

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

**CALIBRAÇÃO DO MODELO 3-PG PARA *Eucalyptus*
saligna Smith NA REGIÃO DE GUAÍBA, RS**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Eduardo Kneipp Londero

**Santa Maria, RS, Brasil
2011**

**CALIBRAÇÃO DO MODELO 3-PG PARA *Eucalyptus saligna*
Smith NA REGIÃO DE GUAÍBA, RS**

por

Eduardo Kneipp Londero

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

Orientador: Prof. Dr. nat. techn. Mauro Valdir Schumacher

Santa Maria, RS, Brasil

2011

L847c Londoro, Eduardo Kneipp

Calibração do modelo 3-PG para *Eucalyptus saligna* Smith na região de Guaíba, RS / por Eduardo Kneipp Londoro.- 2011.

68 p. ; 31 cm

Orientador: Mauro Valdir Schumacher.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, RS, 2011

1. Ecofisiologia florestal 2. Biomassa florestal 3. Serrapilheira 4. Alocação de carbono 5. Modelagem 6. Região de Guaíba - Rio Grande do Sul
I. Schumacher, Mauro Valdir II. Título.

CDU 630.2(816.5)

Ficha catalográfica elaborada por Simone G. Maisonave - CRB 10/1733
Biblioteca Central da UFSM

© 2011

Todos os direitos autorais reservados a Eduardo Kneipp Londoro. A reprodução de partes ou do todo deste trabalho só poderá ser feita mediante a citação da fonte.

Endereço: Rua Vicente do Prado Lima, 554/203, 97105-390

Fone: (55) 99678857, Endereço Eletrônico: eklondoro@gmail.com

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

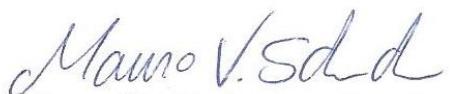
A Comissão Examinadora, abaixo assinada,
aprova a Dissertação de Mestrado

**CALIBRAÇÃO DO MODELO 3-PG PARA *Eucalyptus saligna* Smith NA
REGIÃO DE GUAÍBA, RS**

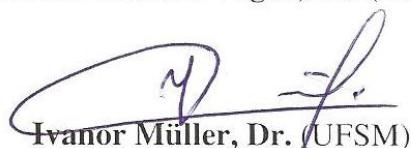
elaborada por
Eduardo Kneipp Londero

como requisito parcial para obtenção do grau de
Mestre em Engenharia Florestal

COMISSÃO EXAMINADORA:


Mauro Valdir Schumacher, Dr.
(Presidente/Orientador)


Hamilton Luiz Munari Vogel, Dr. (UNIPAMPA)


Ivanor Müller, Dr. (UFSM)

Santa Maria, 26 de agosto de 2011.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela vida e pela sabedoria.

Ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, por ter acreditado no meu trabalho, e a CAPES, pela concessão da bolsa de auxílio.

Ao Prof. Mauro Valdir Schumacher, por confiar e acreditar no meu trabalho desde a graduação até hoje.

A CMPC Celulose Riograndense, em especial, ao colega Eng. Florestal Elias Frank Araújo, por ter acreditado no potencial do trabalho a ser desenvolvido.

A SERTEF, principalmente, ao Cassiano Santos Bauer, Rodrigo Santos Didio e Christian Velho Machado e suas equipes, pelo apoio logístico para a realização das coletas de dados.

Ao Prof. Carlesso e ao Juliano Dalcin Martins, pela ajuda com os aparelhos fisiológicos.

Aos colegas do Laboratório de Ecologia Florestal (LABEFLO), sendo eles funcionários, alunos de graduação e pós-graduação, por todo o apoio para a realização deste trabalho.

A família, por ter me incentivado na realização de mais esta etapa da minha vida.

A minha namorada, Denise Andréia Szymczak, pelo apoio e pelo incentivo nas horas boas e ruins.

“A vida só tem expressão, só tem sentido, só tem beleza quando guiada por um ideal.”

(Alberto Pasqualini, Senador)

RESUMO

Dissertação de Mestrado
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal
Universidade Federal de Santa Maria, RS, Brasil

CALIBRAÇÃO DO MODELO 3-PG PARA *Eucalyptus saligna* Smith NA REGIÃO DE GUAÍBA, RS

AUTOR: EDUARDO KNEIPP LONDERO
ORIENTADOR: Dr. MAURO VALDIR SCHUMACHER
Local e Data da Defesa: Santa Maria, 26 de agosto de 2011.

