% maior que aquelas observadas para essa espécie, respectivamente, nos períodos intermediário e quente. O período frio também favoreceu a  $J_{max}$  do *E. dunnii*, sendo esta 44% maior em relação as médias dos outros períodos.

Tabela 4. Médias da velocidade máxima de carboxilação da Rubisco ( $V_{c-max}$ ) e da taxa de transporte de elétrons ( $J_{max}$ ) e os desvios padrão para plantios jovens de *E. saligna*, *E. benthamii* e *E. dunnii*, em diferentes períodos climáticos (frio, intermediário e quente), em Eldorado do Sul, RS.

| Período   | Idade (meses) | <i>E. saligna</i>                                  |          |    |   | <i>E. benthamii</i> |          |   |   | <i>E. dunnii</i> |          |   |   |
|-----------|---------------|----------------------------------------------------|----------|----|---|---------------------|----------|---|---|------------------|----------|---|---|
|           |               | <i>V<sub>c-max</sub></i> (μmol mol <sup>-1</sup> ) |          |    |   |                     |          |   |   |                  |          |   |   |
| Frio      | 15            | 114,65                                             | (±11,99) | B  | a | 134,68              | (±4,78)  | A | a | 117,90           | (±6,28)  | B | a |
| Intermed. | 19            | 193,77                                             | (±24,57) | A  | b | 132,39              | (±11,28) | A | b | 260,39           | (±68,58) | A | a |
| Quente    | 22            | 140,22                                             | (±30,93) | AB | a | 168,53              | (±23,17) | A | a | 134,71           | (±21,82) | B | a |
|           |               | <i>J<sub>max</sub></i> (μmol mol <sup>-1</sup> )   |          |    |   |                     |          |   |   |                  |          |   |   |
| Frio      | 15            | 198,74                                             | (±20,72) | A  | b | 246,63              | (±2,66)  | A | a | 207,14           | (±10,40) | A | b |
| Intermed. | 19            | 197,81                                             | (±18,40) | A  | a | 185,89              | (±14,06) | B | a | 107,97           | (±14,13) | B | b |
| Quente    | 22            | 74,12                                              | (±1,66)  | B  | b | 140,74              | (±11,52) | C | a | 124,51           | (±14,32) | B | a |

As médias seguidas pela mesma letra maiúscula, na coluna, e mesma letra minúscula, na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Valores entre parênteses são os desvios padrão.

Whitehead e Beadle (2004) realizaram uma extensa revisão sobre a regulação fisiológica da produtividade em *Eucalyptus*, detalhando as respostas fisiológicas das plantas às mudanças nas condições de crescimento (afetadas por variáveis ambientais como temperatura, DPV, água disponível na zona radicular, entre outras), além de características genéticas e morfológicas do *Eucalyptus* que proporcionam a este gênero elevadas taxas de captura de carbono. Os autores relatam que, com base em medições de fotossíntese em luz saturante, espécies de *Eucalyptus* apresentam uma alta capacidade fotossintética. Isto é associado com taxas máximas de carboxilação da Rubisco ( $V_{c-max}$ ) e

de transporte de elétrons ( $J_{\max}$ ). Os autores observaram que, para os plantios com espécies de *Eucalyptus pauciflora* e *E. grandis*, os valores de  $V_{c-\max}$  variaram 49 a 126  $\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$  e de  $J_{\max}$  variaram de 80 a 222  $\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ . Os resultados encontrados nesse estudo são superiores aos citados por Whitehead e Bidley (2004).

Embora as medidas de trocas gasosas sejam importantes para determinar as taxas fotossintéticas em condições específicas do ambiente, podem não ser eficientes para avaliar os efeitos fotoquímicos que ocorrem nas membranas do cloroplasto. Uma alternativa às medidas das trocas gasosas é a avaliação da eficiência fotoquímica da fotossíntese obtida por meio de variáveis da fluorescência da clorofila *a* (TATAGIBA et al., 2015).

A máxima capacidade fotoquímica do fotossistema II é dada pela razão entre fluorescência variável e fluorescência máxima ( $F_v/F_m$ ), que estão intimamente ligadas às condições microclimáticas. Alterações na fluorescência podem mostrar possíveis comprometimentos no processo fotossintético. A relação  $F_v/F_m$  pode variar numa faixa de 0,75 a 0,85 em plantas em condições ambientais ótimas. A diminuição da relação  $F_v/F_m$  é um excelente indicador de efeito fotoinibitório quando as plantas estão submetidas a qualquer tipo de estresse e pode representar tanto uma regulação fotoprotetora reversível ou uma inativação irreversível do PSII. O declínio da relação  $F_v/F_m$  é um bom indicador do dano fotoinibitório quando as plantas estão sujeitas a estresses incluindo frio e seca (BJÖRKMAN e POWLES, 1984).

Assim, parece não existir fotoinibição para as espécies de eucalipto em nenhum período climático estudado, já que os valores da relação  $F_v/F_m$  variaram entre 0,788 a 0,844 (Figura 5), dentro do intervalo para condições ambientais normais.

Whitehead e Bidley (2004) relatam que a fotoinibição ocorre em espécies de eucalipto, no entanto, reduções na máxima capacidade fotoquímica do fotossistema II são pequenas e rapidamente revertidas.

Analisando a figura 6, verifica-se que em todo o período o  $IAF$  do *E. saligna* foi superior aos demais materiais.

Em estudo realizado por Mattos (2015) avaliando 18 clones do gênero *Eucalyptus* no município de Buri-SP (o clima da região é classificado como Cfa, segundo a classificação climática de Köppen, o que indica um clima subtropical úmido e a precipitação média anual de 1180 mm), observou aos 17 meses de idade valores de  $IAF$  de aproximadamente 3,0; 1,8 e 2,0; e 2,0 a 3,7, respectivamente, para um clone de *E. saligna*, dois de *E. benthamii* e três de *E. dunnii*, valores estes superiores aqueles

observados nesse estudo aos 15 meses. No entanto, os valores encontrados por Mattos (2015) são bem próximos daqueles medidos aos 19 meses nesse estudo. Esse fato pode estar relacionado com o mês em que foram realizadas as medições do *IAF*. Aos 15 meses as medições foram realizadas em julho de 2013, no período frio, e aos 17 meses, em novembro de 2013, na primavera.

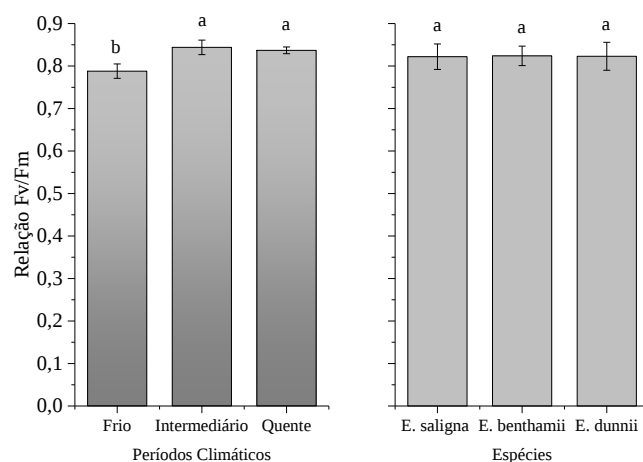


Figura 5. Relação  $F_v/F_m$  e desvios padrão para as espécies de eucalipto estudadas (*E. saligna*, *E. benthamii* e *E. dunnii*) em diferentes períodos climáticos: frio, intermediário e quente, em Eldorado do Sul, RS. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

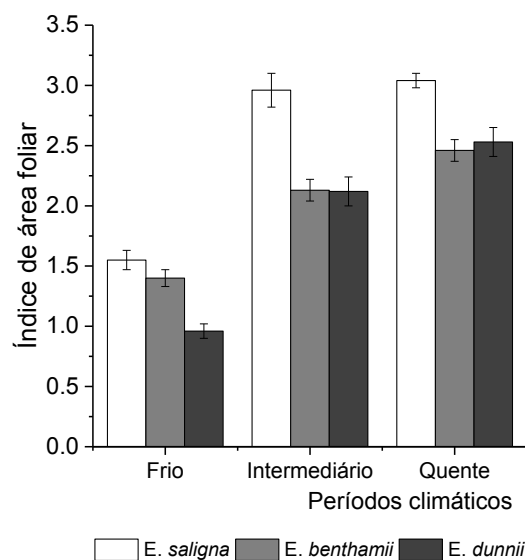


Figura 6. Índice de área foliar para as espécies de eucalipto (*E. saligna*, *E. dunnii* e *E. benthamii*) em diferentes períodos climáticos (frio, intermediário e quente), em Eldorado do Sul, RS.

Reis (2014) também observou valores superiores de *IAF*, variando de 5,52 a 3,54 em plantios clonais de eucalipto (híbrido *Eucalyptus grandis*) jovem (14 - 25 meses), em Brasilândia (MS), assim como Mattos (2015) para outros materiais genéticos como *E. grandis* x *E. urophylla* (aproximadamente 4,0 e 5,0), *E. urophylla* (aproximadamente de 2,9 a 4,8) e *E. urophylla* x *E. grandis* (aproximadamente 4,5).

Analizando os parâmetros fisiológicos avaliados nesse estudo, nota-se melhor desempenho do *E. benthamii*, sendo este, sempre igual ou melhor que o *E. saligna* e *E. dunnii*.

O melhor desempenho do plantio jovem de *E. benthamii* era esperado no período frio, assim como foi observado, já que esse apresenta maior resistência a geadas. Contudo, este também apresentou melhor desempenho nos demais períodos climáticos. Em estudo realizado por Paludzyszyn Filho et al. (2006), no município de Guarapuava, PR, o *E. benthamii* apresentou-se mais resistente à geada do que o *E. dunnii*. Segundo a FAO et al., (2004) o *E. benthamii* vem apresentando taxas de crescimento elevadas e tem exibido capacidade de crescer em diversos sítios, incluindo aqueles sujeitos a secas e geadas.

Mattos (2015), estudando 18 clones de eucalipto no município de Buri-SP, cujo clima é classificado como Cfa segundo a classificação climática de Köppen, verificou que aos 16 meses de idade um clone *E. saligna*, dois de *E. benthamii* e três de *E. dunnii*, apresentavam diâmetro a altura do peito (DAP) médios de 8,4 cm; 7,4 e 7,1 cm; e 7,7; 6,1 e 6,6 cm, respectivamente. Esses mesmos materiais mediam 9,2 m; 8,6 e 9,1 m; e 8,9; 6,6 e 7,7 m de altura média. Ainda observou estoques de madeira médios de 8,9 Mg ha<sup>-1</sup>; 6,9 e 7,0 Mg ha<sup>-1</sup>; 9,6; 4,1 e 5,1 Mg ha<sup>-1</sup>, respectivamente, para um clone *E. saligna*, dois de *E. benthamii* e três de *E. dunnii*.

Esses resultados indicam maior produtividade do *E. saligna* para esse local de estudo, quando comparado ao *E. benthamii*. Isso mostra que mesmo com menores taxas fotossintéticas, deve ser considerado que a produtividade da planta é uma soma de todos os processos que ocorrem no dossel, e que a maior produtividade pode estar ligada ao maior *IAF*.

Dessa forma, a relação entre fotossíntese e produtividade pode apresentar resultados diferentes entre as espécies ou clones estudados, uma vez que a maior produtividade pode estar relacionada à maior área foliar, ao próprio potencial fotossintético e à eficiência do uso da luz (RYAN et al., 2010).

Os resultados de um estudo com *Eucalyptus grandis* realizado por Campoe et al. (2013), mostraram que há uma forte tendência exponencial entre absorção de luz e da

área foliar. Os autores notaram que a duplicação da área foliar da árvore de 30 m<sup>2</sup> para 60 m<sup>2</sup> quase triplicou a absorção de luz (de 64 MJ m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup> para 183 MJ m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup>). O mesmo padrão foi evidente em um experimento com *Eucalyptus saligna* no Havaí (BINKLEY et al., 2002).

#### 4. Conclusões

Os maiores valores de  $A_{max}$  foram observados para o *E. benthamii* e os menores para o *E. dunnii*, não tendo sido verificado diferenças entre os períodos sazonais para esses dois materiais genéticos.

O *E. saligna* apresentou valores de  $A_{max}$  mediano entre as espécies estudadas e diferenças entre as épocas do ano, sendo o estresse ambiental imposto pelo período mais quente do ano maior que para o do mais frio. Considerando os valores de  $A_{max}$  do período intermediário como valores potenciais verifica-se reduções impostas aos plantios pelos estresses de 16 e 40%, respectivamente, nos períodos frio e quente. Verifica-se uma maior sensibilidade do *E. saligna* às condições ambientais expressa pelos valores de  $A_{max}$  crescentes entre as épocas do ano (Quente < Frio < Intermediário).

Todos os materiais genéticos apresentam menor eficiência quântica ( $\alpha$ ) para o período frio sendo, portanto, as baixas temperaturas mais limitantes para essa variável.

Maiores valores da  $J_{max}$  para o *E. saligna* e *E. dunnii* ocorrerem no período frio.

Com base nos valores dos parâmetros fisiológicos avaliados nesse estudo, nota-se melhor desempenho do *E. benthamii*, sendo este, sempre igual ou melhor que o *E. saligna* e *E. dunnii*, em todos os períodos climáticos.

Os extremos climáticos (período frio e quente) interferem menos nos processos fisiológicos dos plantios de *E. dunnii* e *E. benthamii* quando comparados ao *E. saligna*, que apresentou menores valores de fotossíntese em períodos com altas temperaturas e menor disponibilidade hídrica.

#### 5. Referências bibliográficas

ALVES, I. C. N.; GOMIDE, J. L.; COLODETTE, J. L.; SILVA, H. D. Caracterização tecnológica da madeira de *Eucalyptus benthamii* para produção de celulose kraft. Ciência Florestal, Santa Maria, v. 21, n. 1, p. 167-174, 2011.

BAESSO, R. C. E.; RIBEIRO, A.; SILVA, M. P. Impacto das mudanças climáticas na produtividade do eucalipto na região Norte do Espírito Santo e Sul da Bahia. *Ciência Florestal*, Santa Maria, v. 20, n. 2, p. 335-344, 2010.

BASSA, A. G. M. C.; SILVA JUNIOR, F. G.; SACON, V. M. Misturas de madeira de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* e *Pinus taeda* para produção de celulose kraft através do Processo Lo-Solids®. *Scientia Forestalis*, Piracicaba, n. 75, p. 19-29, 2007.

BERRY, J. A.; BJÖRKMAN, O. Photosynthetic response and adaptation to temperature in higher plants. *Annual Review of Plant Physiology*, v. 31, p. 491-543, 1980.

BINKLEY, D.; STAPE, J. L.; RYAN, M. G.; BARNARD, H. R.; FOWNES, J. Age-related decline in forest ecosystem growth: an individual-tree, stand-structure hypothesis. *Ecosystems*, New York, v. 5, p. 58-67, 2002.

BJÖRKMAN, O.; POWLES, S. B. Inhibition of photosynthetic reactions under water stress: interaction with light level. *Planta*, v. 161, p. 490-504, 1984.

BRUN, E. J.; FERRAZ, M. O.; ARAÚJO, E. F. Relação entre o acúmulo de serapilheira sobre o solo e variáveis dendrométricas em povoamento híbrido de *Eucalyptus urophylla* x *E. globulus maidenii*, em Eldorado do Sul/RS. *Ecologia e Nutrição Florestal*, Santa Maria-RS, v.1, n.1, p.24-31, 2013.

CAMPOE, O., STAPE, J. L., NOUVELLON, Y., LACLAU, J. P., BAUERLE, W. L., BINKLEY, D. Wood production and light use efficiency by *Eucalyptus* trees across a productivity gradient in Sao Paulo State. Brazil. *Forest Ecology and Management*, v. 288, p. 14-20, 2103.

CARNEIRO, R. L. C.; RIBEIRO, A.; HUAMAN, C. A. M.; LEITE, F. P.; SEDIYAMA, G. C.; BARROS, N. F. Consumo de água em plantios de eucalipto - Parte 1: Determinação da condutância estomática em tratamentos irrigados e não irrigados. *Revista Árvore*, Viçosa, v. 32, p. 1-10, 2008.

CROUS, K. Y.; ZARAGOZA-CASTELLS, J.; LOW, M.; ELLSWORTH, D. S.; TISSUE, D. T.; TJOELKER, M. G.; BARTON, C. V. M.; GIMENO, T. E.; ATKIN, O. K. Seasonal acclimation of leaf respiration in *Eucalyptus saligna* trees: impacts of elevated atmospheric CO<sub>2</sub> and summer drought. *Global Change Biology*, v. 17, p. 1560-1576, 2011.

DAVIDSON, N. J.; BATTAGLIA, M.; BEADLE, C. Photosynthesis of *Eucalyptus nitens* is reduced by mild frosts. *Eucalypt plantations, improving fibre yield and quality*. CRC for Temperate Hardwood Forestry, IUFRO: Hobart, Tasmania, p. 339-343, 1995.

FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations. Forest & Landscape Denmark – FLD. International Plant Genetic Resources Institute – IPGRI. *Forest genetic resources conservation and management*. Rome: International Plant Genetic Resources Institute; 2004.

GONÇALVES, J. L. M.; BENEDETTI, V. Nutrição e fertilização florestal. Piracicaba: IPEF, 427 p., 2002.

HIGA, R. C. V.; PEREIRA, J. C. D. Usos Potenciais do *Eucalyptus benthamii* Maiden et Cambage. Colombo: Embrapa Florestas, 2003. 4 p. (Embrapa Florestas. Comunicado técnico, 100).

ISHIDA, A.; NAKANO, T.; MATSUMOTO, Y.; SAKODA, M.; ANG, L. H. Diurnal changes in leaf gas exchange and chlorophyll fluorescence in tropical tree species with contrasting light requirements. *Ecological Research*, v. 14, n. 2, p. 77–88, 1999.

KITAO, M.; LEI, T. T.; KOIKE, T.; *et al.* Temperature response and photoinhibition investigated by chlorophyll fluorescence measurements for four distinct species of dipterocarp trees. *Physiologia Plantarum*, v. 109, n. 3, p. 284–290, 2000.

LESLIE, A. D.; MENCUCCINI, M.; PERKS, M. The potential for *Eucalyptus* as a wood fuel in the UK. *Applied Energy*, v. 89, n. 1, p. 176-182, 2012.

LIMA, E. A.; SILVA, H. D.; LAVORANTI, O. J. Caracterização dendroenergética de árvores de *Eucalyptus benthamii*. *Pesquisa Florestal Brasileira*, Colombo, v. 31, n. 65, p. 09-17, 2011.

LITTON, C. M.; RAICH, J. W.; RYAN, M. G. Carbon allocation in forest ecosystems (review article). *Global Change Biology*, Oxford, v. 13, p. 2089-2109, 2007.

LLOYD, J.; FARQUHAR, G. D. Effects of rising temperatures and [CO<sub>2</sub>] on the physiology of tropical forest trees. *Philosophical Transactions and Royal Society of London. Series B, Biological sciences*, v. 363, 1811–1817, 2008.

LONG, S. P.; BERNACCHI, C. J. Gas exchange measurements, what can they tell us about the underlying limitations to photosynthesis? Procedures and source of errors. *Journal of Experimental Botany*, Oxford, v. 54, n. 392, p. 2393-2401, 2003.

MATTOS, E. M. Caracterização da sazonalidade do crescimento do lenho, da copa e da eficiência do uso da luz em clones do gênero *Eucalyptus*. 2015. 130 f. Tese (Dissertação em recursos Florestais) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, SP, 2015.

MEDLYN, B. E.; BADECK, F. W.; DE PURY, D. G. G.; BARTON, C. V. M.; BROADMEADOW, M.; CEULEMANS, R.; DE ANGELIS, P.; FORSTREUTER, M.; JACH, M.E.; KELLOMÄKI, S.; LAITAT, E.; MAREK, M.; PHILIPPOT, S.; REY, A.; STRASSEMAYER, J.; LAITINEN, K.; LIOZON, R.; PORTIER, B.; ROBERNTZ, P.; WANG, K.; JARVIS, P. G. Effects of elevated [CO<sub>2</sub>] on photosynthesis in European forest species: a meta-analysis of model parameters. *Plant Cell and Environment*, v. 22, p. 1475-1495, 1999.

MERCHANT, A.; CALLISTER, A.; ARNDT, S.; TAUSZ, M.; ADAMS, M. Contrasting physiological response of six *Eucalyptus* species to water deficit. *Annals of Botany*, v.100, n.7, p.1507- 1515, 2007.

OLIVEIRA, R. C.; FOELKEL, C. E. B.; GOMIDE, J. L. Misturas de madeiras de *Pinus strobus* var. *chiapensis* e *Eucalyptus urophylla* na polpação Kraft. *O Papel*, São Paulo, v. 42, n. 1, p. 67-78, 1981.

PALUDZYSZYN FILHO, E.; SANTOS, P. E. T.; FERREIRA, C. A. Eucaliptos indicados para plantio no Estado do Paraná. Colombo: Embrapa Florestas - CNPF, 2006. (Documentos, 129)

PINTO, A. M.; INOUE, M. T.; NOGUEIRA, A. C. Conservação e vigor de sementes de pau-de-balsa (*Ochroma pyramidale*). *Acta Amazônica*, v. 34, n. 2, p. 233-236, 2004.

PRADO, C. H. B. A.; MORAES, J. A. P. V. Photosynthetic capacity and specific leaf mass in twenty woody species of Cerrado vegetation under field conditions. *Photosynthetica*, v. 33, p. 103-112, 1997.

REIS, M. G. R. Partição da radiação fotossinteticamente ativa e trocas gasosas em cultivos de eucalipto e Cerrado. 2014. 56 f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia Agrícola) – Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2014.

RYAN, M. G.; STAPE, J. L.; BINKLEY, D.; FONSECA, S.; LOOS, R. A.; TAKAHASHI, E. N.; SILVA, C. R.; SILVA, S. R.; HAKAMADA, R. E.; FERREIRA, J. M.; LIMA, A. M. N.; GAVA, J. L.; LEITE, F. P.; ANDRADE, H. B.; ALVES, J. M.; SILVA, G. G. C. Factors controlling *Eucalyptus* productivity: How water availability and stand structure alter production and carbon allocation. *Forest Ecology and Management*, Amsterdam, v. 259, p. 1695-1703, 2010.

SANTOS, G. A.; CABEL, S. R.; ASSIS, T. F.; FIER, I. S. N.; MENDES, C. J.; PUCCI, J. A. L. Potencial da silvicultura clonal de *Eucalyptus benthamii* para o sul do Brasil. In: SILVA, L. D.; HIGA, A. R.; SANTOS, G. A. (Coord.) Silvicultura e melhoramento genético de *Eucalyptus benthamii*. Curitiba: FUPEF, p. 77 – 102, 2012.

SANTOS, G. A.; RESENDE, M. D. V.; SILVA, L. D.; HIGA, A.; ASSIS, T. F. Adaptabilidade de híbridos multiespécies de *Eucalyptus* ao estado do Rio Grande do Sul. *Revista Árvore*, Viçosa-MG, v. 37, n. 4, p. 759-769, 2013.

SCHOLANDER, P. F.; HAMMEL, H. T.; BRADSTRET, E. D.; HEMMINGSEN, E. A. Sap pressure in vascular plants. *Science*, Cambridge, v. 148, p. 339-346, 1965.