O trabalho teve como objetivo principal calibrar o modelo 3-PG para *Eucalyptus saligna* na região de Guaíba, RS para as variáveis diâmetro à altura do peito (DAP), altura total, volume de madeira e biomassa de *stem* (galho, casca e lenho). O estudo ocorreu na região de Guaíba, RS, sendo utilizados plantios clonais de *Eucalyptus saligna*, em diversos espaçamentos. Foram selecionadas seis idades ao longo do ciclo de cultivo (2º ao 7º ano). Realizou-se o inventário florestal em 60 plantas por parcela, para posterior coleta da biomassa (três árvores, sendo fracionadas em lenho, casca, galhos e folhas). Na árvore média de cada parcela, mensurou-se a biomassa de raízes até a profundidade de 1 m. Análises físicas e químicas em amostras de solo foram realizadas nas camadas de 0 a 20 cm, 20 a 40 cm e 40 a 100 cm. A deposição de serapilheira foi estimada através da alocação de quatro coletores quadrados de madeira de 0,5 m². A área foliar obteve-se através de fotografias digitais e, a partir destas, estimou-se a área foliar específica. Os parâmetros fisiológicos foram mensurados através do aparelho Li-Cor 6400, em seis parcelas, uma em cada idade. Os parâmetros climáticos foram fornecidos através da Estação Experimental Agronômica da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. As equações alométricas e as não-lineares ajustadas para fração galho/casca, densidade básica da madeira e área foliar específica não tiveram bom ajuste, pois há variabilidade nos dados utilizados. Apesar dos valores estimados serem diferentes dos valores observados, o desempenho do modelo, em termos de ajuste, superou outras parametrizações disponíveis na literatura. A parametrização e a calibração do modelo 3-PG foram feitas de modo satisfatório, atendendo todas as previsões propostas pelo modelo. A validação do modelo não foi estatisticamente aceita, mas os seus dados estimados podem ser utilizados como fonte de estimativa para as variáveis estudadas, evidenciando o potencial do seu uso, porém, com a necessidade de estudos adicionais para melhor compreensão desta espécie para esta região. O emprego dos parâmetros levantados por outros autores em outras regiões não pode ser utilizada para a região de estudo.

Palavras-chave: Ecofisiologia florestal. Biomassa florestal. Serrapilheira. Alocação de carbono. Modelagem.

ABSTRACT

Master's Dissertation
Post-Graduation Program in Forest Engineering
Universidade Federal de Santa Maria, RS, Brazil

CALIBRATION THE MODEL 3-PG FOR *Eucalyptus saligna* IN THE REGION OF GUAÍBA, RS

AUTHOR: EDUARDO KNEIPP LONDERO
ADVISER: Dr. MAURO VALDIR SCHUMACHER
Date and Place of Defense: Santa Maria, August 26th, 2011.

The study aimed to calibrate the model 3-PG for *Eucalyptus saligna* in the region of Guaíba, RS for the following variables diameter at breast height (DBH), total height, wood volume and biomass of stem (branch, bark and wood). The study took place in the region of Guaíba, RS, and clonal plantations of *Eucalyptus saligna* in various spacings were used. Six different ages were selected along the crop cycle (2nd to 7th year). A forest inventory was carried out in 60 plants per plot for further collection of biomass (three trees fractionated into wood, bark, branches and leaves). The biomass of roots on the medium tree of each plot was measured to a depth of 1 m. Physical and chemical analysis were performed in the samples of soil in layers from 0 to 20 cm, 20 to 40 cm and 40 to 100 cm. Litter deposition was estimated by allocating 4 square wood collectors of 0.5 m². Leaf area was obtained through digital photographs and thus the specific leaf area was estimated. The physiological parameters were measured using the Li-Cor 6400 in six plots, one at each age. Climatic parameters were provided through the Agronomic Experimental Station of the Federal University of Rio Grande do Sul. Allometric and nonlinear equations adjusted for the fraction branch/bark, wood basic density and specific leaf area did not present a good adjustment because there was variability in the data used. Although the estimated values differed from the values observed, the model performance in terms of adjustment exceeded other parameterizations available in the literature. The parameterization and calibration of the model 3-PG were performed satisfactorily meeting all the predictions proposed by the model. The model validation was not statistically accepted, but their estimated data can be used as a source of estimates for the variables studied, demonstrating the potential of its use, however, the need for additional studies to better understanding of this species in this region. The use of the parameters raised by other authors in other regions cannot be used for the region studied.

Keywords: Forest Ecophysiology. Forest Biomass. Litter. Carbon Allocation. Modeling.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Estrutura básica de 3-PG e as influências causais de suas variáveis e processos. Fonte: Sands (2004).....	18
Figura 2 – Aspecto do solo de uma das parcelas do estudo.	27
Figura 3 – Posição de coleta dos discos para a amostragem de lenho e casca.	28
Figura 4 - Esquema para a coleta das raízes, em plantio de espaçamento de 3 m x 3 m.	29
Figura 5 - Aspecto da escavação e da coleta das raízes.....	29
Figura 6 - Amostras imersas em água (A) e balança hidrostática para determinação do volume das amostras (B).	30
Figura 7 – Aspecto de um coletor de serapilheira usado nas áreas do estudo.....	32
Figura 8 - Distribuição dos coletores de serapilheira nas parcelas.....	32
Figura 9 - Aquisição das imagens digitais.....	34
Figura 10 - Uso do aparelho Li-Cor 6400.	35
Figura 11 - Equação alométrica ajustada entre a altura total (m) e o DAP (cm).....	40
Figura 12 - Equação alométrica ajustada entre o volume de madeira sem casca ($m^3 ha^{-1}$) e o DAP (cm).....	40
Figura 13 - Equação alométrica ajustada entre a biomassa de <i>stem</i> ($kg planta^{-1}$) e o DAP (cm).	41
Figura 14 - Deposição de serapilheira (folhas e galhos finos) em função dos meses de cultivo.	46
Figura 15 – Valores observados e estimados pelo modelo 3-PG do diâmetro à altura do peito (DAP) de <i>E. saligna</i>	48
Figura 16 - Valores observados e estimados pelo modelo 3-PG da altura total (m) de <i>E. saligna</i>	49
Figura 17 - Valores observados e estimados através do modelo 3-PG para volume de madeira ($m^3 ha^{-1}$) de <i>E. saligna</i>	49
Figura 18 - Valores observados e estimados pelo modelo 3-PG da biomassa de <i>stem</i> ($t ha^{-1}$) de <i>E. saligna</i>	50
Figura 19 – Diâmetro à altura do peito (DAP) observado e estimado pelo modelo 3-PG, através da parametrização de outros autores.	54