SHARKEY T. D., BERNACCHI C. J., FARQUHAR G. D.; SINGSAAS E. L. Fitting photosynthetic carbon dioxide response curve for C3 leaves. *Plant, Cell & Environment*, v. 30, p. 1035–1040, 2007.

SILVA, E. A.; SILVA, C. A.; SILVA, I. R.; MARQUES, J. J. G. S. M.; ARAUJO, E. F.; CARVALHO, S. A.; SILVA, S. H. G.; CURI, N. Frações de carbono em topossequências de solos sob eucalipto com diferentes históricos de uso. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 36, p. 1167-1178, 2012.

STAPE, J.L.; BINKLEY, D.; RYAN, M.G. Production and carbon allocation in a clonal *Eucalyptus* plantation with water and nutrient manipulations. *Forest Ecology and Management*, Amsterdam, v. 255, p. 920-930, 2008.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. Fisiologia do estresse. In: - Fisiologia vegetal. 3ª ed. SANTAREM, E. R. et al. Tradutores. Artmed Editora S.A., Porto Alegre, p. 613-641, 2004.

TATAGIBA, S. D.; PEZZOPANE, J. E. M.; REIS, E. F. Fotossíntese em *Eucalyptus* sob diferentes condições edafoclimáticas. Engenharia na agricultura, Viçosa - MG, v. 23, n. 4, 2015.

TATAGIBA, S. D.; PEZZOPANE, J. E. M.; REIS, E. F. Relações hídricas e trocas gasosas na seleção precoce de clones de eucalipto para ambientes com diferenciada disponibilidade de água no solo. Floresta, Curitiba, PR, v. 38, n. 2, 2008.

VALADARES, J.; PAULA, N. F.; PAULA, R. C. Physiological changes in eucalyptus hybrids under different irrigation regimes. Ciência Agronômica, v.45, n.4, p.805-814, 2014.

VIERA, M.; SCHUMACHER, M. V.; ARAÚJO, E. F.; CORRÊA, R. S.; CALDEIRA, M. V. W. Deposição de serapilheira e nutrientes em plantio de *Eucalyptus urophylla* × *E. globulus*. Floresta e Ambiente, v. 21, n. 3, p. 327-338, 2014.

WHITEHEAD, W.; BEADLE, C. L. Physiological regulation of productivity and water use in *Eucalyptus*: a review. Forest Ecology and Management, v. 193, p. 113–140, 2004.

## CAPÍTULO II

### **Comparação das trocas gasosas de cultivo de eucalipto saligna em diferentes fases de desenvolvimento (jovens e adultos) e condições sazonais na Região Sul do Brasil**

#### **RESUMO**

O crescimento das árvores constitui um fenômeno complexo, pois integra muitos processos fisiológicos, influenciados pelo material genético, elementos climáticos como radiação solar, disponibilidade hídrica e temperatura do ar, entre outros. Conhecer estas interações é importante para compreensão do crescimento das plantas, e permite manejar as florestas otimizando o uso dos recursos naturais. Diante disso, o objetivo desse estudo foi caracterizar o comportamento ecofisiológico em plantios clonais de *Eucalyptus saligna* no Estado do Rio Grande do Sul. Trabalhou-se em dois plantios clonais de *Eucalyptus saligna* com idades variando entre 15 - 22 meses (jovem) e 57 – 76 meses (adulto), em área pertencente à Empresa CMPC, no município de Eldorado do Sul – RS. Foram realizadas medições de trocas gasosas diárias (fotossíntese líquida - $A$ , a condutância estomática -  $g_s$  e transpiração -  $E$ ). Também foram medidas curvas  $A/RFA$ , relação  $F_v/F_m$ , potencial hídrico foliar na antemanhã ( $\Psi_w$ ) e diário ( $\Psi_f$ ). Os dados foram coletados em julho de 2013 (período frio), novembro de 2013 (período intermediário) e fevereiro de 2014 e 2015 (período quente). Menores valores de  $\Psi_w$  nos dois plantios foram observados no período quente. Em todos os períodos climáticos observa-se maiores valores de  $\Psi_f$  ao longo do dia no plantio adulto em relação ao plantio jovem. Maiores valores diários de  $A$  e  $E$  ocorreram no período intermediário, havendo semelhança no comportamento dos dois plantios. Os maiores valores de  $g_s$  ocorreram no período frio. No período quente houve redução das médias de  $A$ ,  $g_s$  e  $E$ , sendo observados valores superiores para o plantio adulto. A redução dos parâmetros das trocas gasosas no período quente está relacionada com a maior demanda atmosférica verificada nesse período, com maiores valores de temperatura do ar e  $DPV$ . O plantio adulto apresentou taxas de fotossíntese em luz saturante e  $A_{max}$  significativamente maiores quando comparadas ao plantio jovem, em todos os períodos climáticos considerados no estudo. Não houve fotoinibição para as espécies de eucalipto em nenhum período climático estudado.

**Palavras-chave:** *Eucalyptus*, fotossíntese, crescimento.

## 1. Introdução

*Eucalyptus saligna* Smith é nativa da costa leste da Austrália. Sua área de ocorrência natural limita-se a uma faixa de cerca de 160 km de largura, desde a Bahia de Bateman (36° latitude sul), sul de New South Wales até sudoeste de Queensland (27° latitude sul). Na zona mais ao sul da área de ocorrência, a altitude média é de 300 metros, sendo que, mais ao norte, pode atingir até 1200 metros (LAMPRECHT, 1990). Apresenta rápido crescimento e prefere regiões de clima temperado à subtropical (MARCHIORI e SOBRAL, 1997; TONINI, 2003). É uma das espécies mais plantadas no estado do Rio Grande do Sul devido à alta capacidade produtiva nessa região (LIMA et al. 2011; SANTOS et al., 2013).

O crescimento das árvores constitui um fenômeno complexo, pois integra muitos processos fisiológicos, influenciados pelo material genético e pela disponibilidade dos recursos ambientais (McGARVEY et al., 2004). STAPE, BINKLEY e RYAN, 2004) sugerem que o entendimento dos efeitos causados pelos processos fisiológicos sobre o crescimento florestal, diretamente correlacionado com a disponibilidade dos recursos naturais, determinam o manejo florestal a ser adotado.

Elementos climáticos como radiação solar, disponibilidade hídrica e temperatura do ar influenciam direta ou indiretamente os processos fisiológicos e bioquímicos, como a fotossíntese, a transpiração, a respiração e a divisão celular.

Conhecer estas interações faz parte da ecofisiologia florestal, que visa compreender o crescimento através do entendimento dos processos que o governam, para permitir manejar as florestas em sintonia com o uso dos recursos naturais (STAPE et al., 2004). Neste sentido, este tema tem sido explorado no Brasil avaliando as respostas dos plantios de eucalipto às condições climáticas de distintos sítios florestais.

Stape et al. (2010) buscando definir os patamares da produtividade do *Eucalyptus* no Brasil e os fatores que a controlam (Produtividade Potencial do *Eucalyptus* no Brasil - BEPP, [www.ipef.br/bepp](http://www.ipef.br/bepp)), estudaram oito clones em oito locais do Brasil (Aracruz-ES, Mogi Guaçu-SP, Eunápolis-BA, Guanhaes-MG, Teixeira de Freitas-BA, Luis Antônio-SP, Bocaiuva-MG e Luis Antônio-SP, respectivamente, com precipitação média anual de 1360, 1317, 1433, 1108, 1351, 1247, 848 e 1307 mm), e concluíram que na escala do povoamento a produtividade florestal é dependente da disponibilidade hídrica e da uniformidade de tamanho entre árvores.

Tatagiba et al. (2015), avaliando as respostas fotossintéticas em um plantio clonal de eucalipto (híbrido *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus Urophylla*) em duas estações bem definidas (seca e chuvosa), na região de Itauninhas, distrito do município de São Mateus-ES, verificaram que a menor abertura estomática durante estação seca contribuiu para queda na assimilação de carbono, diminuindo a produtividade potencial das plantas. Carneiro et al. (2008) também observaram que a condutância estomática dos plantios jovens de híbridos de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* (14 meses) no município de Belo Oriente – MG sofreu variação sazonal entre os períodos úmido e seco,

Os resultados de um estudo realizado por Reis (2014) e Rody (2013), em povoamentos clonais de eucalipto (híbrido *Eucalyptus grandis*) jovem e adulto no município de Brasilândia - MS, mostraram maiores valores de fotossíntese líquida, transpiração e condutância estomática no plantio jovem de eucalipto quando comprado ao adulto.

Em estudo realizado em quatro locais do Brasil (Aracruz-ES, Mogi Guaçu-SP, Teixeira de Freitas-BA e Eunápolis-BA, respectivamente, com precipitação média anual de 1360, 1320, 1350 e 1430 mm), Ryan et al. (2010) observaram que a irrigação aumentou a produtividade primária líquida de madeira por causa de aumentos na interceptação de luz, eficiência fotossintética, produtividade primária bruta, e particionamento para madeira. O aumento da heterogeneidade na estrutura dos plantios levou a uma perda de 14% de biomassa de madeira quando comparados a plantios uniformes.

São raras as pesquisas que avaliam as respostas ecofisiológicas dos plantios de eucalipto às condições climáticas da região Sul do Brasil que, quando comparada com as demais regiões brasileiras, apresenta características climáticas bastante peculiares, com estações do ano bem definidas e períodos de frio rigorosos, sendo comum a ocorrência de geadas em algumas áreas. Outra diferença observada para essa região são as espécies de eucalipto comumente plantadas, de regiões de clima temperado à subtropical, como o *Eucalyptus saligna* Smith. Não existem estudos no Brasil mostrando o comportamento ecofisiológico dessa espécie durante as diferentes fases desenvolvimento e os respectivos comportamentos ecofisiológicos frente as variações sazonais do clima na região.

Diante do exposto, este trabalho teve por objetivo estudar as diferenças fisiológicas de plantios jovens e adultos e as variações entre as épocas do ano (variação sazonal) de plantios de *Eucalyptus saligna* no Estado do Rio Grande do Sul.

## 2. Materiais e métodos

### 2.1. Caracterização da área de estudo

O estudo foi conduzido em áreas da Empresa CMPC, localizada no Horto Florestal Terra Dura, no município de Eldorado do Sul, região fisiográfica da Depressão Central do estado do Rio Grande do Sul, situado na latitude 30°11'15"S e longitude 51°37'36"W, e altitude de 115 metros.

O clima da região é o subtropical úmido do tipo Cfa, segundo a classificação de Köppen, com estações de verão e inverno bem definidas, precipitação bem distribuída ao longo do ano e inexistência de estação seca definida. A precipitação total média anual é de 1440 mm e a temperatura média anual do ar de 19,6°C, com temperaturas máxima e mínima média anual de 25,3°C e 15,6°C, respectivamente, de acordo com as normais climatológicas do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET).

Trabalhou-se em dois plantios clonais de *Eucalyptus saligna* com idades variando entre 15 - 22 meses (jovem) e 57 – 76 meses (adulto) (Figura 1). O plantio jovem consistiu de um experimento instalado em abril de 2012, onde foram plantadas mudas de *E. saligna* dispostas em 10 linhas e 15 plantas por linha em espaçamento de 3,0 x 3,0 m (total de 150 plantas). O plantio adulto tem espaçamento de 3,5 x 2,14 m e área de 13,7 ha (talhão adulto). O talhão jovem tem espaçamento de 3,0 x 3,0 m e área de 16 ha.

O solo da área de estudo é um Argissolo Vermelho distrófico típico (SILVA et al., 2012; BRUN et al., 2013; VIERA et al., 2014).

O preparo de solo para o plantio foi realizado com a subsolagem na profundidade de 50 cm seguido com aplicação de calcário (2 Mg ha<sup>-1</sup>) e fosfato reativo (200 kg ha<sup>-1</sup>) no sulco. Posteriormente, ocorreu o plantio das mudas com adubação de 100 g planta<sup>-1</sup> de NPK (06: 30: 06). Aplicou-se herbicida aos 18 e 120 dias após o plantio para evitar a competição com plantas invasoras. Foram realizadas adubações de cobertura no terceiro e 12º mês após o plantio com a aplicação de 150 g planta<sup>-1</sup> de NPK (15:05:30).

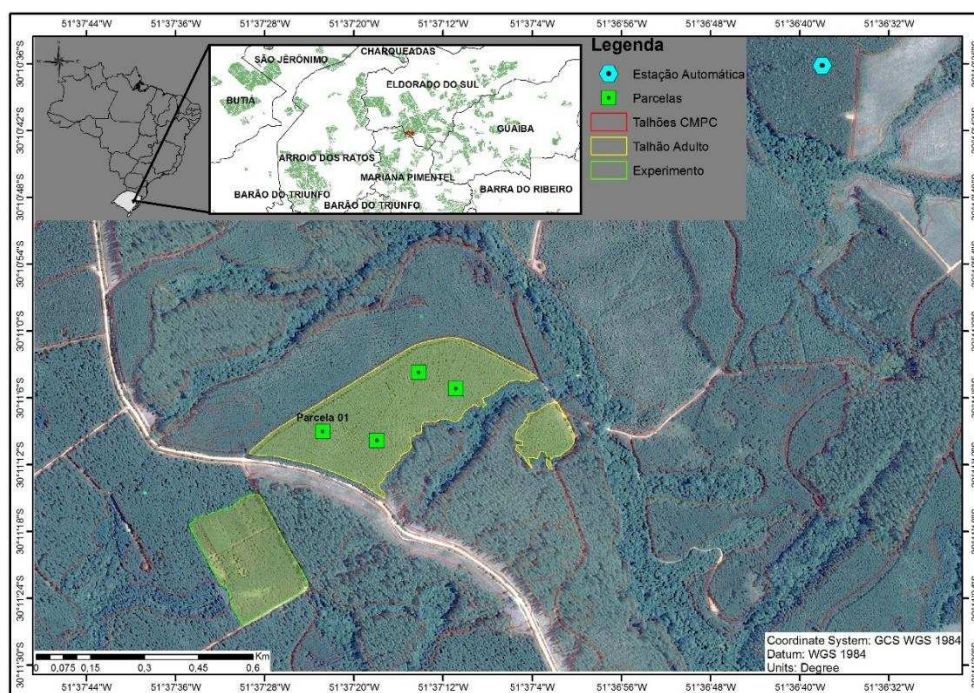


Figura 1. Localização da área de estudo: experimento com a parcela do plantio jovem de *Eucalyptus saligna*, plantio adulto com as parcelas fixas no *E. saligna* e estação automática micrometeorológica, município de Eldorado do Sul – RS.

## 2.2. Dados meteorológicos e umidade do solo

Durante o período experimental (julho de 2013 a fevereiro de 2015) foram coletados dados climáticos e de umidade do solo.

Os dados meteorológicos procederam de estação automática pertencente à Empresa, localizada a aproximadamente dois km de distância das parcelas. Foram coletados dados de temperatura do ar, precipitação, umidade relativa, direção e velocidade do vento, radiação solar global e radiação fotossinteticamente ativa. O registro de médias ou integrações ocorreu em intervalos de 60 minutos.

Ao lado das quatro árvores selecionadas para estudo, foram instalados dois tubos de PVC (linha e entrelinha) a 2,0 m de profundidade, onde foram realizadas medições de umidade do solo com o equipamento Diviner 2000 (Sentek Pty Ltda., Austrália), nos dias em que foram realizadas as campanhas ecofisiológicas.

### 2.3. Trocas gasosas

As medidas das trocas gasosas foram realizadas em um analisador de gases infravermelho portátil, modelo LI-6400XT (Licor, Nebraska, USA), utilizando a câmara de folha com 2 cm<sup>2</sup>. A fonte de luz foi fixada com um valor para cada folha, de acordo com a radiação fotossinteticamente ativa disponível no momento da medição, medida com um sensor quantum da câmara do equipamento. A concentração de CO<sub>2</sub> utilizada foi a concentração atmosférica ambiente, estabilizada por meio de um sistema *buffer*. As coletas dos dados foram realizadas em julho de 2013 (período frio), novembro de 2013 (período intermediário) e fevereiro de 2014 e 2015 (período quente), respectivamente, com idades de 15, 19 e 22 meses para o plantio jovem e 57, 61 e 76 meses para o plantio adulto. Os horários de medição compreenderam o período de 8:00 às 16:00 h para curvas diurnas. Foram feitas réplicas de dois dias de medidas nas curvas diárias. Todas as coletas foram realizadas com o céu aberto, sem a presença de nuvens, na tentativa de excluir o máximo de interferência externa ao longo das campanhas.

Trabalhou-se no estrato médio do dossel em quatro árvores e quatro folhas/árvore nas diferentes exposições à radiação solar. Para a mensuração foram eleitas folhas totalmente expandidas do quarto ao sexto par de folhas no ramo, com aspecto sadio. Para acesso ao dossel médio das árvores foram instalados andaimes no plantio jovem e usada uma plataforma telescópica (Model 80HX, JLG) no plantio adulto.

As variáveis de trocas gasosas medidas foram a assimilação de CO<sub>2</sub> ou fotossíntese líquida ( $A$ ,  $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ), a condutância estomática ( $g_s$ ,  $\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ), e a transpiração ( $E$ ,  $\text{mmol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ).

Também foram utilizadas para comparação dos plantios (jovem e adulto) em cada período estudado cinco curvas de fotossíntese ( $A$ ) *versus* radiação fotossinteticamente ativa ( $RFA$ ), sendo estas obtidas no período de 8 as 11 horas da manhã. Em dois dias para cada plantio e período climático, também foi medida a fluorescência, em quatro folhas por árvore, as 5 horas da manhã.

As curvas de resposta à luz foram construídas em [CO<sub>2</sub>] ambiente (380  $\mu\text{mol mol}^{-1}$ ). Os valores de  $A$  foram registrados em valores de fluxo de fótons ( $RFA$ ) de 2700, 2500, 2300, 2000, 1700, 1500, 1200, 1000, 800, 600, 400, 200, 150, 100, 80, 60, 40, 20 e 0  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ . A partir da curva  $A/RFA$  (Equação 1) foram determinados a fotossíntese saturada por luz ( $A_{max}$ ) e ponto de compensação por luz ( $PCR$ ). Os dados foram ajustados utilizando a equação de Prado e Moraes (1997):

$$A = A_{\max} [1 - e^{-k(RFA - PCR)}] \quad (\text{Eq. 1})$$

em que:  $A$  = fotossíntese líquida momentânea,  $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ;  $A_{\max}$  = fotossíntese líquida máxima,  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ;  $e$  = base do logaritmo natural ( $e = 2,718$ );  $k$  = constante de proporcionalidade associada à concavidade da curva ( $0,001 - 0,009$ );  $PCR$  = ponto de compensação à radiação,  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ; e  $RFA$  = radiação fotossinteticamente ativa,  $\mu\text{mol RFA m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ .

A declividade da região linear da curva de resposta fotossintética à luz representa o rendimento quântico máximo da fotossíntese, ou seja, expressa a relação entre moles de carbono assimilados e moles de fótons absorvidos. Por meio da equação 2, é possível encontrar a inclinação da curva na fase linear conhecida como eficiência quântica ( $\alpha$ ).

$$\alpha = k A_{\max} (e^{k PCR}) \quad (\text{Eq. 2})$$

Em que  $\alpha$  é a eficiência quântica,  $\mu\text{mol C } \mu\text{mol}^{-1} \text{ RFA}^{-1}$ .

#### 2.4. Potencial hídrico foliar

Para analisar o potencial hídrico foliar dos plantios jovem e adulto em cada período climático, foi usada uma bomba de Pressão de Scholander (Modelo 615, PMS Instrument Company) (SCHOLANDER et al., 1965). Em dois dias para cada plantio e período climático foram medidos o potencial hídrico foliar na antemanhã ( $\Psi_w$ ), em três folhas por árvore, as 4:00 as 4:30 horas da manhã. Nos dias em que foram realizadas as medidas de trocas gasosas também foi medido o potencial hídrico foliar diurno ( $\Psi_d$ ), a cada duas horas (8:00 às 16:00 h). Para as mensurações, foram selecionadas folhas no dossel médio e totalmente expandidas.

#### 2.5. Análise estatística

Os dados foram interpretados e analisados estatisticamente num esquema de parcela subdividida no tempo  $3 \times 2$ , combinando três períodos climáticos (frio, intermediário e quente) e duas idades para o *E. saligna* (jovem e adulto), num delineamento inteiramente casualizado, ao nível de 5% de significância, sendo realizado o teste de Tukey quando o resultado da análise de variância foi significativo para o fator ou interação estudada, sendo este também ao nível de 5% de probabilidade.

Os ajustes das curvas  $A/RFA$  foram realizados utilizando o *software* Origin 6.1.

As diferenças entre as curvas *A/RFA* foram avaliadas pela aplicação do teste de identidade de modelos, adotando 5% de significância.

### 3. Resultados e discussão

Maiores valores de temperatura do ar e déficit de pressão de vapor (*DPV*) foram observados no período quente e menores no frio (Figura 2). O período intermediário apresenta valores mais próximos daqueles observados no período quente.

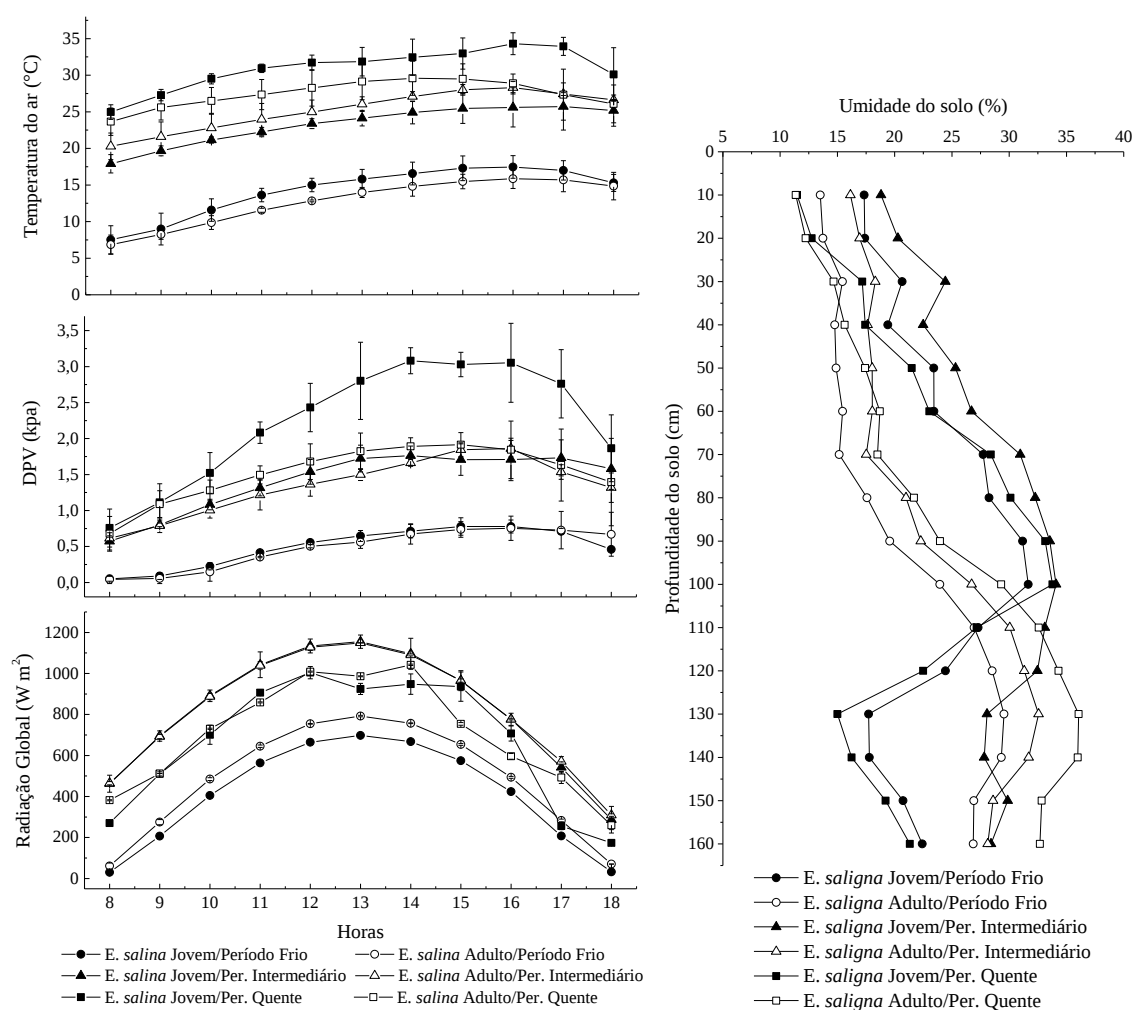


Figura 2. Curso horário médio da temperatura do ar, déficit de pressão de vapor (*DPV*) e da radiação solar global, e conteúdo médio de água no solo durante as campanhas de coleta de dados nos períodos frio, intermediário e quente, em plantios jovens e adultos de eucalipto.