Figura 20 - Altura total observada e estimada pelo modelo 3-PG, através da parametrização de outros autores.....	55
Figura 21 - Volume de madeira observado e estimado pelo modelo 3-PG, através da parametrização de outros autores.....	55
Figura 22 - Biomassa de <i>stem</i> observada e estimada pelo modelo 3-PG, através da parametrização de outros autores.....	56

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Descrição das áreas de pesquisa	24
Tabela 2 – Calagem e adubações das áreas de estudo.....	25
Tabela 3 – Classificação dos solos nas áreas de estudo.	26
Tabela 4 – Áreas selecionadas para as estimativas da condutância estomática e o déficit de pressão do vapor atmosférico (DPV).....	35
Tabela 5 – Diâmetro à altura do peito (DAP), altura total e volume de madeira sem casca em diferentes idades do <i>Eucalyptus saligna</i> , na região de Guaíba, RS.....	39
Tabela 6 – Equações não-lineares ajustadas entre a fração galho/casca (FGC), densidade básica da madeira (DEN) e área foliar específica (AFE) e a idade para povoamentos de <i>E. saligna</i>	42
Tabela 7 – Valores de fração gaho/casca (kg kg ⁻¹), densidade básica da madeira (t m ⁻³) e área foliar específica (kg m ⁻²) em relação as idades do povoamento.....	42
Tabela 8 – Produção de biomassa de folhas, galhos, casca, lenho e raiz em Mg ha ⁻¹ , para <i>Eucalyptus saligna</i> , na região de Guaíba, RS.....	43
Tabela 9 – Condutância estomática, déficit de pressão do vapor atmosférico (DPV) e índice de área foliar (IAF) em função da idade nos povoamentos de <i>E. saligna</i>	45
Tabela 10 – Eficiência do modelo 3-PG ao estimar o crescimento de plantios de <i>Eucalyptus saligna</i> em DAP, altura total, volume de madeira e biomassa de <i>stem</i>	50
Tabela 11 – Principais parâmetros utilizados no modelo 3-PG após a parametrização e calibração deste trabalho e de demais autores Sands e Landsberg (2002), Stape et al. (2004), Almeida et al. (2004b), Silva (2006) e Borges (2009).	52

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

3-PG – Princípios fisiológicos para predição do crescimento

AFE – Área Foliar específica

CO₂ – Gás carbônico

DAP – Diâmetro à altura do peito

DPV - Déficit de Pressão Atmosférica de Vapor

EUC – Eficiência do uso do Carbono

FR – Fertilidade do solo

IAF – Índice de área foliar

PBMs – Modelos Baseados em Processos

PPB – Produção Primária Bruta

PPL – Produção Primária Líquida

RFA - Radiação Fotossinteticamente Ativa

RS – Radiação solar

SIG – Sistema de Informações Geográficas

STEM – Soma da biomassa de galhos, casca e lenho

LISTA DE APÊNDICES

Apêndice A - Temperatura máxima média mensal (°C).....	63
Apêndice B - Temperatura mínima média mensal (°C).....	63
Apêndice C - Precipitação mensal (mm).....	63
Apêndice D - Evapotranspiração mensal (mm).....	64
Apêndice E - Radiação solar mensal média (MJ m ⁻² d ⁻¹)	64
Apêndice F - Dias de chuva mensal.	64
Apêndice G - Dias de geada mensal.....	65
Apêndice H – Características físicas do solo nas áreas de estudo.....	65
Apêndice I – Atributos químicos do solo das áreas de pesquisa.	66
Apêndice J – Produção de serapilheira, folhas e galhos finos, em função da idade do plantio.	67

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	15
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	18
3 MATERIAL E MÉTODOS	24
3.1 Localização das áreas do estudo	24
3.2 Calagem, adubações e tratos culturais	25
3.3 Inventário florestal.....	26
3.4 Solo.....	26
3.5 Parâmetros ecológicos	28
3.5.1 Biomassa.....	28
3.5.2 Densidade básica da madeira.....	30
3.5.3 Produção de serapilheira.....	31
3.6 Parâmetros fisiológicos	33
3.6.1 Área foliar específica (AFE).....	33
3.6.2 Condutância Estomática e Déficit de Pressão do Vapor Atmosférico (DPV).....	34
3.6.3 Índice de Área Foliar (IAF).....	36
3.7 Parâmetros climáticos.....	36
3.8 Análises estatísticas	37
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	39
4.1 Inventário florestal.....	39
4.2 Equações alométricas	39
4.3 Equações não-lineares	41
4.4 Distribuição da biomassa.....	43
4.4 Variáveis fisiológicas	44
4.5 Produção de serapilheira.....	46
4.6 Atributos do solo	47
4.7 Valores observados e estimados	47
4.8 Principais parâmetros utilizados no modelo 3-PG	51
4.9 Comparação com outros autores.....	54
5 CONCLUSÕES.....	57
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	58
APÊNDICES	63

1 INTRODUÇÃO

A avaliação apenas do crescimento florestal, sem a caracterização dos processos responsáveis por tal efeito, não é completa, porque não permite identificar quais os mecanismos de crescimento que causaram tais respostas, impossibilitando diagnósticos. Portanto, o entendimento das variáveis e dos processos determinantes no desenvolvimento das florestas, como o índice de área foliar e a dinâmica da radiação no dossel, são de crucial importância e devem ser avaliados (LANDSBERG, 2003).

Há um crescente interesse mundial no uso de modelos baseados em processos (PBMs) como ferramentas para a gestão florestal. Na Austrália, PROMOD (BATTAGLIA e SANDS, 1997 apud SANDS, 2004), CABALA (BATTAGLIA et al., 2004) e 3-PG (LANDSBERG e WARING, 1997) são amplamente utilizados como complemento às ferramentas tradicionais de gestão florestal por vários órgãos (pesquisa, governo, comercial e consultores privados) para serviços de diagnóstico, tomada de decisão e análise econômica. No Brasil, a Aracruz Celulose implantou o 3-PG como o componente central de um SIG baseado em um novo sistema de gestão (ALMEIDA et al., 2003; ALMEIDA et al., 2004a).

Os modelos processuais são cada vez mais necessários para estimar o crescimento e a produtividade da floresta sob diferentes condições ambientais e disponibilidade de recursos, encontrando grande aplicação em plantios de eucaliptos (MARRICHI, 2009). A proposta de utilização de 3-PG como uma ferramenta para a gestão florestal baseia-se na capacidade de atribuir valores para os parâmetros que caracterizam novas espécies (SANDS, 2004). A proliferação de espécies às quais o 3-PG está sendo aplicado e o potencial de consequências incorretas quando o modelo é utilizado como uma ferramenta de gestão suscita, há dúvidas sobre como o modelo será testado ou parametrizado. Estas surgem, em parte por causa de uma falta geral de dados adequados para testar ou parametrizar o modelo, especialmente com dados de biomassa acima e abaixo do solo, e em parte porque o teste de parametrização poderá não ser feito dentro de uma compreensão adequada do mesmo. Em poucos casos têm parâmetros que caracterizam uma espécie rigorosamente determinada e, mesmo assim este tem sido em grande parte por um processo de tentativa e erro, por exemplo, para *E. globulus* por Sands e Landsberg (2002).

Como primeira regra geral, os parâmetros para novas espécies devem ser sempre atribuídas por medida direta e independente ou por analogia com outras espécies, como foi o

caso da maior parte do PROMOD (BATTAGLIA e SANDS, 1997 apud SANDS, 2004) e CABALA (BATTAGLIA et al., 2004) . Na falta destes, os seus valores podem ser ajustados de forma a otimizar o ajuste das saídas selecionadas correspondentes a valores observados, um processo chamado de estimativa de parâmetros.

Um protocolo de sistemática para atribuição de parâmetros específicos de espécies pode ser facilitado através do uso de uma compreensão mais profunda do 3-PG, o significado dos seus parâmetros e um entendimento sobre a sensibilidade das saídas 3-PG para estes parâmetros (SANDS e LANDSBERG, 2002). Em particular, a compreensão é essencial para apoiar a utilização de ferramentas de *software* para estimativa de parâmetros, otimizando o acesso de saída para os dados observados.

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

Conhecer as interações entre o meio e as plantas faz parte da ecofisiologia florestal que visa a compreender o crescimento florestal por meio do entendimento dos processos que o governa, para permitir manejar as florestas em sintonia com o uso dos recursos naturais (STAPE et al., 2004).

Os conhecimentos de ecofisiologia podem ser implementados nos chamados modelos processuais que se baseiam no conhecimento da fisiologia da planta e da física do ambiente para fornecer informações sobre a produtividade potencial dos sítios, os efeitos do clima sobre o crescimento da floresta e entender os efeitos das práticas silviculturais (ALMEIDA et al., 2004a).

Além disso, a adaptação de espécies aos efeitos do clima pode ajudar no manejo de água em condições diferentes de umidade, razão pela qual o uso da água reflete a complexidade de fatores envolvidos na interação planta ambiente (SILVA et al., 2004).

A utilização do modelo 3-PG no Rio Grande do Sul é de caráter inédito, assim como, a parametrização e a calibração do mesmo para a espécie em estudo, *Eucalyptus saligna*.