Os totais mensais de precipitação para os períodos estudados foram 91,4; 179,8; 73,9 e 58,3 mm, respectivamente para os períodos frio (julho de 2013), intermediário (novembro de 2013), quente (fevereiro de 2014 – medições no plantio jovem) e quente (fevereiro de 2015 – medições no plantio adulto).

Analisando a variação do armazenamento de água do perfil do solo nos três diferentes períodos do ano (Figura 2), nota-se uma queda nos valores de umidade no período quente para os dois plantios. No plantio jovem observa-se menores valores de umidade nas camadas superficiais do solo e aumento da mesma em profundidade até 100 cm. Posteriormente verifica-se que a umidade do solo diminui até 130 cm. Já no plantio adulto, há uma queda dos valores depois de 130 cm.

As curvas de resposta da fotossíntese em função da radiação fotossinteticamente ativa e seus respectivos ajustes para os plantios de *E. saligna* jovem e adulto em diferentes períodos climáticos estão apresentadas na figura 3 e na tabela 1. Observa-se que o plantio adulto apresentou taxas de fotossíntese em luz saturante significativamente maiores pelo teste de identidade ( $p < 0,05$ ) em comparação com o plantio jovem em todos os períodos considerados no estudo.

Maiores valores de fotossíntese máxima ( $A_{max}$ ) também foram observados para o plantio adulto em 16% (frio), 13% (intermediário) e 40% (quente) quando comparado ao plantio jovem (Tabela 2).

Para as duas idades as maiores médias de  $A_{max}$  foram observadas no período intermediário (Tabela 2). Contudo, as médias de  $A_{max}$  do plantio adulto nos períodos frio e quente foram iguais. Já para o plantio jovem, nota-se médias diferentes nos três períodos climáticos. Os valores de  $A_{max}$  nos períodos frio e quente foram, respectivamente, 21 e 44% menores quando comparadas a média do período intermediário.

Os valores de  $A_{max}$  variaram de 14,02 a 28,51  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  (51%) entre as idades e períodos climáticos, evidenciando que o *E. saligna* possui uma elevada capacidade fotossintética, se comparado com outros gêneros, como coníferas, cujas taxas variam em média de 8 a 15  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , e tropicais pioneiras, variando de 12 a 20  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  (LARCHER, 2006). Da mesma forma, estes valores estão no intervalo de valores relatados em uma revisão por Whitehead e Bidley (2004) para 11 espécies de *Eucalyptus* cultivadas em diferentes locais do mundo, que variram entre 13 e 32  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ .

Barnard e Ryan (2003) estudando plantios de *Eucalyptus saligna* jovem (12 meses) e adulto (60 meses), em Hamakua, Hawaii (precipitação média anual de 4000 mm), observaram valores de  $A_{max}$  similares para as duas idades (15,7 e 14,5  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ,

respectivamente, em plantios jovem e adulto). Esses valores são inferiores aqueles observados no presente estudo (Tabela 2).

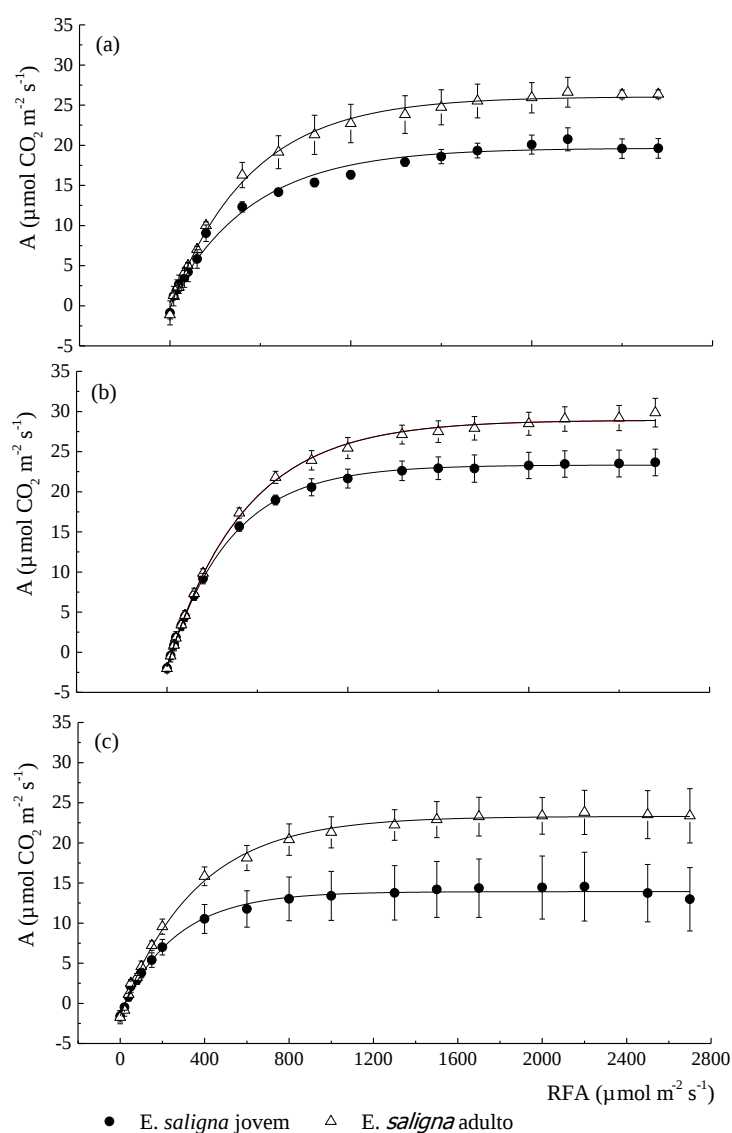


Figura 3. Curvas de resposta da fotossíntese ( $A$ ) em função da radiação fotossinteticamente ativa ( $RFA$ ) e desvios padrão para plantios de *E. saligna* jovem e adulto nos períodos climáticos: frio (a), intermediário (b) e quente (c), em Eldorado do Sul, RS.

Tabela 1. Curvas de resposta da fotossíntese em função da radiação fotossinteticamente ativa para plantios jovens de *E. saligna* jovem e adulto, em diferentes períodos climáticos, em Eldorado do Sul, RS.

| Período       | Idade (meses) |                                                               | R <sup>2</sup> |
|---------------|---------------|---------------------------------------------------------------|----------------|
| Frio          | 15            | $Y_{Jovem} = 19,64 \left[ 1 - e^{-0,0022 (x+8,71)} \right]$   | 0,989          |
|               | 57            | $Y_{Adulto} = 26,06 \left[ 1 - e^{-0,0023 (x-5,10)} \right]$  | 0,997          |
| Intermediário | 19            | $Y_{Jovem} = 23,27 \left[ 1 - e^{-0,0029 (x-29,28)} \right]$  | 0,999          |
|               | 61            | $Y_{Adulto} = 28,93 \left[ 1 - e^{-0,0024 (x-25,94)} \right]$ | 0,998          |
| Quente        | 22            | $Y_{Jovem} = 13,91 \left[ 1 - e^{-0,0038 (x-23,18)} \right]$  | 0,994          |
|               | 76            | $Y_{Adulto} = 23,30 \left[ 1 - e^{-0,0029 (x-22,84)} \right]$ | 0,998          |

Em que: Y = Estimativa da fotossíntese (mol CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>); x = radiação fotossinteticamente ativa (mol RFA m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>).

Tabela 2. Médias de fotossíntese máxima ( $A_{max}$ ) e da eficiência quântica ( $\alpha$ ) obtida a partir da medição do CO<sub>2</sub> fixado e os desvios padrão para plantios jovem e adulto de *E. saligna* em diferentes períodos climáticos, em Eldorado do Sul, RS.

| Período       | <i>E. saligna</i> jovem                                                                                     |          |     | <i>E. saligna</i> adulto |          |     |
|---------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|-----|--------------------------|----------|-----|
|               | $A_{max}$ (μmol CO <sub>2</sub> m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup> )                                           |          |     |                          |          |     |
| Frio          | 19,67                                                                                                       | (±1,29)  | B b | 23,40                    | (±0,61)  | B a |
| Intermediário | 24,84                                                                                                       | (±1,68)  | A b | 28,51                    | (±1,56)  | A a |
| Quente        | 14,02                                                                                                       | (±3,76)  | C b | 23,38                    | (±2,65)  | B a |
|               | $\alpha$ (μmol CO <sub>2</sub> m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup> / μmol RFA m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup> ) |          |     |                          |          |     |
| Frio          | 0,043                                                                                                       | (±0,002) | C b | 0,052                    | (±0,005) | B a |
| Intermediário | 0,074                                                                                                       | (±0,003) | A a | 0,072                    | (±0,004) | A a |
| Quente        | 0,063                                                                                                       | (±0,006) | B b | 0,074                    | (±0,003) | A a |

As médias seguidas pela mesma letra maiúscula, na coluna, e mesma letra minúscula, na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Valores entre parênteses são os desvios padrão.

A eficiência quântica ( $\alpha$ ) variou de 0,043 a 0,074 μmol C μmol<sup>-1</sup> RFA<sup>-1</sup> (Tabela 2). Não houve diferença para as médias de  $\alpha$  entre as idades no período intermediário. Nos períodos frio e quente as médias da  $\alpha$  foram maiores, respectivamente, em 17 e 15% para o plantio adulto quando comparado ao plantio jovem.

Menores valores de temperatura do ar observadas no período frio, reduziu o valor da  $\alpha$  no plantio adulto quando comparado aos valores da  $\alpha$  dos períodos intermediário e quente (Tabela 2). Maiores valores de  $\alpha$  para o plantio jovem foram observados no

período intermediário, sendo 42 e 15% maior, respectivamente, que as médias dos períodos frio e intermediário.

Os valores máximos de fotossíntese líquida média ( $A$ ) foram  $22,26 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  (adulto) e  $22,05 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  (jovem), observados no período intermediário (Figura 4). Esses valores não foram muito diferentes daqueles encontrados no período frio, em que as máximas da  $A$  foram  $21,33 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  (adulto) e  $20,19 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  (jovem).

As médias diárias da  $A$  também foram semelhantes para os dois plantios e períodos climáticos:  $16,56 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  (jovem) e  $18,42 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  (adulto) no período frio e  $17,41 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  (jovem) e  $17,32 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  (adulto) no período intermediário.

Ao analisarmos o período quente (Figura 4), observa-se uma redução da  $A$  em relação aos valores observados nos períodos frio e intermediário. Os valores máximos ocorreram logo no início da manhã (10:00 horas), sendo  $15,27 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  para o plantio adulto e  $9,13 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  para o plantio jovem. As médias diárias da  $A$  para esse período foram  $3,49 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  (jovem) e  $12,05 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  (adulto), menores em 80 e 33%, respectivamente, para os plantios jovem e adulto, quando comparadas as médias dos outros dois períodos. Esse resultado está relacionado com a maior demanda atmosférica verificada no período quente, com maiores valores de temperatura do ar e  $DPV$  (Figura 2).

Barnard e Ryan (2003) também observaram valores de  $A$  similares para plantios jovem (12 meses) e adulto (60 meses), respectivamente,  $18,2$  e  $19,2 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , em estudo realizado em plantios de *Eucalyptus saligna* em Hamakua, Hawaii (precipitação média anual de 4000 mm), valores esses bem próximos aos verificados nesse estudo para os períodos frio ( $16,56$  e  $18,42 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , respectivamente, para os plantios jovem e adulto) e intermediário ( $17,41$  e  $17,32 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , respectivamente, para os plantios jovem e adulto) e superiores as médias de  $A$  verificadas no período quente ( $3,49$  e  $12,05 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , respectivamente, para os plantios jovem e adulto).

Contrário aos resultados observados nesse estudo, Rody (2013), com o objetivo de caracterizar o comportamento ecofisiológico em plantios clonais jovem (0 – 18 meses) e adulto (49 – 65 meses) de *Eucalyptus grandis*, no município de Brasilândia – MS (precipitação média anual de 1300 mm), observou valores de fotossíntese líquida maiores nos cultivos de eucalipto jovem quando comprado ao adulto. Os valores máximos de  $A$  em período com maior conteúdo de água no solo, foram de  $15,2 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  (adulto) e  $27,4 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  (jovem). Esses valores são maiores para o plantio jovem e menores para

o plantio adulto, quando comparados aos valores máximos de  $A$  encontrados nesse estudo (22,05 e 22,26  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , respectivamente, para os plantios jovem e adulto).

Reis (2014), também verificou valores de fotossíntese líquida nos plantios de eucalipto jovem maiores quando comprado ao adulto, estudando povoamentos de *Eucalyptus grandis* (14 – 25 meses) e adulto (75 - 86 meses) no município de Brasilândia – MS. A autora encontrou valores de  $A$  variando de 5,3 a 10,4  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  para o cultivo Jovem e de 3,5 a 9,0  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  para o cultivo adulto, no mês de março. Já no mês de junho, os valores de  $A$  variaram de 9,3 a 14,2  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  para o cultivo jovem e de 8,1 a 10,3  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  para o cultivo adulto.

Os resultados de  $A$  encontrados no presente trabalho, são semelhantes ao valor de  $A$  (21,41  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) obtido por Tatagiba et al. (2015) em plantio clonal de eucalipto (híbrido *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus Urophylla*) com idade de 30 a 36 meses em Itauninhas, distrito do município de São Mateus-ES (precipitação média anual de 1432 mm), na estação chuvosa. Porém, são superiores aqueles verificados por Otto et al. (2013), estudando clones de *Eucalyptus* aos 23 meses de idade no Município de Eunápolis – BA (com precipitação média anual de 1250 mm, bem distribuída ao longo do ano), que observou valores de taxa fotossintética máxima variando de 12,5 a 16,4  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ .

Em estudo realizado por Mielke et al. (2000), em plantios clonais de *E. grandis* em Aracruz, ES (precipitação anual média de 1400 mm) com idades próximas a 108 meses encontraram valores inferiores de  $A$  (médias diárias de 16,13  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) aos mensurados na idade adulta desse estudo (médias diárias de  $A$  de 18,42  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  no período frio e 17,32  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  no período intermediário).

No período quente também se observa maior diferença nos valores de  $A$  entre os plantios estudados, fato que não ocorreu nos períodos frio e intermediário (Figura 4). Nesses dois últimos, os plantios jovem e adulto mantiveram os valores horários próximos, sendo suas médias diárias diferentes em 10% (frio) e 0,5% (intermediário). Essa diferença no período quente foi de 71%, sendo a maior média diária observada no plantio adulto. Maiores valores de  $DPV$  diários foram observados nos dias de medições das trocas gasosas no plantio jovem quando comprado aos dias de medições no plantio adulto no período quente, resultando em diminuição da  $g_s$  e  $E$  e, por fim, redução da taxa fotossintética nos plantios jovens, em consequência do fechamento estomático, a fim de reduzir a perda da água.

Os valores da  $g_s$  apresentaram maior variabilidade entre as idades no período quente (Figura 4), onde foram observadas maiores médias de  $g_s$  ao longo do dia para o plantio

adulto aquando comprado ao plantio jovem. Os valores da  $gs$  para esse período variaram de  $0,011 \text{ mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$  a  $0,078 \text{ mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$  (jovem) e  $0,081 \text{ mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$  a  $0,161 \text{ mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$  (adulto).

Os maiores valores de  $gs$  foram observados no período frio não havendo muita variação entre os plantios (Figura 4). Os valores de  $gs$  para esse período variaram de  $0,229 \text{ mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$  a  $0,368 \text{ mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$  (jovem) e de  $0,279 \text{ mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$  a  $0,323 \text{ mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$  (adulto).

No período intermediário o plantio adulto manteve as médias da  $gs$  um pouco maiores que aquelas observadas no plantio jovem, sendo que os valores variaram de  $0,128 \text{ mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$  a  $0,216 \text{ mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$  (jovem) e  $0,114 \text{ mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$  a  $0,238 \text{ mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$  (adulto) (Figura 4).

As médias diárias de  $gs$  apresentaram grande variação entre os períodos climáticos:  $0,301 \text{ mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ,  $0,175 \text{ mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$  e  $0,036 \text{ mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$  para o plantio jovem e  $0,304 \text{ mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ,  $0,199 \text{ mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$  e  $0,124 \text{ mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$  para o plantio adulto, respectivamente, nos períodos frio, intermediário e quente (Figura 4).

Contudo, entre os plantios somente foi observada maior diferença (71%) no período quente. Nos outros dois períodos a diferença entre os plantios jovem e adulto foi de 0,9% (frio) e 12% (intermediário).

Otto et al. (2013), estudando clones de *Eucalyptus* aos 23 meses de idade no Município de Eunápolis – BA (com precipitação média anual de 1250 mm, bem distribuída ao longo do ano), observou que todos os clones diminuíram a condutância estomática com o aumento do  $DPV$ , com queda de  $0,16 \text{ mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$  para cada 1 kPa de aumento no  $DPV$ . Isso explica os maiores valores de  $gs$  observados no período frio, que apresentou os menores valores de  $DPV$ , quando comparado ao período quente.

Rody (2013) observou que a  $gs$  apresentou maior variabilidade entre as idades apenas na estação chuvosa, onde os valores de  $gs$  foram  $0,49 \text{ mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$  para o plantio jovem e  $0,15 \text{ mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$  para o plantio adulto, em povoamentos clonais de *Eucalyptus grandis*, no município de Brasilândia – MS (precipitação média anual de 1300 mm).

Mielke et al. (2000), avaliando  $gs$  em plantios clonais de *E. grandis* em Aracruz, ES (precipitação anual média de 1400 mm) com idades próximas a 108 meses encontraram valores superiores (médias diárias de  $0,447 \text{ mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ) aos mensurados na idade adulta desse estudo (médias diárias de  $gs$  de  $0,304 \text{ mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$  no período intermediário).

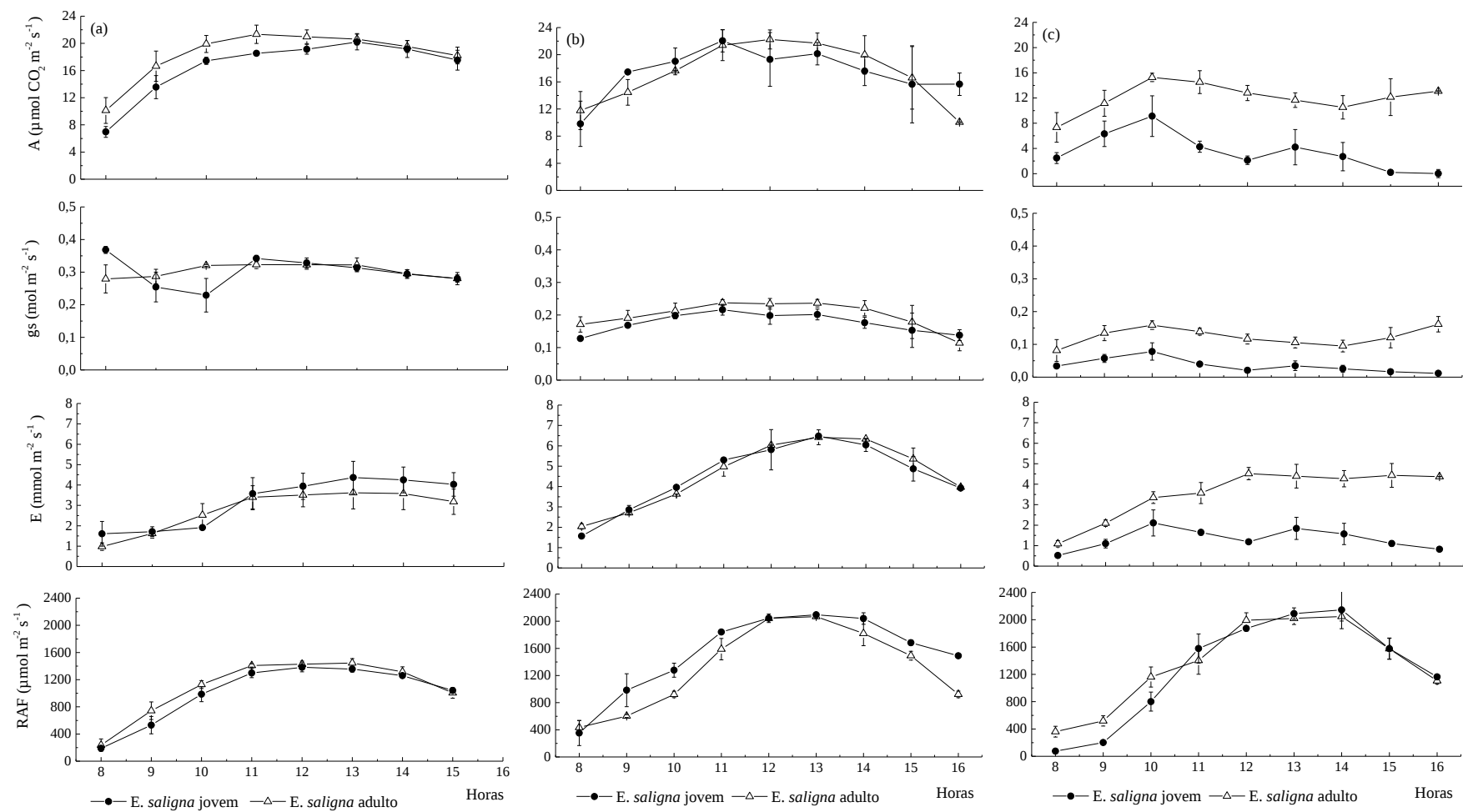


Figura 4. Variação horária da fotossíntese líquida (A), condutância estomática (gs), transpiração (E), radiação fotossinteticamente ativa (RFA) e desvios padrão nos plantios de *E. saligna* jovem e adulto nos períodos climáticos: frio (a), intermediário (b) e quente (c).

Carneiro et al. (2008) estudaram povoamentos clonais de híbridos de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*, com 14 meses após o plantio no município de Belo Oriente - MG (precipitação média anual de 1163 mm). Os autores observaram valores médios da condutância estomática variando entre 0,41 e 0,22 mol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> no plantio irrigado e entre 0,38 e 0,24 mol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> no não-irrigado. Também, verificou-se que a condutância estomática sofreu variação entre os períodos úmido e seco, a qual foi relacionada com algumas variáveis ambientais e umidade do solo.

Novamente, os maiores valores de *DPV* verificados no período quente (Figura 2), influenciaram negativamente o desempenho fisiológico dos plantios jovem e adulto de *Eucalyptus saligna*, reduzindo a taxa fotossintética e a condutância estomática.

Os maiores valores de *A* e *gs* foram geralmente observados entre 11:00 e 13:00 horas nos períodos frio e intermediário. Já no período quente, os valores de *A* e *gs* foram máximos as 10:00 horas, diminuindo posteriormente.

A transpiração média (*E*) apresenta, em geral, padrões distintos ao longo do dia (Figura 4). Maiores valores da *E* foram observados no período intermediário, não havendo grande variação ao longo do dia entre as idades. As médias diárias da *E* para os plantios jovem e adulto foram, respectivamente, 4,53 mmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> e 4,60 mmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>. Porém, nesse período também foram observadas as maiores amplitudes de *E*, valores máximos e mínimos de 6,48 mmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> e 1,56 mmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> (jovem) e 6,42 mmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> e 2,04 mmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> (adulto).

No período frio, o plantio jovem alcançou valores de *E* maiores que o plantio adulto após o meio dia (Figura 4). As médias diárias foram 3,17 mmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> (jovem) e 2,80 mmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> (adulto).

A *E* do plantio jovem foi reduzida no período quente (médias diárias de 1,32 mmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>). Já para o plantio adulto, a média diária foi de 3,56 mmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>, valor até maior que aquele observado no período frio.

Os dados de *E* seguiram a mesma tendência de comportamento de *gs*, conforme tem sido observado por alguns autores (MIELKE et al. 2000; CHAVES et al., 2004), uma vez que a transpiração se dá, principalmente, pela perda de água pelos estômatos (KRAMER e BOYER, 1995).

Rody (2013), estudando povoamentos clonais de *Eucalyptus grandis* jovem e adulto, no município de Brasilândia – MS (precipitação média anual de 1300 mm), notou que durante a estação chuvosa os valores de *E* do plantio jovem aos 17 meses pouco se diferencia da idade adulta, com valores médios diários de 2,27 mmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>

e  $2,24 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  respectivamente, diferentemente daquele aos cinco meses ( $7,76 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ). Resultado semelhante foi observado nesse estudo, onde notou-se pouca diferença nos valores médios de  $E$  entre os plantios jovem e adulto, para os períodos frio e intermediário. No entanto, os valores de  $E$  observados para esses períodos climáticos foram maiores que aqueles encontrados por Rody (2013) nos plantios jovem (17 meses) e adulto.

Os resultados de  $E$  encontrados no presente trabalho foram inferiores aquele observado por Tatagiba et al. (2015) ( $6,66 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ) em plantio clonal de eucalipto (híbrido *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus Urophylla*) com idade de 30 e 36 meses em São Mateus-ES (precipitação média anual de 1432 mm).

Segundo Carneiro et al. (2008), em solos com maior umidade, a tensão pela qual a água está aderida às partículas de solo é menor, sendo necessário menos quantidade de energia para o processo de transpiração, ou seja, menor quantidade de energia solar, menor déficit de pressão de vapor e menores temperaturas do ar são necessários para que o processo de transpiração seja intensificado.

Whitehead e Bidley (2004) relatam que a transpiração é impulsionada em grande parte, mas não totalmente, pelo  $DPV$ . No entanto, este também impõe uma restrição na transpiração porque a condutância estomática também diminui com o aumento do  $DPV$ .

As taxas de transpiração são influenciadas pela demanda evaporativa do ar, quantidade de água no solo e condutância da copa que, por sua vez, é controlada pela condutância estomática e área foliar. Os três fatores ambientais predominantes que controlam a condutância estomática da copa são: intensidade de luz,  $DPV$  e quantidade de água nas folhas (LANDSBERG e GOWER, 1997).

A radiação fotossinteticamente ativa ( $RFA$ ) foi semelhante nos dois plantios em todos os períodos climáticos. Os menores valores ocorreram no período frio ( $1382 \text{ } \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ) e os maiores no período quente ( $2144 \text{ } \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ).

O potencial hídrico foliar antemanhã ( $\Psi_w$ ) (Tabela 3) foi menor no plantio adulto quando comparado ao plantio jovem, em 49 e 33%, respectivamente, nos períodos frio e intermediário. No período quente ocorreu o inverso, o plantio jovem apresentou  $\Psi_w$  7% menor que o plantio adulto, fato esse explicado pelos menores valores de umidade do solo verificados nesse período para o plantio jovem, quando comprado aos outros períodos climáticos. Na idade do plantio jovem na qual o experimento foi conduzido o sistema radicular explora as camadas mais superficiais do solo, como verificado por

Carneiro et al. (2008) em estudo onde menor umidade do solo na camada de até 30 cm foi observada em comparação com aquelas entre 60 e 90 cm, que pode ser explicada em razão da maior concentração de raízes finas nessa camada.

Menores valores de  $\Psi_w$  nos dois plantios foram observados no período quente, sendo em média 68 e 42% menor, respectivamente, para os plantios jovem e adulto quando comparado aos períodos frio e intermediário (Tabela 3). Esse fato está relacionado com a redução na disponibilidade hídrica do solo, maiores valores de temperatura do ar, DPV (Figura 2) e radiação solar (Figura 4), observados no período quente.

Tabela 3. Médias do potencial hídrico foliar antemanhã (MPa) para plantios de *Eucalyptus saligna* jovem e adulto, em diferentes períodos climáticos, em Eldorado do Sul, RS.

| Período       | <i>E. saligna</i> jovem |                 |   |   | <i>E. saligna</i> adulto |                 |   |   |
|---------------|-------------------------|-----------------|---|---|--------------------------|-----------------|---|---|
| Frio          | -0,182                  | ( $\pm 0,036$ ) | A | b | -0,358                   | ( $\pm 0,039$ ) | A | a |
| Intermediário | -0,215                  | ( $\pm 0,025$ ) | A | b | -0,319                   | ( $\pm 0,034$ ) | A | a |
| Quente        | -0,623                  | ( $\pm 0,055$ ) | B | a | -0,581                   | ( $\pm 0,076$ ) | B | b |

As médias seguidas pela mesma letra maiúscula, na coluna, e mesma letra minúscula, na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Valores entre parênteses são os desvios padrão.

No período quente foram observados picos de redução no  $\Psi_f$  (Figura 5) nas horas mais quentes do dia, com valores máximos de -1,2 MPa e -2,2 MPa, respectivamente para os plantios jovem e adulto. Pereira et al. (2006), avaliando os efeitos do estresse hídrico nas características fisiológicas de dois clones de *Eucalyptus urograndis*, Botucatu-SP, também observaram menores potenciais hídricos nos horários mais quentes do dia, devido a várias razões, como o aumento da resistência difusiva dos estômatos.

Em todos os períodos climáticos observa-se maiores valores de  $\Psi_f$  ao longo do dia no plantio adulto em relação ao plantio jovem (Figura 5).

O potencial hídrico foliar pode representar o estresse hídrico que a planta está submetida. Esse parâmetro indica o grau de hidratação de uma planta e reflete as condições da dinâmica do processo do transporte no sistema solo-água-planta, constituindo o principal componente responsável pelo fluxo de água (PEREIRA et al., 2006).

No período quente os menores valores de potencial hídrico foliar são decorrentes de menores valores de umidade do solo (Figura 2) e totais mensais de precipitação. Quando o potencial hídrico da planta é reduzido, há uma diminuição da abertura estomática e, conseqüentemente, redução do potencial fotossintético.

Portanto, menores valores de  $A_{max}$ ,  $A$  e  $g_s$  observados para os plantios jovem e adulto no período quente estão diretamente relacionados aos maiores valores de temperatura do ar,  $DPV$ , radiação global (Figura 2) e potencial hídrico foliar (Tabela 3 e Figura 5) verificados nesse período.

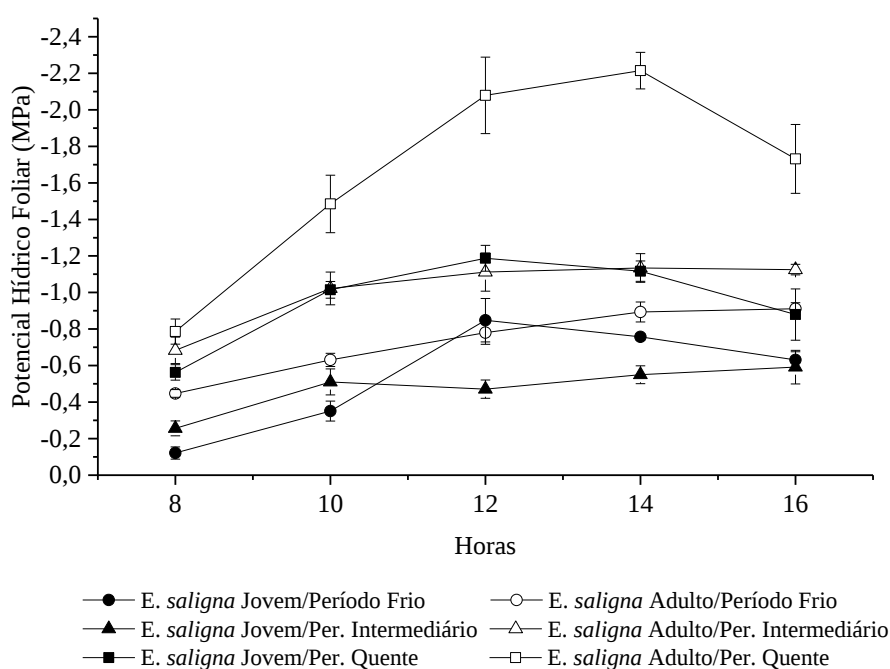


Figura 5. Curso diário do potencial hídrico foliar e respectivos desvios padrão nos plantios de *Eucalyptus saligna* jovem e adulto nos períodos climáticos: frio, intermediário e quente.

Segundo Mielke et al. (2000), é provável que a condutância estomática dependa do potencial hídrico da folha, que diminui sob condições de estresse. Esses autores observaram, avaliando plantios clonais de *E. grandis* em Aracruz, ES (precipitação anual média de 1400 mm) com idades próximas a 108 meses, que a  $RFA$ , o  $DPV$  e o potencial hídrico foliar foram os fatores mais importantes no controle da  $g_s$ . Enquanto que  $RFA$  e  $DPV$  foram as principais variáveis microclimáticas controlando  $A$ .

Reis (2014) e Rody (2013) observaram valores de fotossíntese líquida maiores nos cultivos de *Eucalyptus grandis* jovem quando comprado ao adulto em Brasilândia - MS, justificado pelo rápido crescimento dos plantios no início do ciclo. No entanto,

esses resultados para regiões tropicais divergem daqueles observados nesse estudo, onde o plantio adulto apresentou taxas fotossintéticas semelhantes nos períodos frio e intermediário e valores maiores de fotossíntese no período quente quando comparado ao plantio jovem (Figura 4). Deve-se lembrar que maiores valores de *DPV* e temperatura do ar (Figura 2) foram observados nos dias de medições das trocas gasosas no plantio jovem. Esse fato pode ter contribuído para que esse plantio reduzisse o potencial fotossintético no período quente. Contudo, o plantio adulto apresentou menores valores diários de potencial hídrico foliar ao longo do dia (Figura 5) em todos os períodos climáticos considerados nesse trabalho. Quando o potencial hídrico da planta é reduzido, há uma diminuição da abertura estomática e, conseqüentemente, redução do potencial fotossintético. Portanto, o plantio adulto também foi penalizado com menores potenciais hídricos foliares.

Isso demonstra que regiões subtropicais são diferentes das tropicais e não se deve considerar padrão que plantios jovens de *Eucalyptus* sempre apresentam maiores taxas fotossintéticas e, conseqüentemente, maiores taxas de crescimento quando comparados a plantios adultos.

Não houve fotoinibição para as idades de eucalipto em nenhum período climático estudado, já que os valores da relação *Fv/Fm* variaram de 0,784 a 0,845 (Tabela 5) e estão dentro da faixa de 0,75 a 0,85, considerada para plantas em condições ambientais ótimas (BJÖRKMAN e POWLES, 1984).

Tabela 5. Relação *Fv/Fm* para plantios jovens e adulto de *E. saligna*, em diferentes períodos climáticos, em Eldorado do Sul, RS.

| Período       | <i>E. saligna</i> jovem |          |   |   | <i>E. saligna</i> adulto |          |   |   |
|---------------|-------------------------|----------|---|---|--------------------------|----------|---|---|
| Frio          | 0,784                   | (±0,019) | B | b | 0,831                    | (±0,024) | A | a |
| Intermediário | 0,845                   | (±0,011) | A | a | 0,836                    | (±0,012) | A | a |
| Quente        | 0,837                   | (±0,008) | A | a | 0,826                    | (±0,007) | A | b |

As médias seguidas pela mesma letra maiúscula, na coluna, e mesma letra minúscula, na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Tatagiba et al. (2015) também não verificaram fotoinibição em plantio clonal de eucalipto (híbrido *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus Urophylla*) com idade de 30 a 36 meses em São Mateus-ES (precipitação média anual de 1432 mm). Segundo Whitehead e Bidley (2004), a fotoinibição ocorre em espécies de eucalipto, no entanto, reduções na máxima capacidade fotoquímica do fotossistema II são pequenas e rapidamente revertidas.

#### 4. Conclusão

Diferentemente do que é observado em regiões tropicais produtoras de eucalipto, verifica-se maior potencial fotossintético ( $A_{max}$  e  $A$ ) nos plantios adultos (idade maior que 57 meses) em relação aos plantios jovens, exceto no período intermediário onde foi verificado valores semelhantes para os dois plantios.

Ao se comparar o potencial fotossintético entre os períodos climáticos estudados, verifica-se redução do mesmo, para os plantios jovem e adulto, nos períodos quente (redução nos valores de  $A_{max}$ ,  $\alpha$ ,  $A$  e  $gs$ ) e frio (redução nos valores de  $A_{max}$  e  $\alpha$ ).

As maiores reduções das taxas fotossintéticas foram observadas no período quente no plantio jovem.

#### 5. Referência bibliográficas

BARNARD, H. R.; RYAN, M. G. A test of the hydraulic limitation hypothesis in fast-growing *Eucalyptus saligna*. Plant, Cell and Environment, v. 26, p. 1235 – 1245, 2003.

BJÖRKMAN, O.; POWLES, S. B. Inhibition of photosynthetic reactions under water stress: interaction with light level. Planta, v. 161, p. 490-504, 1984.

BRUN, E. J.; FERRAZ, M. O.; ARAÚJO, E. F. Relação entre o acúmulo de serapilheira sobre o solo e variáveis dendrométricas em povoamento híbrido de *Eucalyptus urophylla* x *E. globulus maidenii*, em Eldorado do Sul/RS. Ecologia e Nutrição Florestal, Santa Maria-RS, v. 1, n. 1, p. 24-31, 2013.

CARNEIRO, R. L. C.; RIBEIRO, A.; HUAMAN, C. A. M.; LEITE, F. P.; SEDIYAMA, G. C.; BARROS, N. F. Consumo de água em plantios de eucalipto - Parte 1: Determinação da condutância estomática em tratamentos irrigados e não irrigados. Revista Árvore, v. 32, p. 1-10, 2008.

CHAVES, J. H.; REIS, G. G.; REIS, M. G. F.; NEVES, J. C. L.; PEZZOPANE, J. E. M.; POLLI, H. Q. Seleção precoce de clones de eucalipto para ambientes com disponibilidade diferenciada de água no solo: relações hídricas de plantas em tubetes. Revista Árvore, Viçosa-MG, v.28, n.3, p. 333-341, 2004.

KRAMER, P. J., BOYER, J. S. Water relations of plants and soils. San Diego, 495 p., 1995.

LAMPRECHT, H. Silvicultura nos trópicos. [s.l]: Eschborn, 343 p., 1990.

LARCHER, W. Ecofisiologia vegetal. São Carlos: RiMa, 2006. 550 p.

LANDSBERG, J. J.; WARING, R. H. A generalised model of forest productivity using simplified concepts of radiation-use efficiency, carbon balance and partitioning. *Forest Ecology and Management*, Amsterdam, v. 95, n. 3, p. 209-228, 1997.

LIMA, E. A.; SILVA, H. D.; LAVORANTI, O. J. Caracterização dendroenergética de árvores de *Eucalyptus benthamii*. *Pesquisa Florestal Brasileira*, Colombo, v. 31, n. 65, p. 09-17, 2011.

MARCHIORI, J. N. C.; SOBRAL, M. *Dendrologia das Angiospermas – myrtales*. Santa Maria: Ed. UFSM, 213-241 p., 1997.

McGARVEY, R. C.; MARTIN, T. A.; WHITE, T. L. Integrating within-crown variation in net photosynthesis in loblolly and slash pine families. *Tree Physiology*, Victoria, v. 24, p. 1209-1220, 2004.

MIELKE, M. S.; OLIVA, M. A.; BARROS, N. F.; PENCHEL, R. M.; MARTINEZ, C. A.; FONSECA, S.; ALMEIDA, A. C. A Leaf gas exchange in a clonal eucalypt plantation as related to moisture, leaf water potential and microclimate variables. *Trees*, v. 14, p. 263-270, 2000.

OTTO, M. S. G.; VERGANI, A. R.; GONÇALVES, N. A.; VRECHI, A.; SILVA, R. S.; STAPE, J. S. Fotossíntese, condutância estomática e produtividade de clones de *Eucalyptus* sob diferentes condições edafoclimáticas. *Revista Árvore*, Viçosa, v.36, n.3, p.431-439, 2013.

PEREIRA, M. R. R.; KLAR, A. E.; SILVA, M. R.; SOUZA, R. A.; FONSECA, N. R. Comportamento fisiológico e morfológico de clones de *Eucalyptus urograndis* submetidos a diferentes níveis de água no solo. *Irriga*, Botucatu, v. 11, n. 4, p. 518-531, 2006.

PRADO, C. H. B. A.; MORAES, J. A. P. V. Photosynthetic capacity and specific leaf mass in twenty woody species of Cerrado vegetation under field conditions. *Photosynthetica*, v. 33, p. 103-112, 1997.

REIS, M. G. R. Partição da radiação fotossinteticamente ativa e trocas gasosas em cultivos de eucalipto e Cerrado. 2014. 56 f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia Agrícola) – Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2014.

RODY, Y. P. Balanço de carbono e trocas gasosas nos diferentes compartimentos em plantios de eucalipto. 2013. 97 f. Tese (Doutorado em Meteorologia Agrícola) – Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2013.

RYAN, M. G.; STAPE, J. L.; BINKLEY, D.; FONSECA, S.; LOOS, R. A.; TAKAHASHI, E. N.; SILVA, C. R.; SILVA, S. R.; HAKAMADA, R. E.; FERREIRA, J. M.; LIMA, A. M. N.; GAVA, J. L.; LEITE, F. P.; ANDRADE, H. B.; ALVES, J. M.; SILVA, G. G. C. Factors controlling *Eucalyptus* productivity: How water availability and stand structure alter production and carbon allocation. *Forest Ecology and Management*, Amsterdam, v. 259, p. 1695-1703, 2010.

SANTOS, G. A.; RESENDE, M. D. V.; SILVA, L. D.; HIGA, A.; ASSIS, T. F. Adaptabilidade de híbridos multiespécies de *Eucalyptus* ao estado do Rio Grande do Sul. Revista Árvore, Viçosa-MG, v.37, n.4, p.759-769, 2013.

SCHOLANDER, P. F.; HAMMEL, H. T.; BRADSTRET, E. D.; HEMMINGSEN, E. A. Sap pressure in vascular plants. Science, Cambridge, v. 148, p. 339-346, 1965.

SILVA, E. A.; SILVA, C. A.; SILVA, I. R.; MARQUES, J. J. G. S. M.; ARAUJO, E. F.; CARVALHO, S. A.; SILVA, S. H. G.; CURI, N. Frações de carbono em topossequências de solos sob eucalipto com diferentes históricos de uso. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 36, p. 1167-1178, 2012.

SOUZA, M. J. H.; RIBEIRO, A.; LEITE, H. G.; LEITE, F. P.; MINUZZI, R. B. Disponibilidade hídrica do solo e produtividade do eucalipto em três regiões da bacia do Rio Doce. Revista Árvore, Viçosa, v. 30, n. 3, p. 399-410, 2006.

STAPE, J. L.; BINKLEY, D.; RYAN, M. G.; GOMES, A. N. Water use, water limitation and water use efficiency in a *Eucalyptus* plantation. Bosque, v.25, n.2, p.35-41, 2004.

STAPE, J. L.; BINKLEY, D.; RYAN, M. G.; FONSECA, S.; LOOS, R.; TAKAHASHI, E.N.; SILVA, C. R.; SILVA, S.; HAKAMADA, R. E.; FERREIRA, J. M.; LIMA, A. M.; GAVA, J. L.; LEITE, F. P.; SILVA, G.; ANDRADE, H.; ALVES, J. M. The Brazil *Eucalyptus* potential productivity project: influence of water, nutrients and stand uniformity on wood production. Forest Ecology and Management, Amsterdam, v. 259, p. 1686–1694, 2010.

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

TATAGIBA, S. D.; PEZZOPANE, J. E. M.; REIS, E. F. Relações hídricas e trocas gasosas na seleção precoce de clones de eucalipto para ambientes com diferenciada disponibilidade de água no solo. Floresta, Curitiba, PR, v. 38, n. 2, 2008.

TATAGIBA, S. D.; PEZZOPANE, J. E. M.; REIS, E. F. Fotossíntese em *Eucalyptus* sob diferentes condições edafoclimáticas. Engenharia na agricultura, Viçosa - MG, v. 23, n. 4, 2015.

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.

VIERA, M.; SCHUMACHER, M. V.; ARAÚJO, E. F.; CORRÊA, R. S.; CALDEIRA, M. V. W. Deposição de serapilheira e nutrientes em plantio de *Eucalyptus urophylla* × *E. globulus*. Floresta e Ambiente, v. 21, n. 3, p. 327-338, 2014.

WHITEHEAD, D.; BEADLE, C.L. Physiological regulation of productivity and water use in *Eucalyptus*: a review. Forest Ecology and Management, Amsterdam, v. 193, p.113-140, 2004.