Em face do exposto, o presente trabalho teve como objetivo geral a calibração do modelo 3-PG para *Eucalyptus saligna* na região de Guaíba, RS e, como objetivos específicos:

- Parametrizar as variáveis ecológicas, fisiológicas e climáticas utilizadas no modelo 3-PG;

- Calibrar e ajustar as variáveis empregadas no modelo 3-PG para *Eucalyptus saligna* na região de Guaíba, RS;
- Validar as estimativas geradas pelo modelo (DAP, altura total, volume de madeira e biomassa de *stem*), comparando-as com dados obtidos “*in loco*”;
- Comparar os dados observados com os dados estimados pelo modelo 3-PG através da parametrização feita por outros autores.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O 3-PG (*Physiological Principles Predicting Growth*), desenvolvido pelo pesquisador australiano Peter Sands, é constituído de cinco submodelos simples: a produção de biomassa, a alocação de biomassa entre as folhas, as raízes e o *stem* (tronco + galhos + casca), a mortalidade de tronco, o balanço hídrico do solo e a conversão de biomassa de *stem* em variáveis de interesse para gestores florestais (Figura 1). Suas variáveis são biomassas de folhas, *stem* e raiz, densidade do povoamento e água disponível no solo. A biomassa inclui casca do tronco e galhos, apesar de 3-PG pedir desconto para galhos e casca, utilizando uma espécie de fração galho/casca (SANDS, 2004).

Também como dados climáticos de entrada (*inputs*) são médias mensais de radiação solar total diária, temperatura média do ar, dados diários de déficit de pressão atmosférica de vapor (DPV), precipitação e irrigação, além de dias de geada. O 3-PG pode usar os dados anuais ou dados mensais. A utilização dos dados anuais é comum a menos que haja um interesse especial em eventos específicos, como a seca. Outros insumos são fatores que descrevem o sítio: a latitude do local, uma avaliação da fertilidade do solo, a água máxima disponível no solo e a textura do solo (SANDS, 2004).

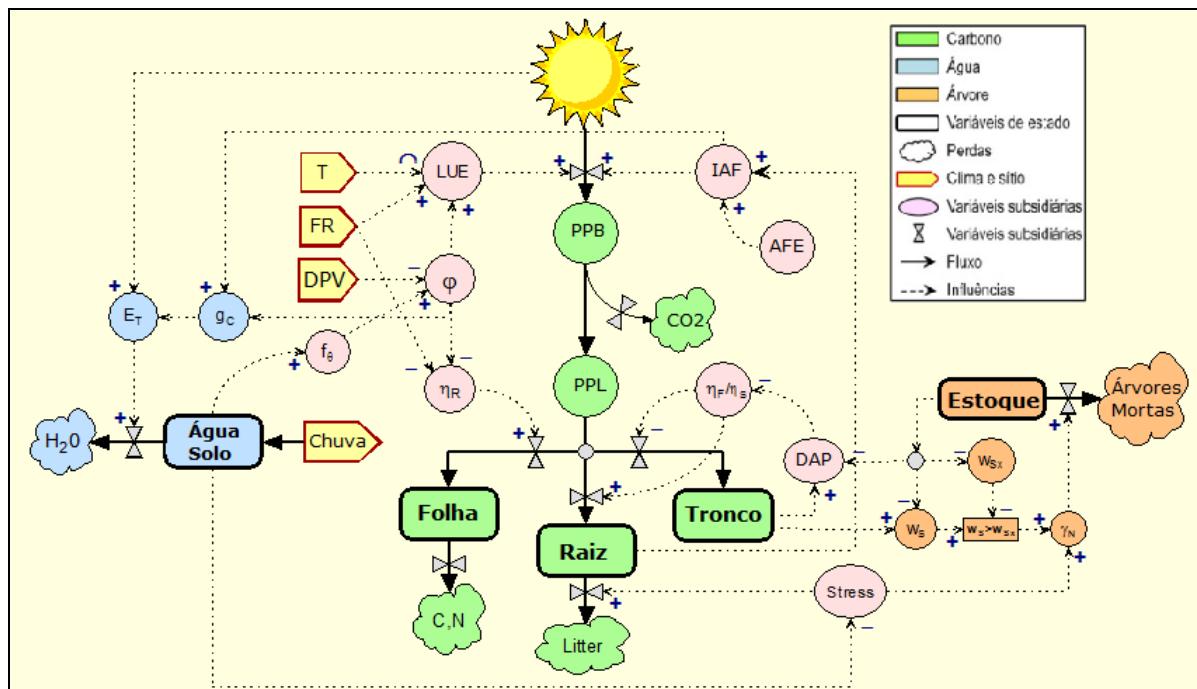


Figura 1 - Estrutura básica de 3-PG e as influências causais de suas variáveis e processos.
Fonte: Sands (2004).

No modelo 3-PG, a radiação fotossinteticamente ativa (RFA \mathcal{O}_p (mol m⁻²)) incidente na florestal, considerando-se que cada 1 MJ de radiação solar (RS) é equivalente a 2,3 mols de RFA. A RFA interceptada pelo dossel é determinada a partir da radiação solar incidente total e IAF através da lei de Beer modificada por Monsi e Saeki 1953 (LARCHER, 2006) sendo expressa pela Equação 1.

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

Sendo:

I_z = intensidade da radiação a uma determinada altura dentro da cobertura vegetal;

I_0 = intensidade da radiação no topo da cobertura vegetal, RFA;

k = coeficiente de atenuação para uma dada comunidade vegetal;

IAF = soma total da superfície foliar acima de I_z por unidade de área de solo.

A produção primária bruta (PPB) é proporcional à radiação fotossinteticamente ativa interceptada. O fator de proporcionalidade, chamado de eficiência quântica do dossel, leva em conta os efeitos ambientais através de modificadores multiplicativos com base no DPV, da água disponível no solo, a temperatura média do ar, os dias de geadas por mês, a nutrição no sítio e da idade dos povoamentos. A produção primária líquida (PPL) é uma fração constante da PPB.