### CAPÍTULO III

#### Estimativa da produtividade potencial para *Eucalyptus saligna* na Região Sul do Brasil

##### RESUMO

Neste trabalho, realizou-se a parametrização, calibração e validação do modelo 3-PG para plantios de eucalipto na Região Sul do Brasil. Para tanto, foi conduzido um estudo em povoamentos clonais de *Eucalyptus saligna*, em Eldorado do Sul – RS, ao longo de um ciclo produtivo (12 a 103 meses). Foram coletados dados de diâmetro a altura do peito (*DAP*), altura total, (*H*), biomassa da parte aérea e raiz e volume de lenho (*V*). Foram determinadas também a área foliar específica (*AFE*) e a fração de galho e casca em relação à biomassa da parte aérea (*FGC*) excluindo as folhas. Também foi estimado o índice de área foliar (*IAF*) ao longo do ciclo. A taxa de queda de serrapilheira foi monitorada por meio de coletores de 0,7 x 0,7 m. A variação da alocação de biomassa ao longo da idade acompanha a tendência geral observada para diversas espécies, os componentes lenho e casca aumentaram sua proporção ao longo do ciclo, respectivamente, de 34,0 para 89,0% e 5,9 para 6,8%, em relação a biomassa total. Já os componentes folhas, galhos e raízes diminuíram a proporção em relação a biomassa total com o passar do tempo (12 para 103 meses) em 15,0 para 1,0%, 16,0 para 3,3% e 29,0 para 16,0%, respectivamente. O incremento médio anual (*IMA*) sem casca aos 103 meses de idade foi de  $51 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ , muito acima da produtividade média dos plantios brasileiros de eucalipto. Os plantios apresentam altos valores de *AFE* (7,5 a  $9,0 \text{ m}^2 \text{ kg}^{-1}$ ). Os valores de *IAF* foram crescentes até o valor máximo de 4,03 aos 29 meses de idade, com posterior redução, onde então o *IAF* ficou oscilando entre 3,1 e 2,2, consequência da sazonalidade do clima com quedas do *IAF* no inverno e verão. A máxima deposição de serrapilheira (60 meses) foi de  $3,07 \text{ ton ha}^{-1}$ , e as maiores quedas de serrapilheira ocorrem nos meses de janeiro e fevereiro. Dados de inventário florestal contínuo (base anual) foram utilizados para validar o modelo. O desempenho do modelo foi satisfatório ao simular o crescimento de florestas de eucalipto. As estimativas obtidas pelo modelo apresentaram correlação com os dados observados, tanto na etapa de calibração, quanto na de validação.

**Palavras – chave:** *Eucalyptus*, modelagem de crescimento, produtividade, clima subtropical.

## 1. Introdução

O setor brasileiro de florestas plantadas, principalmente aquelas com espécies de *Eucalyptus*, é um dos propulsores do desenvolvimento econômico do Brasil, gerando cerca de 56,3 bilhões de reais de faturamento anual e de 7,6 bilhões de reais em arrecadação de tributos. As áreas de florestas plantadas no Brasil são da ordem 7 milhões de ha, sendo que, 5,10 milhões de ha são plantios do gênero *Eucalyptus*. Os estados de Minas Gerais, São Paulo, Paraná, Bahia, Santa Catarina, Mato Grosso do Sul e Rio Grande do Sul se destacam no cenário nacional como detentores de 87,1% da área total de plantios florestais (ABRAF, 2013).

No Brasil, as florestas plantadas são responsáveis por 100% do suprimento nacional de madeira para a indústria da celulose, além de suprirem as indústrias moveleira e siderúrgica e contribuírem para a conservação e preservação de formações nativas (SAUSEN, 2011). O gênero *Eucalyptus* é um dos mais adotados nos programas de reflorestamento, por apresentar características como rápido crescimento, alta produtividade e boa adaptação às diferentes condições edafoclimáticas (BERGER et al., 2002; REIS et al., 2014).

O estado do Rio Grande do Sul conta com cerca de 450 mil ha de florestas plantadas, sendo 285 mil ha de plantios de eucalipto (ABRAF, 2013) e tem se mostrado promissor à expansão da silvicultura, como uma área de interesse para a implantação de novos plantios de eucalipto. O eucalipto saligna é uma das espécies mais plantadas no estado devido à alta capacidade produtiva nessa região (LIMA et al. 2011).

Uma alternativa para a quantificação da produção florestal potencial é o emprego de modelos baseados em processos (MBP), os quais consideram os mecanismos físicos, químicos e biológicos responsáveis pelo ganho e a alocação de carbono, o uso dos recursos do meio, e como esses processos são influenciados por fatores ambientais (SIMIONI et al., 2008).

Os modelos de tomada de decisão florestal ou silvicultural, que tem como variáveis de entrada dados climáticos, são cada vez mais essenciais no planejamento das atividades florestais. Dentre estes, destaca-se a modelagem ecofisiológica do desenvolvimento de florestas plantadas, sendo uma ferramenta útil ao planejamento estratégico para implantação e condução de plantios florestais.

A adoção de modelos de crescimento baseados em processos parece ser uma alternativa promissora ao uso de modelos empíricos, já que os primeiros são mais

responsivos a mudanças ambientais e nas condições do sítio e têm alta capacidade preditiva e maior capacidade de extrapolação, permitindo, também, a investigação e avaliação dos fatores que influem no crescimento e produtividade florestal (KORZUKHIN et al., 1996).

Dentre os diversos modelos existentes, o 3-PG (Physiological Principles in Predicting Growth), desenvolvido por Landsberg e Waring (1997), é um modelo baseado em processos que utilizam princípios fisiológicos para estimar a produtividade de povoamentos florestais equiâneos.

Uma das vantagens desse modelo está no fato de permitir o acompanhamento do desenvolvimento de variáveis de importância para o gerenciamento florestal (índice de área foliar-IAF, incremento médio anual-IMA, volume, diâmetro a altura do peito-DAP, altura, área basal, etc.) em nível de talhão, devido à possibilidade de sua alimentação com dados climáticos gerados de forma contínua pelas estações meteorológicas distribuídas em campo.

Neste sentido, este trabalho teve por objetivo, apresentar os procedimentos necessários para parametrizar, calibrar e validar o modelo 3-PG para plantios de eucalipto localizados na região Sul do Brasil.

### 1.1 Descrição do modelo 3-PG

O modelo 3-PG consiste basicamente de cinco submodelos: produção de biomassa; alocação de biomassa entre folhas, raízes e lenho (incluindo galhos e cascas); mortalidade de árvores; balanço de água no solo e um módulo para converter biomassa em variáveis de interesse para manejo florestal.

A descrição completa do modelo é fornecida por Landsberg e Waring (1997), Sands e Landsberg (2002). Essencialmente, o 3-PG estima a quantidade de radiação fotossinteticamente ativa absorvida pelo dossel (RFAA) por meio da lei de Beer, que é convertida em carboidratos e alocada nos diferentes componentes da árvore (folhas, lenho e raízes). Considera-se que a radiação fotossinteticamente ativa (RFA) é 50% da radiação solar global.

A lei de Beer descreve o decréscimo exponencial da radiação, ao percorrer verticalmente toda extensão da cobertura vegetal, por meio da equação 1 (LARCHER, 2000):

$$I_z = I_0 e^{-k IAF} \quad (\text{Eq. 1})$$

Em que:

$I_z$  = intensidade da radiação a uma determinada altura dentro da cobertura vegetal,  $W m^{-2}$ ;  $I_0$  = intensidade de radiação no topo da cobertura vegetal, representa a RFA,  $W m^{-2}$ ;  $k$  = coeficiente de extinção ou atenuação, representa o grau de diminuição da radiação no interior da cobertura vegetal, seja por absorção ou espalhamento;  $IAF$  = soma total da superfície foliar, de cima para baixo, até a altura  $z$ , por unidade de área de solo ( $IAF$  acumulado).

É quantificada a radiação fotossinteticamente ativa absorvida (RFAA) pelo dossel, e o 3-PG estima a quantidade de  $CO_2$  fixado por unidade de energia radiante absorvida, que representa a eficiência quântica do dossel ( $\alpha_c$ ). O valor dessa eficiência de conversão é calculado a partir de um valor de eficiência quântica máxima do dossel ( $\alpha_{cx}$ ) e considera as limitações ambientais impostas pelo déficit de pressão de vapor ( $f_{VPD}$ ), pela temperatura ( $f_T$ ), pelas geadas ( $f_F$ ), pela disponibilidade hídrica ( $f_A$ ), nutricional ( $f_N$ ) e pela idade da população ( $f_I$ ) (equações 2 e 3).

Após a consideração de todas essas limitações, por meio dos moduladores, o 3-PG estimará o relacionamento entre a produção primária bruta (PPB) e a RFAA:

$$P_{PB} = \alpha_c RFAA \quad (\text{Eq. 2})$$

$$\alpha_c = \alpha_{cx} f_T f_F f_N \varphi \quad (\text{Eq. 3})$$

Em que:  $P_{PB}$  = produção primária bruta,  $mol C$ ;  $RFAA$  = radiação fotossinteticamente ativa absorvida,  $W m^{-2}$ .

A relação entre produção primária líquida ( $P_{PL}$ ) e  $P_{PB}$  será equivalente a um coeficiente de uso de carbono.

As principais variáveis de entrada do modelo serão: climatológicas (médias mensais de temperatura, radiação global e precipitação); latitude e longitude; solo (fertilidade, textura, disponibilidade de água); planta (biomassa inicial de folha, lenho e raízes, número de árvores, coeficientes de equações alométricas; e as fisiológicas: eficiência quântica e condutância estomática máxima do dossel vegetativo.

A partir desses dados, o modelo estimará, em intervalos mensais: biomassa de tronco, folhas e raízes, diâmetro do caule, área basal do povoamento, balanço de água

no solo, índice de área foliar (IAF), queda de serapilheira, densidade e volume do lenho).

## 2. Material e métodos

### 2.1. Caracterização da área de estudo

O estudo foi desenvolvido no horto florestal Terra Dura (latitude 30°11'6,846"S e longitude 51°37'16,751"W, e altitude de 115 metros), localizado no município de Eldorado do Sul – RS, em área pertencente a Empresa CMPC (Figura 1).

Segundo a classificação de Köppen, o clima da região é subtropical úmido do tipo Cfa, com estações de verão e inverno bem definidas, precipitação bem distribuída ao longo do ano e inexistência de estação seca definida. A precipitação total média anual é de 1440 mm e a temperatura média anual do ar de 19,6 °C, de acordo com as normais climatológicas do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET).

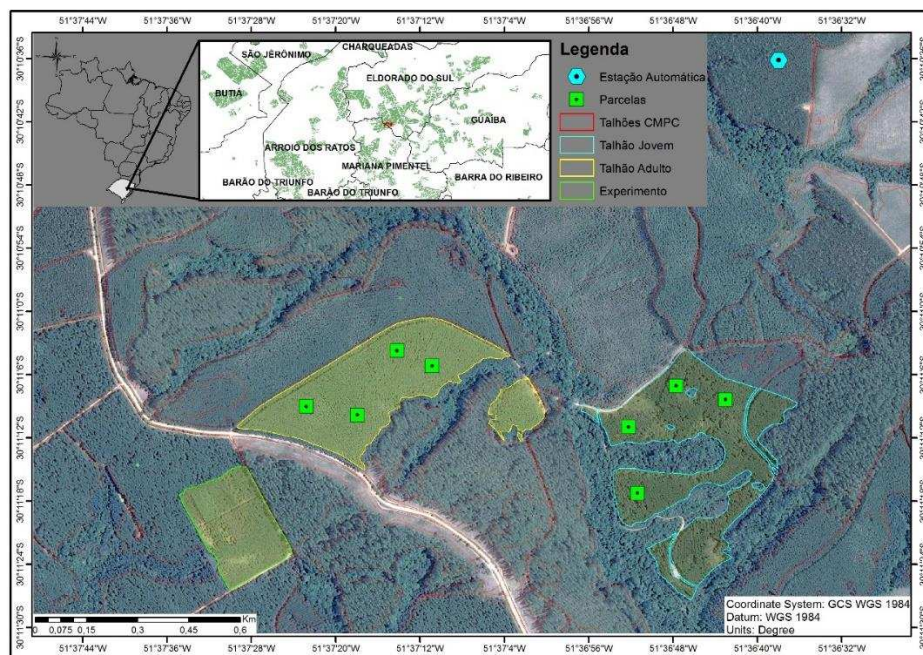


Figura 1. Localização da área de estudo: talhões jovem e adulto de *Eucalyptus saligna* com as parcelas fixas, experimento com plantio jovem de *E. saligna* e estação automática micrometeorológica, município de Eldorado do Sul – RS.

O experimento contemplou dois talhões comerciais de *Eucalyptus saligna* onde foram coletados os dados necessários para realizar a parametrização do modelo nas idades de 24 a 36 meses (talhão jovem) e 47 e 57 meses (talhão adulto) (Figura 1). O plantio do talhão jovem ocorreu em 2010 com espaçamento de 3,0 x 3,0 m (área de 16 ha). O talhão adulto foi plantado em 2008 com espaçamento de 3,5 x 2,14 m (área de 13,7 ha). Em cada talhão foram instaladas em julho de 2012, 4 parcelas permanentes (cada uma com 900 e 749 m<sup>2</sup> de área, respectivamente, para os talhões jovem e adulto) com 10 linhas e 10 plantas por linha (100 plantas cada parcela).

Os dados referentes a idade de 12 meses foram provenientes de um experimento instalado em abril de 2012, onde foram plantadas mudas de *E. saligna* dispostas em 10 linhas e 15 plantas por linha em espaçamento de 3,0 x 3,0 m (total de 150 plantas), constituindo uma parcela (1350 m<sup>2</sup>) (Figura 1).

Já as informações para fechamento do ciclo aos 103 meses de idade foram coletadas em um talhão com o mesmo material genético, próximo aos demais talhões considerados no estudo.

O solo da área de estudo é um Argissolo Vermelho distrófico típico (SILVA et al., 2012; BRUN et al., 2013; VIERA et al., 2014).

## 2.2. Dados meteorológicos

Os dados meteorológicos utilizados na simulação do 3-PG compreendem os anos de 2008 a 2015 e procederam de estação automática pertencente à Empresa, localizada a aproximadamente dois km de distância das parcelas. Foram coletados dados de temperatura do ar, precipitação, umidade relativa, direção e velocidade do vento, radiação solar global e radiação fotossinteticamente ativa. O registro de médias ou integrações ocorreu em intervalos de 60 minutos.

Para avaliar o suprimento hídrico local, realizou-se o balanço hídrico climatológico pelo método de Thornthwaite e Mather (1955), com base em Rolim, Sentelhas e Barbieri (1998). Já para avaliar a evapotranspiração potencial (ETP), usou-se o método de Thornthwaite (1948).

A Capacidade de Água Disponível (CAD) utilizada foi determinada pelos valores do conteúdo de água entre a capacidade de campo e o ponto de murcha permanente, obtidos por meio das curvas de retenção de água no solo obtida em laboratório de física de solo e considerando a profundidade do sistema radicular. Desta

forma, as CAD's determinadas para os plantios jovens e adultos foram 200 mm e 300 mm, respectivamente.

Verifica-se alguns períodos com deficiência hídrica no verão e picos de excedente hídrico, principalmente na primavera (Figura 2). Valores máximos de temperatura ocorreram no ano de 2010 (24,7°C). Nos anos de 2008 e 2009 o valor máximo para a temperatura do ar foi de 23°C. Em 2011 foi de 22,2°C e 2012 e 2013 foi de 22,9°C. Temperaturas média mínimas de 12,3 °C e 11,3 °C foram observadas, respectivamente, para os anos de 2008, 2010 e 2011, e 2009, 2012 e 2013. Maiores amplitudes térmicas ocorreram em 2012 (12,5 °C) e menores em 2011 (10°C).

O ano de 2009 apresentou a maior precipitação e, conseqüentemente, menores valores de radiação. Nos três últimos anos do ciclo houve redução nos valores de precipitação anual e aumento da radiação. Destaca-se o ano de 2011 em que foram observados menores valores de precipitação (Figura 3).

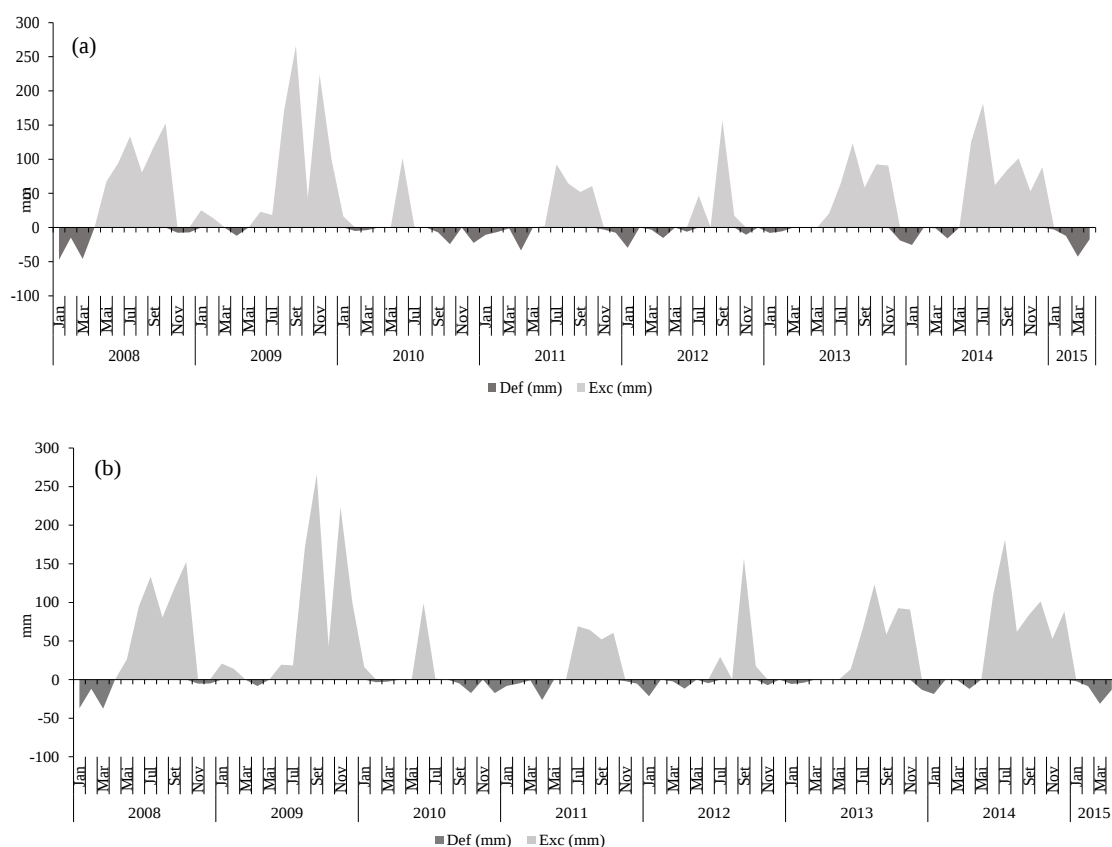


Figura 2. Balanço hídrico diário e temperatura média do ar diária no período de 01/2008 a 04/2015 em áreas dos plantios jovem (a) e adulto (b). Def = Déficit hídrico e Exc = Excedente hídrico.

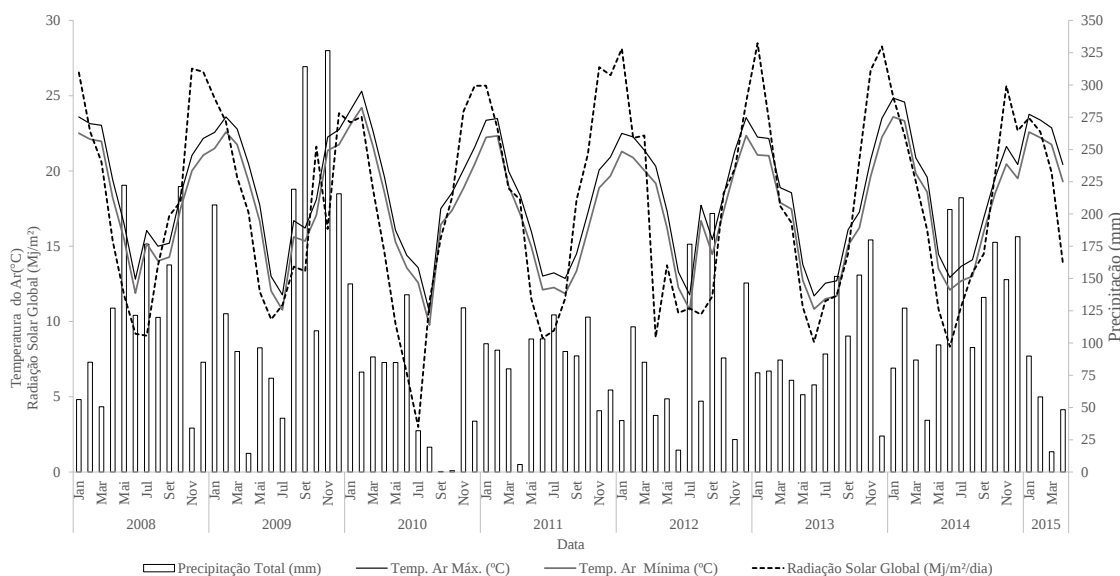


Figura 3. Caracterização do clima durante o período de crescimento dos plantios de *E. saligna*, Eldorado do Sul, RS.

### 2.3. Parametrização do Modelo 3-PG

A parametrização de um dado modelo se refere a obtenção do ajuste de relacionamentos e, ou, de equações matemáticas, que descrevem o comportamento de determinadas variáveis, por meio da utilização de dados medidos em campo (SANDS e LANDSBERG, 2002).

Nas parcelas instaladas no experimento descrito anteriormente, foram realizadas campanhas para obtenção dos dados de biomassa e dos dados dendrométricos como altura total e diâmetro a altura do peito (DAP) das árvores.

Foi realizado o inventário (medição DAP e altura) de todas as árvores de cada parcela. Posteriormente, foram selecionadas três árvores que apresentaram características médias de diâmetro à altura do peito (DAP) e altura total, fora da parcela, para serem abatidas. Após o abate, os componentes da árvore (folha, galhos, casca e lenho) foram separados e pesados (matéria fresca). Para a estimativa do peso da matéria seca desses componentes, após a homogeneização, foi retirada uma amostra daquela pesada anteriormente (matéria fresca) e posta a secar em estufa de circulação forçada a 65 °C, até peso constante. A partir do peso da matéria fresca total de cada compartimento e da relação média entre o peso da matéria seca e fresca de cada amostra, foi obtido o peso da matéria seca total dos respectivos compartimentos para cada árvore abatida.

A biomassa de raízes foi coletada em uma das três árvores selecionadas por parcela com DAP médio. A cada 20 cm de profundidade do solo foram separadas por meio de peneiramento e pesadas (matéria fresca) todas as raízes encontradas em uma área de 9 m<sup>2</sup> em torno da árvore, até a profundidade do final da raiz. O procedimento para estimativa do peso da matéria seca foi realizado como descrito anteriormente para os componentes folha, galhos, casca e lenho.

Também foi realizada a cubagem rigorosa das árvores para determinação do volume real em m<sup>3</sup>, através da fórmula proposta por Smalian (FINGER, 1992). As posições para obtenção das medidas de diâmetro foram relativas à altura total da árvore obtida por trena, com 16 posições de coleta, assim definidas: 0%, 1%, 2%, 3%, 4%, 5%, 10%, 15%, 25%, 35%, 45%, 55%, 65%, 75%, 85% e 95% da altura total.

A partir dos dados dendrométricos foram ajustadas equações alométricas (Equações 4 a 6) que descrevem o relacionamento entre a biomassa de galhos + casca + lenho (“stem”) ( $W_{GT}$ ), volume de lenho ( $V$ ) e altura total ( $H$ ) em função do diâmetro a 1,30 m de altura ( $DAP$ ) (LANDSBERG e WARING, 1997; SANDS e LANDSBERG, 2002).

$$W_{GT} = a_s DAP^{n_s} \quad (\text{Eq. 4})$$

$$H = a_H DAP^{n_{HB}} \quad (\text{Eq. 5})$$

$$V = a_V DAP^{n_V} \quad (\text{Eq. 6})$$

Em que  $a_s$ ,  $a_H$  e  $a_V$  são coeficientes multiplicativos ajustados; e  $n_s$ ,  $n_V$  e  $n_{HB}$ , coeficientes potenciais ajustáveis.

Para determinação da taxa de queda de serrapilheira foram distribuídos quatro coletores de serrapilheira em cada parcela. Os coletores são constituídos por telas de náilon (tipo sombrite), fixadas horizontalmente em molduras de madeira de 0,7 m x 0,7 m (0,5 m<sup>2</sup> de superfície) e mantidas a uma altura de 30 cm acima da superfície do solo. Estes foram dispostos em dois pontos na linha e dois pontos na entrelinha. A deposição de serrapilheira foi quantificada, mensalmente, separando folhas de galhos, até fevereiro de 2015. Após a pesagem do material coletado nos quatro coletores em cada parcela e determinação da matéria seca de cada amostra, foi estimada a deposição

média mensal da serapilheira, sendo os valores expressos em ton de matéria seca/ha/mês.

Para avaliar a variação fração de galhos e cascas em relação à biomassa da parte aérea excluindo as folhas (FGC) e da área foliar específica (AFE) em função da idade dos povoamentos, foram ajustados modelos não lineares, propostos por Sands e Landsberg (2002), utilizando o software Statistica 7.0, pelo procedimento (Nonlinear Estimation\User-specified regression, custom loss function\Quasi-Newton).

$$Y = b_1 + (b_0 - b_1) \exp\left(-0,69315 \left(\frac{Idade}{t}\right)^n\right) \quad (\text{Eq. 7})$$

Em que  $Y$  é a variável correspondente (densidade ou FGC);  $b_0$  o valor da variável na idade inicial do povoamento;  $b_1$  o valor da variável na idade final do povoamento;  $t$  a idade no qual a variável corresponde a  $\frac{1}{2}(b_0 - b_1)$ ;  $n$  a potência ajustável.

Para determinar a área foliar específica (AFE), que é a relação entre a área superficial das folhas e o peso da matéria seca das folhas ( $\text{m}^2 \text{ kg}^{-1}$ ), foi retirada uma amostra de 150 folhas (50 folhas em cada terço da copa da árvore) no momento da quantificação da biomassa das árvores médias. As folhas foram conduzidas para o laboratório em sacolas plásticas mantidas refrigeradas em caixa de isopor. A AFE ( $\text{m}^2 \text{ kg}^{-1}$ ) foi calculada pela relação entre área foliar, determinada em um medidor de área foliar LI-3100 (LI-Cor, EUA), e da massa seca das folhas.

Foi estimado o Índice de Área Foliar (IAF) utilizado o equipamento LAI-2200 (Licor Biosciences, Nebraska-EUA) para cada talhão, a partir de médias de 20 repetições em posições da linha x entrelinha para cada parcela. As medições de IAF foram realizadas a cada 60 dias ou de acordo com a disponibilidade mão de obra para realizar a tarefa.

As medidas das trocas gasosas para determinação da máxima condutância do dossel (*MaxCond*) e da eficiência quântica máxima do dossel (*alpha*) foram realizadas em um analisador de gases infravermelho portátil, modelo LI-6400XT (Licor, Nebraska, USA), utilizando a câmara de folha com  $2 \text{ cm}^2$ . A concentração de  $\text{CO}_2$  utilizada foi a concentração atmosférica ambiente, estabilizada por meio de um sistema *buffer*. As coletas dos dados foram realizadas em julho de 2013 (período frio), novembro de 2013 (período intermediário) e fevereiro de 2014 e 2015 (período quente), respectivamente, com idades de 15, 19 e 22 meses para o plantio jovem e 57,

61 e 76 meses para o plantio adulto. Os horários de medição compreenderam o período de 8:00 às 16:00 h para curvas diurnas. Foram feitas réplicas de dois dias de medidas nas curvas diárias. Todas as coletas foram realizadas com o céu aberto, sem a presença de nuvens, na tentativa de excluir o máximo de interferência externa ao longo das campanhas.

Durante a coleta de dados de biomassa, também foram coletadas amostras de solo em três camadas (0-20, 20-40 e 40-60 cm), no centro e em cada ponta da parcela, totalizando 5 amostras por parcela. As amostras foram secas ao ar e peneiradas em peneira de 2 mm (TFSA) para análise granulométrica (Tabela 1) e determinação da umidade a 10 kPa (capacidade de campo) e a 1500 kPa (Ponto de Murcha permanente).

Tabela 1. Análise granulométrica para os solos dos talhões jovem e adulto de *E. saligna*, da área de estudo, Eldorado do Sul, RS.

| Talhão | Profundidade do Solo (cm) | Argila | Areia | Silte |
|--------|---------------------------|--------|-------|-------|
|        |                           | %      |       |       |
| Adulto | 0-20                      | 21     | 50    | 28    |
|        | 0-40                      | 29     | 48    | 23    |
|        | 40 - 60                   | 46     | 38    | 16    |
| Jovem  | 0-20                      | 23     | 49    | 28    |
|        | 0-40                      | 34     | 45    | 20    |
|        | 40 - 60                   | 45     | 36    | 19    |

As características do solo entram no modelo 3-PG por meio de duas variáveis: na classe do solo (*Soil Class*), relacionada com a parte física do solo, e no índice de fertilidade do solo (FR), na qual é atribuído um valor de zero a “um” para as condições químicas, sendo zero para condições limitantes e “um” para condições não limitantes.

Com relação a parte física do solo, as análises mostraram que a densidade aparente do solo foi de 1,3 (g cm<sup>-3</sup>) para uma Capacidade de Campo (%) de 38,6 e Ponto de Murcha (%) de 10,7. Os solos apresentam textura média, dessa forma foi atribuído o parâmetro CL para classe textural. Em relação a fertilidade, como a empresa realiza adequada e balanceada, atribuiu o valor 1 (um) para o modulador de fertilidade do solo.

## 2.4. Calibração do Modelo 3-PG

A calibração é o processo por meio do qual os valores dos parâmetros são ajustados de forma que o modelo se aproxime dos dados reais. Essa etapa envolve efetuar a simulação com o modelo e comparar os resultados estimados com os valores reais medidos.

Durante a calibração, os valores de alguns parâmetros não medidos durante a execução do trabalho de campo são alteradas de modo a diminuir o desvio entre os valores estimados e os medidos, obtendo-se assim a melhoria do ajuste do modelo (BORGES et al., 2012).

Assim como a metodologia proposta por Sands (2004), inicialmente foram atribuídos valores aos parâmetros obtidos por medição direta, ou que assumem valores padrões para a espécie. Posteriormente, os valores dos parâmetros que se obtém através de modelação. Por fim, os parâmetros que não são possíveis de se obter dados por medição direta foram ajustados de forma a otimizar os valores estimados em relação aos valores medidos. Este procedimento final exige um conhecimento com base na literatura sobre os limites de variação dos parâmetros para que estes não percam seu sentido biológico.

Para efetuar a calibração do modelo foram utilizadas as informações de volume por hectare ( $\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$ ), *DAP* (cm), altura (m).

## 2.5. Validação do Modelo 3-PG

O processo de validação pode ser definido como sendo a comparação de resultados do modelo com dados obtidos de observações, a partir de um conjunto de dados independentes, ou seja, dados diferentes dos utilizados no processo de calibração.

As estimativas de volume, *DAP* e altura obtidas pelo modelo parametrizado e calibrado foram comparadas com dados independentes do inventário florestal contínuo da empresa Celulose Riograndense, de modo a avaliar a capacidade de extrapolação do modelo.

## 2.6. Avaliação das estimativas do modelo

Para cada conjunto de dados observado-simulado, tanto na etapa de calibração quanto na de validação, avaliou-se a eficiência do modelo 3-PG ao simular o dado medido.

Na etapa de calibração, a eficiência do modelo foi testada por meio de regressão linear simples ( $O = \beta_0 + \beta_1 P$ ).

Considerando que em um modelo hipotético ideal, o valor estimado pelo modelo é igual ao valor observado ( $O = P$ ), tem-se, portanto, que  $\beta_0 = 0$  e  $\beta_1 = 1$ . Dessa forma, foram testados pelo teste t a 1 % de significância, para cada situação, as hipóteses de  $\beta_0 = 0$  e  $\beta_1 = 1$ , tendo como embasamento teórico o fato de que para modelos processuais o importante é que  $\beta_1$  não seja estatisticamente diferente de 1, o que indica adequado tratamento do modelo aos processos envolvidos.

Já na etapa de validação, a eficiência do modelo foi averiguada por meio de análise gráfica, observando a concordância entre os valores estimados pelo 3-PG.

## 3. Resultados e discussão

A variação da alocação de biomassa ao longo da idade (12 até 103 meses) acompanha a tendência geral observada para diversas espécies (Figura 4). Assim, os componentes lenho e casca aumentaram sua proporção ao longo do ciclo, respectivamente, de 34,0 para 89,0% e 5,9 para 6,8%, em relação a biomassa total. Já os componentes folhas, galhos e raízes diminuíram a proporção em relação a biomassa total com o passar do tempo (12 para 103 meses) em 15,0 para 1,0%, 16,0 para 3,3% e 29,0 para 16,0%, respectivamente.

Esse comportamento também foi observado por Londero et al. (2015) para plantios *Eucalyptus saligna* na região de Guaíba – RS. Esses autores verificaram, de 24 aos 84 meses, que os componentes lenho e casca aumentaram de 35,0 para 73,7% e 5,6 para 6,1%, em relação a biomassa total. Já os componentes folhas, galhos e raízes diminuíram a proporção em relação a biomassa total com o passar do tempo de 11,9 para 1,7%, 9,0 para 3,2% e 38,6 para 15,2%, respectivamente.

É interessante notar que até 26 meses de idade a biomassa das raízes apresenta valores muito próximos aos de lenho, sendo 81,2% em termos médios a proporção raiz/lenho. Nos próximos três anos do ciclo esta proporção é reduzida para 29,9%. É

possível inferir que nos dois primeiros anos a assimilação é direcionada para aumentar o potencial de captação dos recursos do solo (Figura 4). Outro aspecto que pode ter contribuído para este comportamento, é o estresse devido à maior restrição hídrica sofrido pelo talhão jovem no ano de plantio (2010) (Figura 2), comprovado pela falta de incremento no crescimento quando compramos as idades de 12 e 26 meses.

A biomassa total aos 57 meses foi de 123,5 Mg ha<sup>-1</sup>. A biomassa da PA para a idade de 103 meses foi de 232,2 Mg ha<sup>-1</sup>, não havendo dados de biomassa de raízes pois esses não foram medidos (Figura 4). Em um povoamento de *Eucalyptus saligna*, aos 48 meses de idade, Schumacher e Caldeira (2004) encontraram uma produção de biomassa total de 79,6 Mg ha<sup>-1</sup>, valor abaixo daquele encontrado nesse trabalho Mg ha<sup>-1</sup> (95,10) aos 47 meses. Rody (2013), avaliando o crescimento de povoamentos clonais de eucalipto (híbrido *Eucalyptus grandis*) no município de Brasilândia - MS, observaram aos 54 meses biomassa total de aproximadamente 160 Mg ha<sup>-1</sup>, valor esse superior ao observado nesse estudo aos 57 meses.

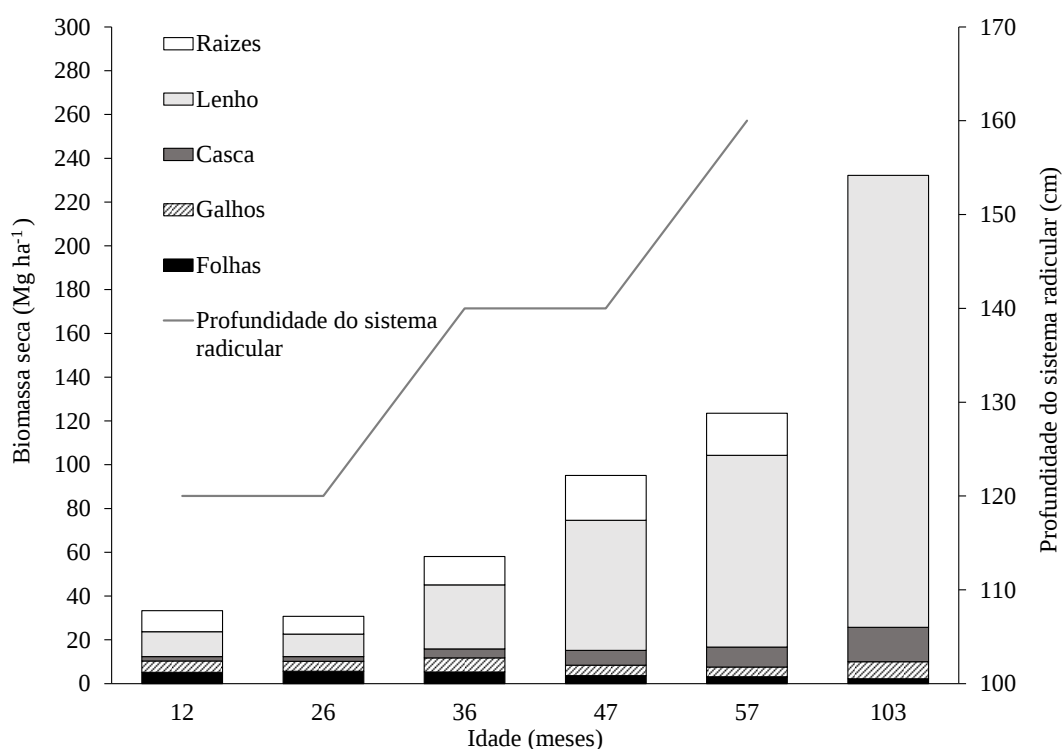


Figura 4. Partição da biomassa e profundidade do sistema radicular para plantios de *E. saligna*, ao longo da idade, Eldorado do Sul, RS.

O lenho apresentou o maior acúmulo de biomassa comparada as outras frações como casca, galho folhas e raízes (Figura 4). Outros estudos com materiais plantados

na região Sul do país também se comportaram de forma semelhante. Schumacher e Caldeira (2001) para *E. globulus* com 48 meses de idade, em Butiá -RS e Viera et al. (2013) em povoamento de *E. urophylla* x *E. globulus* com 120 meses de idade, em Eldorado do Sul-RS.

Hubbard et al. (2010), estudando clones de *Eucalyptus grandis* x *urophylla* em locais com diferente produtividade: um no Estado do Espírito Santo (ES) (menor produtividade e 1250 mm de precipitação média anual) e outro no Estado da Bahia (BA) (maior produtividade e 1180 mm de precipitação média anual), encontraram valores médios de biomassa do tronco aos 45 e 57 meses, respectivamente 60,6 e 80,8 Mg ha<sup>-1</sup> no ES e 132,8 e 159,1 Mg ha<sup>-1</sup> na BA. Os valores de biomassa do caule observados nesse estudo aos 45 e 57 meses (59,5 e 87,6 Mg ha<sup>-1</sup>) são semelhantes aqueles observados no ES e inferiores aos encontrados na BA.

Binkley et al, 2003 Estudando plantios de *Eucalyptus saligna* ao longo do cume Chinchuck, Hawaii (altitude de 480 m e precipitação média anual de 4000 mm), observaram que o crescimento do caule diminuiu após a idade de 84 meses. Nessa idade a biomassa de caule foi de, aproximadamente, 125 Mg ha<sup>-1</sup> e aos 120 meses foi de 155 Mg ha<sup>-1</sup>. Aos 103 meses a biomassa de caule nesse estudo foi de 206,5 Mg ha<sup>-1</sup>, valor superior aquele observado por Binkley et al, 2003 para plantios de *Eucalyptus saligna* aos 120 meses.

Reis et al. (1985), também verificaram altos valores percentuais de biomassa de madeira e casca (93,7%) em uma sequência de idade de *Eucalyptus grandis* plantados no Cerrado. Segundo os autores, na fase inicial de desenvolvimento do povoamento (15 meses de idade), a biomassa contida nos componentes madeira + casca é inferior a 45% do total da biomassa aérea. Mas, com o passar do tempo, esses componentes apresentaram crescente elevação na contribuição, até atingir mais de 85% da biomassa aérea total, aos 73 meses de idade. Esse mesmo comportamento foi observado nesse estudo.

Schumacher et al. (2003) também observaram que a alocação da biomassa de madeira, inicialmente, era inferior a 50% da biomassa total e, aos 6 - 8 anos de idade do povoamento, a mesma chegava a 75%.

A produção de biomassa para a parte aérea (PA) (biomassa de folhas, galhos, casca e lenho) também aumentou ao longo da idade do plantio (12 até 103 meses) de 71 para 84% em relação a biomassa total (Figura 4). Aos 47 meses, a proporção de biomassa da PA nesse estudo foi de 78%, semelhante aos valores observados por

Schumacher e Caldeira (2001) para *E. globulus* com 4 anos de idade (78%), em Butiá-RS e Alves et al. (2007) em clones de eucaliptos com 4,5 anos (79%), em Araripe-PE.

Segundo Larcher (2000), o comportamento variável da prioridade na produção de biomassa acima do solo com a idade dos povoamentos decorre, ao fato de que, durante a fase inicial do desenvolvimento de uma árvore, grande parte dos carboidratos é canalizada para a produção de biomassa da copa. Posteriormente, quando as copas começam a competir entre si, a produção relativa de tronco aumenta e a de folhas e ramos diminui, gradativamente. Esse padrão muda porque quando o fechamento da copa é alcançado, o crescimento do tronco é acentuado para assegurar a estabilidade da árvore (PEICHL e ARAIN, 2007; PAJTIK et al., 2008).

Observa-se ainda (Figura 4) que a biomassa de folhas e galhos são maiores nos três primeiros anos do ciclo, diminuindo nos três últimos. Isso ocorre devido a estrutura do dossel que até o fechamento apresenta galhos e folhas ao longo de todo o tronco. Este comportamento é típico das espécies de eucalipto sendo que ao final do ciclo o dossel é restrito a uma pequena fração superior das árvores. Diminuição da quantidade de folhas com o avançar da idade também foi observado por Londero et al. (2015) em plantios de *Eucalyptus saligna* na região de Guaíba – RS.

Rody (2013), estudando o crescimento de povoamentos clonais de eucalipto (híbrido *Eucalyptus grandis*) no município de Brasilândia - MS, observou que a biomassa foliar apresentou padrão exponencial de crescimento, indicando que até os 17 meses, o acréscimo foi linear.

Segundo Gonçalves et al. (2000) é possível observar duas fases ao longo do crescimento dos plantios. Uma fase antes do fechamento das copas e depois de bem adaptadas ao campo, sendo um período de intenso crescimento, no qual a maior parte dos fotoassimilados, sintetizados pela planta, é canalizada para a formação da copa (expansão da área foliar) e do sistema radicular. Nessa fase, as raízes exploram parcialmente o volume de solo e as árvores não competem entre si por fatores de crescimento (luz, água, nutrientes), sendo o seu crescimento limitado pelas suas próprias condições fisiológicas. A segunda fase dá-se a partir do fechamento das copas das árvores, neste caso, o acúmulo de nutrientes ocorre com mais intensidade nos troncos, uma vez que a formação de copas atinge uma fase de relativa estabilidade, em razão do autossombreamento que impõe uma área foliar máxima limite.

Os valores de índice de área foliar (IAF) (Figura 5) foram crescentes até o valor máximo de 4,03 aos 29 meses de idade, com posterior redução dos valores até os 35

meses, onde então o IAF ficou oscilando entre 3,1 e 2,2. Essa oscilação de valores é consequência da sazonalidade do clima, fazendo com que os valores de IAF sofram quedas no inverno e verão.

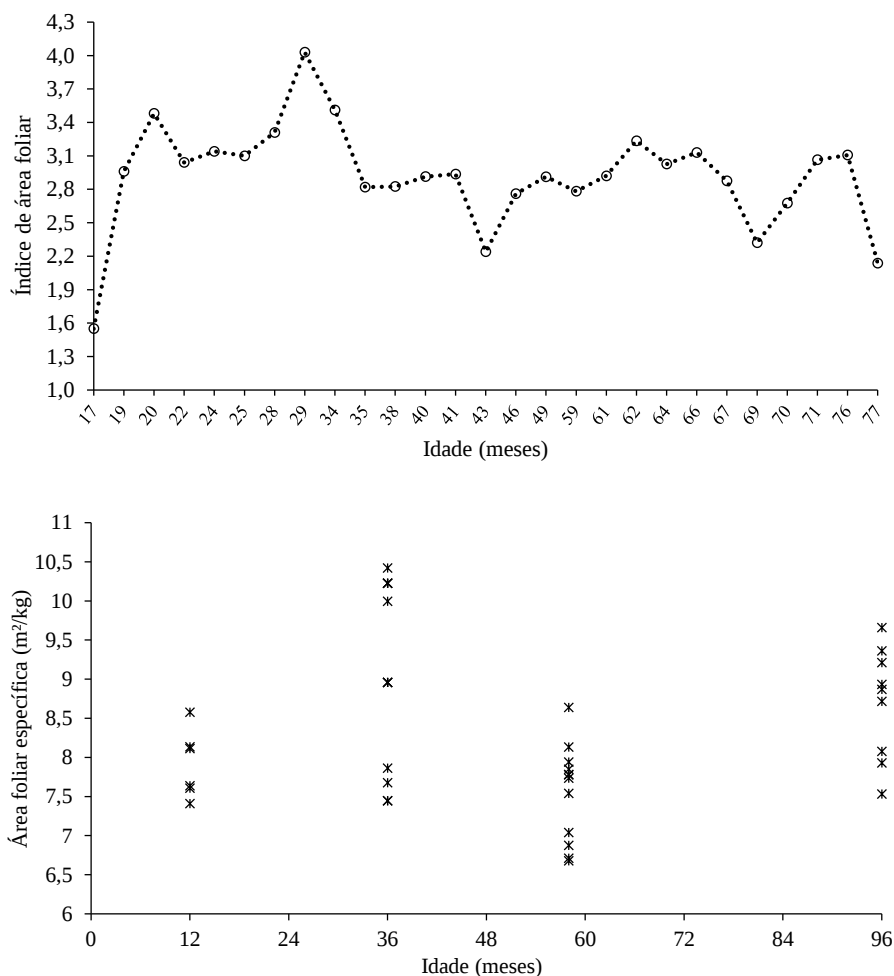


Figura 5. Índice de área foliar e área foliar específica para plantios de *E. saligna*, em Eldorado do Sul, RS.

Segundo Hubbard et al. (2010) o ciclo de plantações de eucalipto para a produção de madeira para celulose no Brasil é da ordem de 72 a 84 meses, com fechamento do dossel dentro de 24 a 36 meses após o plantio.

A produtividade é fortemente dependente da taxa de desenvolvimento do IAF, conforme os plantios amadurecem e o valor máximo é alcançado (WHITEHEAD e BIDLEY, 2004).

Xavier et al. (2002), estudando a variação do índice de área foliar em clones de eucaliptos, ao longo do seu ciclo de desenvolvimento, obtiveram valores variando

entre 1,7 e 4,3, bem próximos daqueles observados nesse estudo (1,5 a 4,03). Os autores observaram valores máximos de IAF aos 24 meses.

Em estudo realizado por Reis et al. (2014) em plantios de *Eucalyptus grandis*, Aracruz – ES (precipitação média anual de 1200 mm), observou-se que o maior valor de IAF foi de 4,65 aos 19 meses de idade. Cabral et al. (2010) observaram em clones de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* com 24 meses de idade valores de IAF de 3,4.