Os efeitos ambientais sobre a produção são contabilizados por modificadores adimensionais multiplicativos f_i , ($0 \leq f_i \leq 1$) aplicados à eficiência quântica do dossel (α_C) e à fisiologia (φ). Os modificadores levam em consideração os efeitos da eficiência quântica máxima do dossel (α_{Cx}), a temperatura média do ar (f_T), os dias de geada (f_F), o déficit de pressão do vapor atmosférico (f_{DPV}), a água disponível no solo (f_θ), fatores nutricionais (f_N) e a idade do povoamento (f_{age}). Estes modificadores não atuam de forma aditiva ou multiplicativa, e sim considerando limitações restritivas (modificador de menor valor), por exemplo, se a água do solo é mais limitante ao crescimento do que o DPV, então, o f_A atuará limitando o crescimento no período considerado (LANDSBERG et al., 2001). Assim:

$$\alpha_C = \alpha_{Cx} \varphi f_T f_F f_N \quad (2)$$

$$\varphi = f_{age} \min\{f_{DPV}, f_\theta\} \quad (3)$$

Após, o modelo considera que a cada 1 g de matéria seca existente na biomassa florestal 0,5 g é de carbono, assim a cada 1 mol de carbono fixado, são gerados 24 g de matéria seca, pois a massa molar do carbono é igual a 12 g. A partir destas conversões, a PPB é expressa em t ha⁻¹ de matéria seca.

A divisão entre a produção primária líquida (PPL) pela produção primária bruta (PPB) equivale a um coeficiente de eficiência do carbono (EUC) (GIFFORD, 2001). Este coeficiente varia pouco e tem permanecido na faixa de 0,45 ($\pm 0,05$) para uma grande variedade de florestas, como angiospermas decíduas e coníferas não-decíduas, jovens e adultas (LANDSBERG e WARING, 1997). Este coeficiente adotado para o modelo 3-PG facilita os cálculos e elimina a necessidade de calcular as perdas de C pela respiração, pois estas são de difícil mensuração. Segundo Landsberg e Waring (1997) este erro, cometido ao adotar este intervalo de valores no EUC, é menor do que resultaria do cálculo da respiração.

Atribuição da PPL às raízes é determinada por condições ambientais de crescimento, expressa pela água disponível no solo, pelo DPV e pela fertilidade do solo no sítio. A proporção da PPL alocada para as raízes aumenta quando o estado nutricional e/ou a água disponível no solo diminuem. A fertilidade do solo (FR) influencia diretamente na alocação de carboidratos para as raízes (m):

$$m = m_0 + (1 - m_0)FR \quad (4)$$

Onde:

m = alocação de carboidratos para as raízes;

m_0 = valor de m quando $FR = 0$;

FR = taxa de fertilidade do solo.

A variável m_0 , na equação anterior, corresponde ao m em solos de baixa fertilidade ($FR = 0$), que seria, neste caso, igual a 0. O valor de FR varia de 0 (alta limitação na fertilidade do solo) a 1 (sem limitação), sendo obtido empiricamente, mas tendo, como base, as características físicas e químicas do solo, os dados de crescimento florestal e a experiência do manejador florestal. Este valor de m é usado na equação empírica que calcula a alocação de carboidratos para as raízes:

$$n_R = \frac{\eta_{Rx}\eta_{Rn}}{\eta_{Rn} + (\eta_{Rx} - \eta_{Rn})m\varphi} \quad (5)$$

Onde:

n_R = coeficiente de alocação para as raízes;

η_{Rx} = valor máximo do coeficiente de alocação para as raízes;

η_{Rn} = valor mínimo do coeficiente de alocação para as raízes;

φ = modulador fisiológico.

Quanto maior for a limitação hídrica e/ou nutricional, através dos correspondentes moduladores, maior será o coeficiente de alocação de carbono para as raízes (n_R), segundo Sands e Landsberg (2002).

Uma probabilidade dependente é aplicada mensalmente em relação à mortalidade do povoamento sendo modificado por fatores de estresse a longo prazo, como o estresse hídrico. Mudanças no estoque são calculadas usando o desbaste para estimar um limite superior à árvore de biomassa média o estoque atual. Se a árvore de biomassa média atual é superior a este limite, a população é reduzida a um nível compatível com o limite, pois as árvores suprimidas morrem primeiro, presumindo que cada árvore retirada tem apenas uma fração da biomassa da árvore média.