Reis (2014), estudando povoamentos de *Eucalyptus grandis* jovem (14 – 25 meses) e adulto (75 - 86 meses) no município de Brasilândia – MS, observou valores de IAF variando de 3,54 a 5,52 no plantio jovem e de 3,23 a 4,07 no plantio adulto. Rody (2013), em estudo realizado no mesmo local, encontrou maiores valores de IAF (5,35) observados aos 17 meses de idade. Os valores observados pelas autoras são maiores que aqueles encontrados nesse estudo.

Os plantios apresentam altos valores de AFE (7,5 a 9,0 m<sup>2</sup> kg<sup>-1</sup>) (Figura 5), se comparados com a variação encontrada em eucaliptos nativos (2,2 a 8,3 m<sup>2</sup> kg<sup>-1</sup>) (WHITEHEAD e BEADLE, 2004), sendo similares aos observados em *Eucalyptus* clonais em condições tropicais (7 a 14 m<sup>2</sup> kg<sup>-1</sup>) (STAPE et al., 2004; ALMEIDA et al., 2004).

A área foliar específica de espécies de *Eucalyptus* tende a reduzir com a idade (ENGLAND e ATTIWILL, 2006) (Figura 5), ou seja, as folhas ficam mais coriáceas, e este fato tem grandes implicações nos modelos ecofisiológicos ao conectar os fotossintetizados alocados para a copa, e a expansão da área foliar (STAPE et al., 2004).

Acompanhando o comportamento do aumento da produção de biomassa para a parte aérea ao longo da idade, os valores de diâmetro a altura do peito (DAP), altura total e volume sem casca também tiveram acréscimo com o passar do tempo (Figura 6). Os valores máximos de DAP, altura e volume, aos 103 meses, foram 19,9 cm, 31,1 m e 438 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>. O incremento médio anual (IMA) sem casca para essa mesma idade foi de 51 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, muito acima da produtividade média dos plantios brasileiros de eucalipto que foram de 39 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> no ano de 2014 (IBÁ, 2015).

Em estudo realizado por Hubbard et al. (2010) com clones de *Eucalyptus grandis* x *urophylla* em locais com diferente produtividade: um no Estado do Espírito Santo (ES) (menor produtividade e 1250 mm de precipitação média anual) e outro no Estado da Bahia (BA) (maior produtividade e 1180 mm de precipitação média anual),

observaram que valores médios de DAP aos 45 e 57 meses foram, respectivamente, 13,4 e 14,0 cm no ES e 17,7 e 18,6 cm na BA. Os valores médios de altura aos 45 e 57 meses foram, respectivamente, 18,1 e 20,4 m no ES e 26,0 e 28,6 m na BA. Os resultados verificados nesse estudo se aproximam mais da produtividade observada no ES, pois aos 46 e 57 meses os DAPs médios foram, respectivamente, 14,2 e 15,4 cm e os valores médios de altura foram 19,5 e 22,0 m.

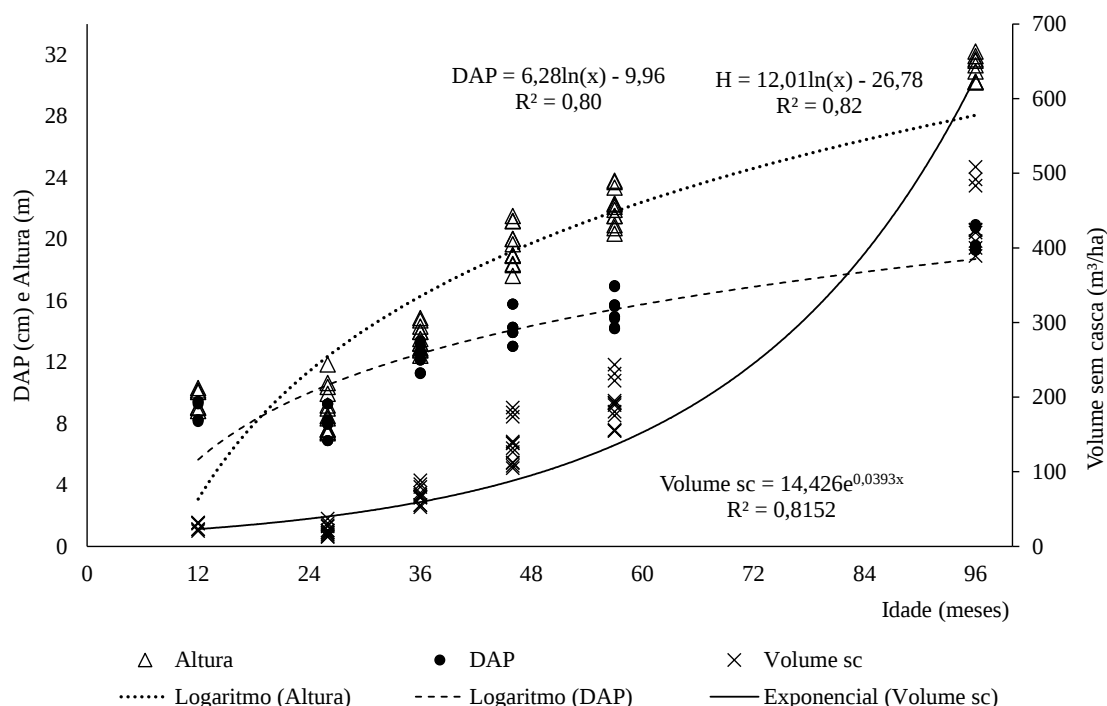


Figura 6. Diâmetro a altura do peito (DAP), altura total e volume com casca para plantios de *E. saligna*, em Eldorado do Sul, RS.

Schumacher et al. (2011), estudando povoamentos de *Eucalyptus* spp. entre as idades de 24 a 96 meses em Vera Cruz - RS, encontraram valores de DAP, altura total e volume de madeira sem casca, respectivamente, 6,5 cm; 11,9 m e 36,5 m³ha⁻¹ aos 24 meses e 13,2; 28,6 e 370,6 m³ha⁻¹ aos 96 meses. Aos 24 meses as médias de DAP foram inferiores e as médias de altura e volume foram superiores aquelas observadas nesse estudo.

Londero et al. (2015), avaliando a produtividade de *Eucalyptus saligna* na região de Guaíba – RS, observou valores superiores de DAP, altura e volume quando comparado aos encontrados nesse trabalho.

No entanto, os dois primeiros anos do ciclo demonstram estagnação do crescimento em DAP, altura e incremento em volume, mostrando que, como esperado, plantios jovens sofrem mais com estresse, nesse caso relacionado a diminuição do valor anual de precipitação observado nos anos de 2011 a 2013 (Figuras 2 e 3) e eventos de geada ocorridos em 2012.

### 3.1 Parametrização

As equações alométricas que relacionam a altura total, a massa seca de *Stem* (galho+casca+lenho) e o volume com o DAP em todas as idades do *Eucalyptus saligna*, estão apresentadas na Figura 7. As equações ajustadas apresentaram boa correlação entre as variáveis testadas ( $R^2$  variou 0,96 a 0,98).

Os ajustes observados nesse estudo para as variáveis altura e volume de madeira são melhores que aqueles encontrados por Londero et al. (2015), avaliando a produtividade potencial de *Eucalyptus saligna* na região de Guaíba – RS, onde o  $R^2$  variou 0,79 a 0,96.

Através das equações expressas na Figura 7, foram obtidos os parâmetros: constante de relacionamento entre altura e DAP (aH), potência de relacionamento entre altura e DAP (nHB), constante de relacionamento entre volume e DPA (aV), potência de relacionamento entre volume e DAP (nVB), constante de relacionamento entre *stem* e DAP (aS) e potência de relacionamento entre *stem* e DAP (nS), respectivamente, 0,4793; 1,3838; 0,018; 3,3566; 0,0275 e 2,9375, usados no modelo 3-PG.

Na tabela 2 estão as equações que descrevem o comportamento da *AFE* e da *FGC* em função da idade. As equações ajustadas apresentaram boa correlação entre as variáveis testadas.

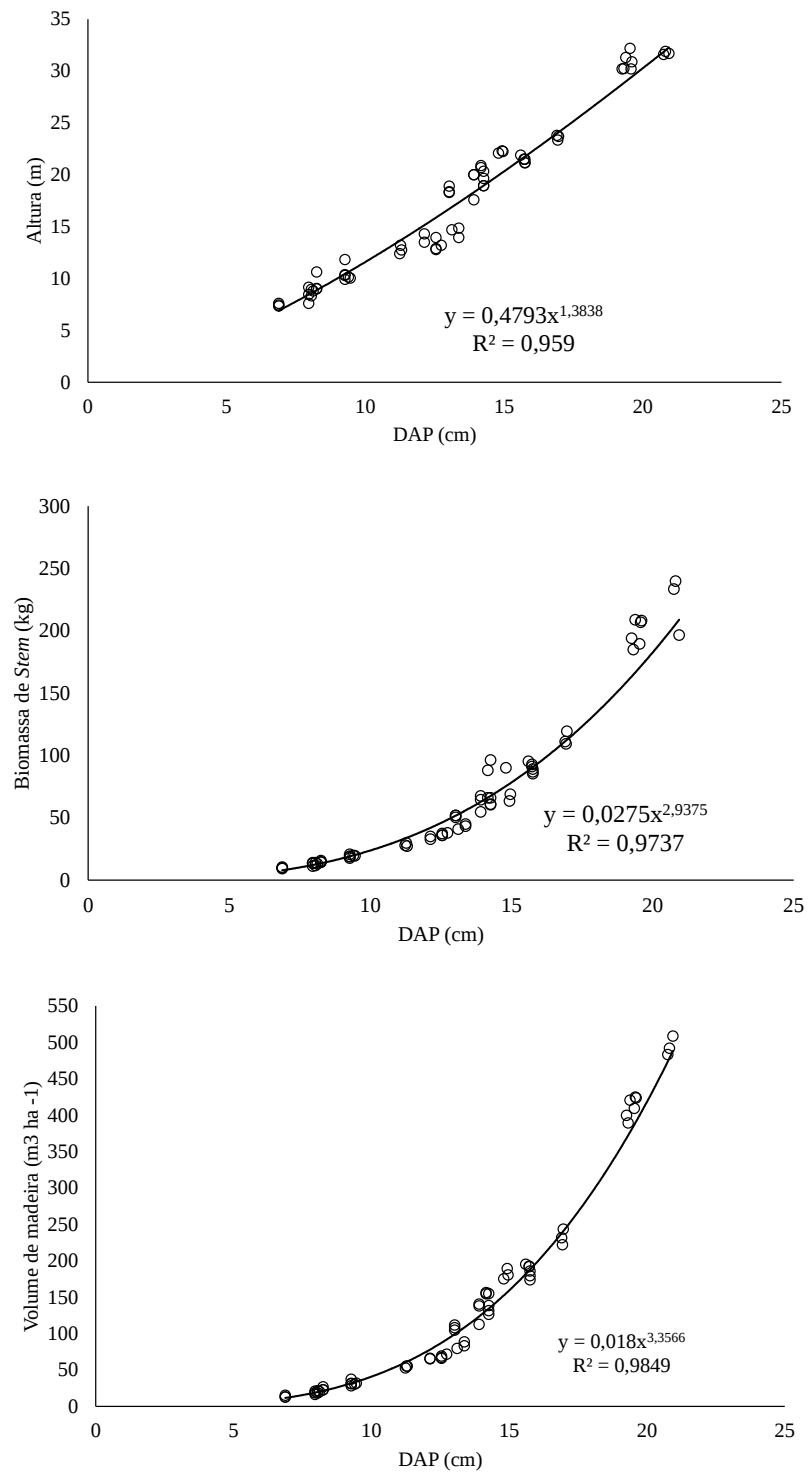


Figura 7. Ajustes das equações alométricas que relacionam a altura total, a massa seca de Stem (galho+casca+lenho) e o volume de madeira sem casca com o DAP, para plantios de *Eucalyptus saligna*, em Eldorado do Sul, RS.

Tabela 2. Equações não lineares ajustadas para a área foliar específica (AFE) e a fração galho/casca (FGC) e a idade para povoamentos de *Eucalyptus saligna*, em Eldorado do Sul, RS.

| Equação                                                   | R <sup>2</sup> |
|-----------------------------------------------------------|----------------|
| $AFE = 7,9 + (8,7 - 7,9) \exp((-0,69315 (idade / 4,3)^2)$ | 0,79           |
| $FGC = 0,39 + (0,39 - 0,1) \exp((-0,69315 (idade / 3)^1)$ | 0,91           |

Os resultados da deposição da serapilheira são apresentados na figura 8. Os valores de deposição de serapilheira (soma de folhas e galhos finos) utilizados pelo modelo 3-PG referem-se à máxima deposição de serapilheira (gammaFx), à deposição de serapilheira em plantio inicial (t = 0) (gammaF0) e a idade na qual a deposição de serapilheira tem valor médio (tgammaF).

A deposição em idade inicial foi de 0,037 ton ha<sup>-1</sup> e a máxima deposição (60 meses) foi de 3,07 ton ha<sup>-1</sup>. Por fim, a idade na qual a deposição de serapilheira mais se aproxima da média (0,86 ton ha<sup>-1</sup>) foi aos 19 meses. Para Sands e Landsberg (2002), a idade na qual a deposição de serapilheira tem valor médio foi aos 12 meses, Almeida et al. (2004), aos 13 meses e Stape et al. (2004) e Londero et al. (2015) aos 72 meses.

Os valores de deposição em idade inicial e a máxima deposição foram semelhantes aqueles observados por Londero et al. (2015) em povoamentos de *Eucalyptus saligna* na região de Guaíba – RS. Os autores observaram que aos 64 meses de idade a deposição foi máxima, resultado semelhante aquele encontrado nesse trabalho.

Quanto à época do ano, de modo geral, as maiores quedas de serapilheira ocorrem nos meses de janeiro e fevereiro onde são observados altos valores de temperatura do ar (Figura 3) e pontos com deficiência hídrica (Figura 2), corroborando com Viera et al. (2014) em plantio de *Eucalyptus urophylla* × *Eucalyptus globulus*, em Eldorado do Sul-RS.

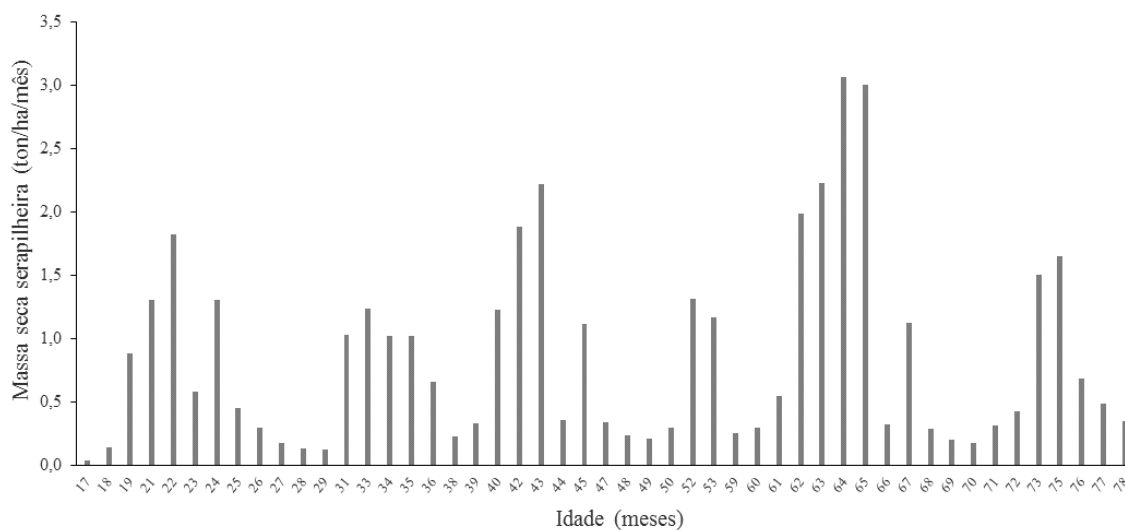


Figura 8. Produção de serapilheira em várias idades de *Eucalyptus saligna*, em Eldorado do Sul, RS.

### 3.2. Calibração

Os valores dos parâmetros do modelo 3-PG usados neste trabalho são mostrados na Tabela 3. Na figura 9 está a comparação entre os valores simulados e observados de DAP, altura e volume após o processo de calibração. Observa-se altos coeficiente de determinação ( $R^2$ ), indicando os valores estimados explicam, na maioria dos casos, mais de 90% da variação dos valores observados em campo. O ajuste executado nesse estudo foi satisfatório para as variáveis estudadas (DAP, altura e volume), onde a hipótese de  $\beta_0 = 0$  e  $\beta_1 = 1$  não foi rejeitada a 1% de probabilidade (Tabela 4).

A aplicação do modelo 3-PG usando o conjunto de parâmetro obtidos no estudo permitiu descrever, com precisão, os padrões de crescimento das florestas na região de Eldorado do Sul - RS.

Tabela 3 - Principais parâmetros utilizados no modelo-3PG após parametrização e calibração.

| Parâmetro                                                                           | Símbolo   | Unidade                         | F | Valor  |
|-------------------------------------------------------------------------------------|-----------|---------------------------------|---|--------|
| Partição folha/ <i>Stem</i> para D=2cm                                              | pFS2      | -                               | O | 2,23   |
| Partição folha/ <i>Stem</i> para o para D=20cm                                      | pFS20     | -                               | A | 0,01   |
| Constante de relacionamento entre massa de caule e diâmetro                         | StemConst | -                               | O | 0,0275 |
| Potência de relacionamento entre massa de caule e diâmetro                          | StemPower | -                               | O | 2,9375 |
| Fração máxima de PPL para as raízes                                                 | pRx       | -                               | L | 0,5    |
| Fração mínima de PPL para as raízes                                                 | pRn       | -                               | L | 0,1    |
| Taxa de queda de serrapilheira para plantios em idades adultas                      | gammaFx   | 1/month                         | L | 0,07   |
| Taxa de queda de serrapilheira para plantios t=0                                    | gammaF0   | 1/month                         | P | 0,001  |
| Idade em que a taxa de serrapilheira tem seu valor médio                            | tgammaF   | month                           | A | 14     |
| Taxa média de ciclagem radicular                                                    | Rttover   | 1/month                         | L | 0,025  |
| Temperatura mínima para crescimento                                                 | Tmin      | deg.°C                          | A | 6      |
| Temperatura ótima para crescimento                                                  | Topt      | deg.°C                          | L | 25     |
| Temperatura máxima para crescimento                                                 | Tmax      | deg.°C                          | L | 40     |
| Déficit na proporção de umidade f=0,5                                               | SWconst   | -                               | P | 999    |
| Potência no déficit na proporção de umidade                                         | SWpower   | -                               | P | 9      |
| Valor de m quando FR=0                                                              | m0        | -                               |   | 0      |
| Valor de $f_N$ quando FR=0                                                          | fN0       | -                               | L | 0,5    |
| Potência de (1-FR), na expressão do $f_N$                                           | fNn       | -                               | L | 1      |
| Máxima idade padrão usada no modificador                                            | MaxAge    |                                 | L | 9      |
| Potencia da idade relativa na função para fage                                      | nAge      | years                           | P | 4      |
| Idade relativa para fAge=0,5                                                        | rAge      |                                 | P | 0,95   |
| Taxa de mortalidade para t grande                                                   | gammaNx   | %year                           | P | 0      |
| Taxa de mortalidade de sementes (t=0)                                               | gammaN0   | %year                           | P | 0      |
| Idade em que a taxa de mortalidade tem seu valor médio                              | tgammaN   | year                            | P | 2      |
| Forma de resposta da mortalidade                                                    | ngammaN   | -                               | P | 1      |
| Massa de lenho máxima para cada 1.000 árvores ha <sup>-1</sup>                      | wSx1000   | kg tree <sup>-1</sup>           | P | 300    |
| Potência na regra <i>self-thinning</i>                                              | thinPower | -                               | P | 1,5    |
| Fração média perdida de biomassa de folhas em árvores-simples por morte destas      | mF        | -                               | P | 0      |
| Fração média perdida de biomassa de raiz em árvores-simples por morte destas        | mR        | -                               | P | 0,2    |
| Fração média perdida de biomassa de <i>stem</i> em árvores-simples por morte destas | Ms        | -                               | P | 0,2    |
| Área foliar específica para plantios em idade 0                                     | SLA0      | m <sup>2</sup> kg <sup>-1</sup> | O | 8,9    |

Continua...

Tabela 3. Continuação.

|                                                                                         |                           |                                                |   |        |
|-----------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------|------------------------------------------------|---|--------|
| Área foliar específica para plantios em idade aduta                                     | SLA1                      | m <sup>2</sup> kg <sup>-1</sup>                | O | 7,6    |
| Idade em que a área foliar específica = (SLA <sub>0</sub> + SLA <sub>1</sub> )/2        | tSLA                      | years                                          | O | 3,55   |
| Coeficiente de extinção da PAR pelo dossel                                              | k                         |                                                | P | 0,5    |
| Idade de fechamento do dossel                                                           | fullCanAge                | years                                          | O | 3      |
| Proporção máxima de precipitação interceptada pelo dossel                               | MaxIntcptn                | -                                              | P | 0,15   |
| LAI em que ocorre a máxima interceptação da precipitação                                | LAI <sub>maxINtcptn</sub> | m <sup>2</sup> m <sup>-2</sup>                 | L | 3,33   |
| Eficiência quântica máxima do dossel                                                    | alpha                     | molC<br>mol <sup>-1</sup><br>PAR <sup>-1</sup> | O | 0,074  |
| Relação PPL/PPG                                                                         | Y                         | -                                              | L | 0,5    |
| Máxima condutância do dossel                                                            | MaxCond                   | m s <sup>-1</sup>                              | A | 0,032  |
| LAI para máxima condutância do dossel                                                   | LAI <sub>gcx</sub>        | m <sup>2</sup> m <sup>-2</sup>                 | O | 2,96   |
| Define a resposta estomática ao DPV                                                     | CoeffCond                 | 1/mBar                                         | L | 0,0324 |
| Condutância na camada limite do dossel                                                  | Blcond                    | m s <sup>-1</sup>                              | P | 0,2    |
| Fração de ramo e casca para plantios em idade inicial 0                                 | fracBB0                   | -                                              | O | 0,29   |
| Fração de ramo e casca para plantios em idade adulta                                    | fracBB1                   | -                                              | O | 0,11   |
| Idade em que a fração de ramo e casca é =(fracBB <sub>0</sub> + fracBB <sub>1</sub> )/2 | tBB                       | years                                          | O | 0,95   |
| Densidade básica para árvores jovens                                                    | rhoMin                    | t m <sup>-3</sup>                              | L | 0,386  |
| Densidade básica para árvores adultas                                                   | rhoMax                    | t m <sup>-3</sup>                              | L | 0,458  |
| Idade em que a densidade básica = (rhoMin + rhoMax)/2                                   | tRho                      | years                                          | L | 1,37   |
| Constante de relacionamento entre altura e DAP                                          | aH                        | -                                              | O | 0,4793 |
| Potência de relacionamento entre altura e DAP                                           | nHB                       | -                                              | O | 1,3838 |
| Potência de relacionamento entre Volume e DAP                                           | nVB                       | -                                              | O | 3,3566 |
| Parâmetro relacionado com disponibilidade de água no solo                               | Soil Class                | -                                              | O | CL     |
| Taxa de fertilidade do solo (FR)                                                        | FR                        | -                                              | A | 1      |
| Biomassa inicial de folhas                                                              | WF                        | Mg ha <sup>-1</sup>                            | O | 5,13   |
| Biomassa inicial de stem (tronco + galhos)                                              | WS                        | Mg ha <sup>-1</sup>                            | O | 18,58  |
| Biomassa inicial de raiz                                                                | WR                        | Mg ha <sup>-1</sup>                            | O | 9,58   |

F = Forma de obtenção do parâmetro; O = Observado; A = Ajustado; L = Obtido na literatura; P = Padrão (modelo original).