A alocação de biomassa para folhas e *stem* depende do tamanho da árvore média (DAP), de tal forma que a atribuição às folhas diminui e incrementa para o *stem*, conforme o aumento da idade. O DAP é determinado a partir do único tronco da árvore de biomassa média através de uma relação alométrica. Assim, a razão da partição da biomassa entre folha e *stem* ($pFS = n_F/n_S$) é uma função alométrica em relação ao DAP.

$$pFS = a_p \text{dap}^{n_p} \quad (6)$$

Os parâmetros a_p e n_p da equação 6 são obtidos através das equações 7 e 8.

$$n_p = \frac{\ln(pFS_{20}/pFS_2)}{\ln(20/2)} \quad (7)$$

$$a_p = \frac{pFS_2}{2^{n_p}} \quad (8)$$

Onde:

pFS_2 = partição da biomassa entre folhas e *stem* no diâmetro de 2 cm;

pFS_{20} = partição da biomassa entre folhas e *stem* no diâmetro de 20 cm

Depois de calculada a partição da biomassa entre folhas e *stem* (pFS) para um diâmetro qualquer e o coeficiente de alocação de carbono para as raízes (n_R), calcula-se o coeficiente de alocação para *stem* (n_S), com base na equação 9:

$$n_S = \frac{(1-n_R)}{(1+pFS)} \quad (9)$$

Entretanto o coeficiente de alocação de biomassa para as folhas (n_F) é obtido indiretamente, diminuindo o valor dos coeficientes de alocação de biomassa para raiz e *stem*:

$$n_F = 1 - n_R - n_S \quad (10)$$

O 3-PG inclui um modelo de balanço de água no solo utilizado em etapa mensal. A precipitação (incluindo irrigação, quando utilizada) é equilibrada com a evapotranspiração calculada, usando a equação de Penman-Monteith. A interceptação é uma fração da água da chuva e depende do IAF do dossel. Quanto à água no solo, além da retenção, há uma capacidade intrínseca de cada sítio que é o escoamento superficial ou a drenagem profunda. A condutância do dossel é determinada a partir do IAF e da condutância estomática, sendo que ela aumenta com o aumento do IAF, até um máximo de condutividade, sendo afetada pelo DPV, pela água disponível no solo e pela idade dos povoamentos.

As características como o volume de madeira, o DAP, a área basal e o IMA são computados a partir da biomassa e da densidade do povoamento. A fração galhos-casca e densidade básica da madeira são explicitamente relacionadas com a idade. Relações alométricas, em termos de estoque e DAP, podem ser usadas para determinar altura da árvore, volume utilizável, etc.

No modelo 3-PG, as varáveis de saídas (*outputs*) podem ser área foliar específica (AFE) ($m^2 \ kg^{-1}$), índice de área foliar (IAF) ($m^2 \ m^{-2}$), volume de madeira ($m^3 \ ha^{-1}$), incremento médio anual de volume (IMA) ($m^3 \ ha^{-1} \ ano^{-1}$), diâmetro médio à altura do peito (DAP) (cm), biomassa de *stem*, folhas e raízes ($t \ ha^{-1}$) e deposição de serapilheira ($t \ ha^{-1}$). Os *outputs*, por sua vez, podem ser valores anuais ou mensais.

O modelo 3-PG já foi utilizado por Sands e Landsberg (2002) para *Eucalyptus globulus* na Austrália, Stape et al. (2004) fizeram-no para *E. grandis* x *urophylla* no Nordeste do Brasil, Almeida et al. (2004b), para *E. grandis* no Sudeste do Brasil, Silva (2006), para *E.*

grandis x *urophylla* na região Centro-Leste de Minas Gerais, Brasil e Borges (2009), para *E. grandis* x *urophylla* na região do cerrado de Minas Gerais, Brasil.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Localização das áreas do estudo

Este trabalho foi realizado na empresa CMPC Celulose Riograndense, na região de Guaíba, RS. A espécie utilizada foi plantios clonais de *Eucalyptus saligna*. Foram selecionadas seis idades ao longo do ciclo de cultivo (2º ao 7º ano), sendo alocadas três parcelas por idade, resultando em 18 parcelas. Na Tabela 1, está a descrição das parcelas do estudo.

Tabela 1 – Descrição das áreas de pesquisa.

Cidade	Horto Florestal	Talhão	Idade	Coordenadas Geográficas		Altitude (m)
				Latitude (S)	Longitude (O)	
Eldorado do Sul	Caunã	005	2	30°10'11"	51°33'22"	130
Eldorado do Sul	Caunã	008	2	30°09'40"	51°33'51"	132
Eldorado do Sul	Monte Alegre VI	020	2	30°04'21"	51°28'08"	33
Guaíba	Paulo Valter I	016	3	30°11'29"	51°31'47"	112
Guaíba	Paulo Valter I	010	3	30°11'07"	51°32'34"	195
Guaíba	Paulo Valter I	014	3	30°11'55"	51°30'57"	125
Eldorado do Sul	Boa Vista	001	4	30° 04'17"	51°26'33"	94
Arroio dos Ratos	Mangueira II	006	4	30°15'55"	51°44'51"	159
Arroio dos Ratos	Mangueira II	013	4	30°15'13"	51°44'54"	159
Eldorado do Sul	Boa Vista	019	5	30° 04'19"	51°27'20"	102
Guaíba	Petim II	025 Parc 1	5	30°13'52"	51°25'33"	152
Guaíba	Petim II	025 Parc 2	5	30°13'50"	51°25'33"	153
Eldorado do Sul	Bom Retiro I	001	6	30°07'21"	51°28'06"	56
Guaíba	Bom Princípio	001 Parc 1	6	30°07'24"	51°23'24"	62
Guaíba	Bom Princípio	001 Parc 2	6	30°07'27"	51°23'01"	69
Guaíba	Capão Alto	001	7	30°09'51"	51°26'53"	67
Guaíba	Capão Alto	011	7	30°10'12"	51°26'08"	72
Guaíba	Paulo Valter I	002	7	30°11'54'	51°31'22"	93

3.2 Calagem, adubações e tratos culturais

Na Tabela 2 estão descritas as calagens e adubações. A fosfatagem foi realizada com fosfato natural com aplicação no sulco. A adubação de plantio foi realizada com NPK com a fórmula 06:30:06 e a de cobertura e manutenção com 12:00:20.