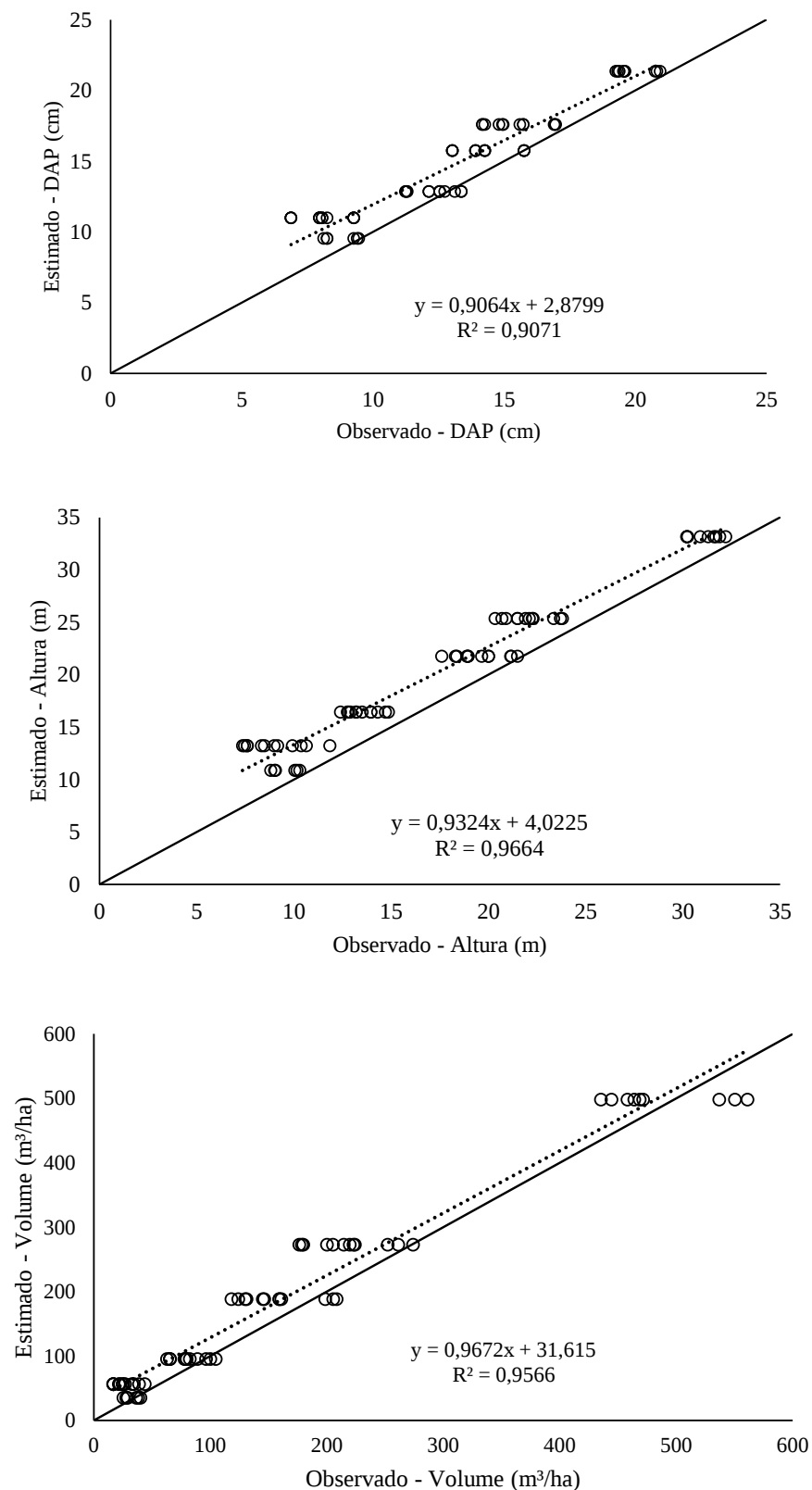


Figura 9 - Correlação entre os dados de DAP, altura e volume, total observados e simulados pelo modelo após a calibração para plantios de *Eucalyptus saligna*, em Eldorado do Sul, RS.

Tabela 4. Eficiência do modelo 3-PG ao estimar o crescimento de plantios de *Eucalyptus saligna* em DAP, altura total e volume.

| Variável          | $\beta_0$            | $\beta_1$            | $R^2$ | Probabilidade | n  |
|-------------------|----------------------|----------------------|-------|---------------|----|
| DAP               | 2,879 <sup>ns</sup>  | 0,9064 <sup>ns</sup> | 0,90  | <0,01         | 63 |
| Altura            | 4,022 <sup>ns</sup>  | 0,9323 <sup>ns</sup> | 0,97  | <0,01         | 63 |
| Volume de madeira | 31,615 <sup>ns</sup> | 0,9672 <sup>ns</sup> | 0,956 | <0,01         | 63 |

n = número de pares de dados usados no reajuste equação de regressão;  $\beta_0$  e  $\beta_1$  = coeficientes da regressão ajustado equação;  $R^2$  = coeficiente de determinação.

### 3.3. Validação

Para avaliar a capacidade de extrapolação do modelo e a acurácia das estimativas de crescimento geradas por ele para plantios para os quais ele não foi calibrado, compararam-se as estimativas obtidas pelo modelo com dados de crescimento de plantios independentes na região de estudo (Figura 10). Os valores foram bem correlacionados para todas as variáveis, com  $R^2$  variando entre 0,87 e 0,97.

Em estudo realizado por Baesso et al. (2010) na região norte do Espírito Santo e sul da Bahia, modelo de crescimento 3-PG associado aos dados de mudanças climáticas mostrou-se útil na projeção da produtividade futura de eucalipto.

Contudo, Londero et al. (2015) com o objetivo calibrar o modelo 3-PG para *Eucalyptus saligna* na região de Guaíba - RS, detectou que a validação do modelo não foi estatisticamente aceita, mas os seus dados estimados podem ser utilizados para estimar as variáveis estudadas, evidenciando o potencial do seu uso, porém, com a necessidade de estudos adicionais.

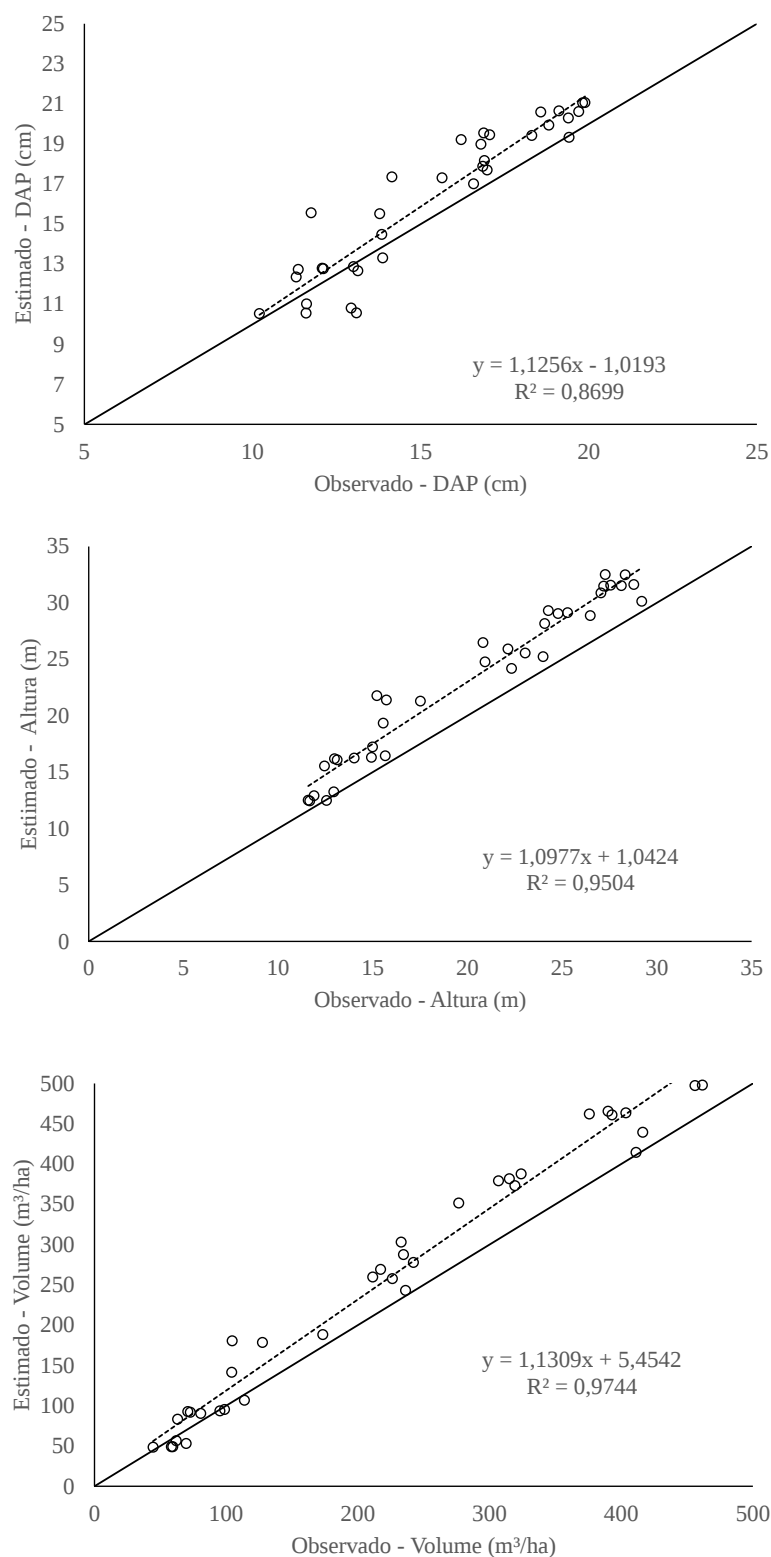


Figura 10 - Correlação entre os dados de DAP, altura e volume, total observados e simulados pelo modelo após a validação para plantios de *Eucalyptus saligna*, em Eldorado do Sul, RS.

#### 4. Conclusão

A variação da alocação de biomassa ao longo da idade acompanha a tendência geral, onde lenho e casca aumentaram sua proporção ao longo do ciclo, e folhas, galhos e raízes diminuíram a proporção em relação a biomassa total com o passar do tempo.

O incremento médio anual sem casca aos 103 meses de idade foi alto, muito acima da produtividade média dos plantios brasileiros de eucalipto.

Os plantios diminuíram *IAF* aos 29 meses de idade, indicando que a partir dessa idade ocorra o fechamento do dossel.

A sazonalidade do clima se mostrou presente com redução do *IAF* no inverno e verão e maiores valores de deposição de serapilheira ocorrendo nos meses de janeiro e fevereiro.

A utilização do modelo 3-PG é válida para a estimativa do diâmetro a altura do peito, altura total e volume de madeira sem casca para *Eucalyptus saligna* em Eldorado do Sul, RS. A validação do modelo foi estatisticamente aceita e as estimativas obtidas pelo modelo apresentaram correlação com os dados observados, tanto na etapa de calibração, quanto na de validação.

#### 5. Referências

ABRAF - Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas. Anuário Estatístico da ABRAF 2013 - Ano Base 2012. Disponível em: <<http://www.abraflor.org.br/estatisticas.asp>>, Acesso Nov de 2013.

ALMEIDA, A. C.; LANDSBERG, J. J.; SANDS, P. J. Parameterisation of 3-PG model for fast-growing *Eucalyptus grandis* plantations. Forest Ecology and Management, Amsterdam, v. 193, n. 1-2, p. 179-195, 2004.

ALVES, A. M. C; SILVA, J. A. A.; FERREIRA, R. L. C.; BARRETO, L. P. Quantificação da produção de biomassa em clones de eucaliptos com 4,5 anos, no pólo gesso do Araripe-PE. Revista Ciências Agrárias, Belém, n. 48, p. 161 – 173, 2007.

BAESSO, R. C. E.; RIBEIRO, A.; SILVA, M. P. Impacto das mudanças climáticas na produtividade do eucalipto na região Norte do Espírito Santo e Sul da Bahia. Ciência Florestal, Santa Maria, v. 20, n. 2, p. 335-344, 2010.

BERGER, R. et al. Efeito do espaçamento e da adubação no crescimento de um clone de *Eucalyptus saligna* Smith. Ciência Florestal, v.12, n.2, p.75-87, 2002.

BINKLEY, D.; SENOCK, R.; BIRD, S.; COLE, T. G. Twenty years of stand development in pure and mixed stands of *Eucalyptus saligna* and nitrogen-fixing *Facaltaria moluccana*. *Forest Ecology and Management*, v. 182, p. 93–102, 2003.

BORGES, J. S.; NEVES, J. C. L.; LOURENÇO, H. M.; BARROS, N. F.; DIAS, S. C. M. Parameterization of the 3-PG model for eucalyptus in the region of Cerrado in Minas Gerais state. *Ciência Florestal*, Santa Maria, v. 22, n. 3, p. 567-578, 2012.

BRUN, E. J.; FERRAZ, M. O.; ARAÚJO, E. F. Relação entre o acúmulo de serapilheira sobre o solo e variáveis dendrométricas em povoamento híbrido de *Eucalyptus urophylla* x *E. globulus maidenii*, em Eldorado do Sul/RS. *Ecologia e Nutrição Florestal*, Santa Maria-RS, v.1, n.1, p.24-31, 2013.

ENGLAND, J. R.; ATTIWILL, P. M. Changes in leaf morphology and anatomy with tree age and height in the broadleaved evergreen species, *Eucalyptus regnans* F. Muell. *Trees-structure and function*, Heidelberg, v. 20, p. 79 – 90, 2006.

FINGER, C. A. G. Fundamentos de biometria florestal. Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, 269 p., 1992.

GONÇALVES, J. L. M. et al.. Reflexos do cultivo mínimo e intensivo do solo em sua fertilidade e na nutrição das árvores. In: GONÇALVES, J. L. M.; BENEDETTI, V. (eds.) **Nutrição e fertilização florestal. Piracicaba: IPEF**, 2000. cap. 1. p. 1-57.

HUBBARD, R. M.; STAPE, J.; RYAN, M. G.; ALMEIDA, A. C.; ROJAS, R. Effects of irrigation on water use and water use efficiency in two fast growing *Eucalyptus* plantations. *Forest Ecology and Management*, v. 259, p. 1714–1721, 2010.

IBÁ – Indústria Brasileira de Árvores. Relatório 2015. Ano base 2014. Brasília, 2015.

KORZUKHIN, M. D.; TER-MIKAELIAN, M. T.; WAGNER, R. G. Process versus empirical models: which approach for forest ecosystem management? *Canadian Journal of Forest Research*, v. 26, p. 879–887, 1996.

LANDSBERG, J. J.; WARING, R. H. A generalized model of forest productivity using simplified concepts of radiation-use efficiency, carbon balance and partitioning. *Forest Ecology and Management*, v. 95, p. 209-228, 1997.

LARCHER, W. *Ecofisiologia vegetal*. São Carlos: RiMa, 550 p., 2006.

LIMA, E. A. de; SILVA, H. D.; LAVORANTI, O. J. Caracterização dendroenergética de árvores de *Eucalyptus benthamii*. *Pesquisa Florestal Brasileira*, Colombo, v. 31, n. 65, p. 09-17, 2011.

LONDERO, E. K.; SCHUMACHER, M. V.; SZYMCZAK, D. A.; ARAÚJO, E. F. Calibração do modelo 3-PG para *Eucalyptus saligna* Smith na região de Guaíba – RS. *Ciência Florestal*, Santa Maria, v. 25, n. 2, p. 293-305, 2015.

PAJTIK, J.; KONOPKA, B.; LUKAC, M. Biomass functions and expansion factors in young Norway spruce (*Picea abies* [L.] Karst) trees. *Forest Ecology and Management*, Amsterdam, v. 256, n. 5, p. 1096-1103, 2008.

PEICHL, M.; ARAIN, M. A. Allometry and partitioning of above- and belowground tree biomass in an age-sequence of white pine forests. *Forest Ecology and Management*, Amsterdam, v. 253, n. 1 e 3, p. 68-80, 2007.

REIS, M. G. dos; RIBEIRO, A.; BAESSO, R. C. E.; SOUZA, W. G.; FONSECA, S.; LOOS, R. A. Balanço hídrico e de energia para plantios de eucalipto com cobertura parcial do solo. *Ciência Florestal*, Santa Maria, v. 24, n. 1, p. 117-126, 2014.

REIS, M. G. F. et al. Acúmulo de biomassa em uma sequência de idade de *Eucalyptus grandis* plantado no Cerrado, em duas áreas com diferentes produtividades. *Revista Árvore*, Viçosa, v.9, n.2, p.149-162, 1985.

REIS, M. G. R. Partição da radiação fotossinteticamente ativa e trocas gasosas em cultivos de eucalipto e Cerrado. 2014. 56 f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia Agrícola) – Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2014.

RODY, Y. P. Balanço de carbono e trocas gasosas nos diferentes compartimentos em plantios de eucalipto. 2013. 97 f. Tese (Doutorado em Meteorologia Agrícola) – Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2013.

ROLIM, G. S.; SENTELHAS, P. C.; BARBIERI, V. Planilhas no ambiente EXCEL<sup>TM</sup> para os cálculos de balanços hídricos: normal, seqüencial, de cultura e de produtividade real e potencial. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, Santa Maria, v. 6, n.1, p. 133-137, 1998.

SANDS, P. J. Adaptation of 3-PG to novel species: guidelines for data collection and parameter assignment: project B4 - modeling productivity and wood quality. Hobart, Australia: Cooperative Research Centre for Sustainable Production Forestry, 2004.

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.

SAUSEN, T. L. Estoque e dinâmica de carbono em plantios subtropicais de *Eucalyptus saligna* e mediterrâneos de *Eucalyptus globulus*. 129 p. Tese. Universidade Federal do Rio Grande Do Sul (Instituto de Biociências), Porto Alegre, 2011.

SCHUMACHER, M. V.; CALDEIRA, M. V. W. Estimativa da biomassa e do conteúdo de nutrientes de um povoamento de *Eucalyptus globulus* (Labillardière) sub-espécie *maidenii*. *Ciência Florestal*, Santa Maria, v. 11, n. 1, p. 45-53, 2001.

SCHUMACHER, M. V.; CALDEIRA, M. V. W. Quantificação de biomassa em povoamentos de *Eucalyptus saligna* Sm. com diferentes idades. *Biomassa & Energia*, Viçosa, v. 1, n. 4, p. 381-391, 2004.

SCHUMACHER, M. V.; WITSCHORECK, R.; CALIL, F. N. Biomassa em povoamentos de *Eucalyptus* spp. de pequenas propriedades rurais de Vera Cruz, RS. *Ciência Florestal*, Santa Maria, v. 21, n. 1, p. 17-22, 2011.

SILVA, M. D. Os cultivos florestais do Pampa, no Sul do Rio Grande do Sul: desafios, perdas e perspectivas frente ao avanço de novas fronteiras agrícolas. *Floresta*, Curitiba, PR, v. 42, n. 1, p. 215 - 226, 2012.

SIMIONI, G.; RITSON, P.; McGRATH, J.; KIRSCHBAUM, M. U. F.; COPELAND, B.; DUMBRELL, I. Predicting wood production and net ecosystem carbon exchange of *Pinus radiata* plantations in south-western Australia: Application of a process-based model. *Forest Ecology and Management* [S.I.], v. 255, n. 3-4, p. 901-912, 2008.

STAPE, J. L.; RYAN, M. G.; BINKLEY, D. Testing the utility of the 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*, Amsterdam, v. 193, n. 1-2, p. 219-234, 2004.

VIERA, M.; SCHUMACHER, M. V.; ARAÚJO, E. F.; CORRÊA, R. S.; CALDEIRA, M. V. W. Deposição de serapilheira e nutrientes em plantio de *Eucalyptus urophylla* x *E. globulus*. *Floresta e Ambiente*, v. 21, n. 3, p. 327-338, 2014.

VIERA, M.; SCHUMACHER, M. V.; TRÜBY, P.; ARAÚJO, E. F. Biomassa e nutrientes em um povoamento de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus globulus*, em Eldorado do Sul-RS. *Ecologia e Nutrição Florestal*, Santa Maria-RS, v.1, n.1, p.1-13, 2013.

WHITEHEAD, D.; BEADLE, C.L. Physiological regulation of productivity and water use in *Eucalyptus*: a review. *Forest Ecology and Management*, Amsterdam, v. 193, p.113-140, 2004.

XAVIER, A. C.; SOARES, J. V.; ALMEIDA, A. C. Variação do índice de área foliar em clones de eucalipto ao longo do seu crescimento. *Revista Árvore*, Viçosa, MG, v. 26, n. 4, p. 421 – 427, 2002.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com base nos valores dos parâmetros fisiológicos avaliados nesse estudo, nota-se melhor desempenho do *E. benthamii*, sendo este, sempre igual ou melhor que o *E. saligna* e *E. dunnii*, em todos os períodos climáticos.

Os extremos climáticos (período frio e quente) interferem menos nos processos fisiológicos dos plantios de *E. dunnii* e *E. benthamii* quando comparados ao *E. saligna*, que apresentou menores valores de fotossíntese em períodos com altas temperaturas e menor disponibilidade hídrica.

Diferentemente do que é observado em regiões tropicais produtoras de eucalipto, verifica-se maior potencial fotossintético ( $A_{max}$  e  $A$ ) nos plantios adultos (idade maior que 57 meses) em relação aos plantios jovens, exceto no período intermediário onde foi verificado valores semelhantes para os dois plantios.

Ao se comparar o potencial fotossintético entre os períodos climáticos estudados, verifica-se redução do mesmo, para os plantios jovem e adulto, nos períodos quente (redução nos valores de  $A_{max}$ ,  $\alpha$ ,  $A$  e  $gs$ ) e frio (redução nos valores de  $A_{max}$  e  $\alpha$ ).

As maiores reduções das taxas fotossintéticas foram observadas no período quente no plantio jovem.

A variação da alocação de biomassa ao longo da idade acompanha a tendência geral, onde lenho e casca aumentaram sua proporção ao longo do ciclo, e folhas, galhos e raízes diminuíram a proporção em relação a biomassa total com o passar do tempo.

O incremento médio anual sem casca aos 103 meses de idade foi alto, muito acima da produtividade média dos plantios brasileiros de eucalipto.

Os plantios diminuíram  $IAF$  aos 29 meses de idade, indicando que a partir dessa idade ocorra o fechamento do dossel.

A sazonalidade do clima se mostrou presente com redução do  $IAF$  no inverno e verão e maiores valores de deposição de serapilheira ocorrendo nos meses de janeiro e fevereiro.

A utilização do modelo 3-PG é válida para a estimativa do diâmetro a altura do peito, altura total e volume de madeira sem casca para *Eucalyptus saligna* em Eldorado do Sul, RS. A validação do modelo foi estatisticamente aceita e as estimativas obtidas pelo modelo apresentaram correlação com os dados observados, tanto na etapa de calibração, quanto na de validação.