Tabela 2 – Calagem e adubações das áreas de estudo.

Horto Florestal	Talhão	Calcário (t ha ⁻¹)	Fosfatagem (kg ha ⁻¹)	Adubações		
				Plantio (g planta ⁻¹)	Cobertura (kg ha ⁻¹)	Manutenção (kg ha ⁻¹)
Caunã	005	0	500	100	220	0
Caunã	008	0	500	100	220	0
Monte Alegre VI	020	2	400	100	220	0
Paulo Valter I	016	2	400	100	220	0
Paulo Valter I	010	2	400	100	220	0
Paulo Valter I	014	2	400	100	220	0
Boa Vista	001	2	400	100	220	300
Mangueira II	006	2	400	100	220	300
Mangueira II	013	2	400	100	220	300
Boa Vista	019	2	400	100	220	300
Petim II	025 Parc 1	2	400	100	220	200
Petim II	025 Parc 2	2	400	100	220	200
Bom Retiro I	001	2	400	100	220	200
Bom Principio	001 Parc 1	2	400	100	220	200
Bom Principio	001 Parc 2	2	400	100	220	200
Paulo Valter I	002	2	0	100	220	0
Capão Alto	011	2	0	100	220	0
Capão Alto	011	2	0	100	220	0

Foi realizada em todas as áreas de estudo aplicação de herbicida em área total, pré-emergente em na linha e duas aplicações manuais com costal.

3.3 Inventário florestal

As parcelas do inventário (18 parcelas) foram constituídas de 60 plantas, sendo seis linhas com 10 árvores cada. A área de cada parcela variou conforme o espaçamento utilizado pela empresa. No inventário, foram medidos todos os diâmetros à altura do peito (DAP) e a altura total (H) das 15 primeiras árvores. De posse destes dados, foram estimadas as alturas totais das demais árvores, através da equação $h = b_0 + b_1 DAP + b_2 (DAP)^2$.

3.4 Solo

Na Tabela 3 encontram-se as classificações dos solos das áreas de estudo

Tabela 3 – Classificação dos solos nas áreas de estudo.

Horto Florestal	Talhão	Classificação do solo
Caunã	005	Argissolo Vermelho
Caunã	008	Argissolo Vermelho
Monte Alegre VI	020	Argissolo Vermelho-amarelo
Paulo Valter I	016	Cambissolo Háplico
Paulo Valter I	010	Cambissolo Háplico
Paulo Valter I	014	Cambissolo Háplico
Boa Vista	001	Argissolo Vermelho-amarelo
Mangueira II	006	Cambissolo Háplico
Mangueira II	013	Argissolo Vermelho-amarelo
Boa Vista	019	Argissolo Vermelho-amarelo
Petim II	025 Parc 1	Neossolo Litólico
Petim II	025 Parc 2	Neossolo Litólico
Bom Retiro I	001	Argissolo Vermelho
Bom Principio	001 Parc 1	Argissolo Vermelho-amarelo
Bom Principio	001 Parc 2	Argissolo Vermelho-amarelo
Paulo Valter I	002	Argissolo Vermelho-amarelo
Capão Alto	011	Argissolo Vermelho
Capão Alto	011	Argissolo Vermelho

O solo entra no modelo 3-PG em duas variáveis, na classe do solo (*Soil Class*), relacionada com a parte física do solo, fração de areia, silte e argila e na taxa de fertilidade do solo (FR), na qual é atribuído um valor de zero a um para as condições químicas, sendo zero para baixas condições e um para condições adequadas (Figura 2).



Figura 2 – Aspecto do solo de uma das parcelas do estudo.

Foi realizada coleta de solo para análise física e química, nas trincheiras onde foram coletadas as raízes, nas camadas de 0 a 20 cm, 20 a 40 cm e 40 a 100 cm. As análises físicas e químicas do solo foram feitas no Laboratório de Ecologia Florestal do Departamento de Ciências Florestais da Universidade Federal de Santa Maria, seguindo a metodologia de Tedesco et al. (1995), sendo P e K extraídos com solução Mehlich – 1; Ca e Mg extraídos por solução de KCl (1mol l⁻¹); S extraído por solução de Ca(H₂PO₄)² a 500 mg de P l⁻¹; B extraído com água quente (55°C); Cu e Zn com HCl 0,1 M.

3.5 Parâmetros ecológicos

3.5.1 Biomassa

Para a coleta da biomassa acima do solo, em cada uma das idades, foram abatidas três árvores, sendo elas: DAP médio – desvio padrão, DAP médio e DAP médio + desvio padrão, determinadas pelo inventário florestal, totalizando 54 árvores. As referidas árvores foram fracionadas em lenho, casca, galhos e folhas e pesadas na sua totalidade com auxílio de balança de plataforma, e devidamente amostradas e pesadas em balança com precisão 0 g.

Em relação ao lenho e à casca, a amostragem foi realizada da seguinte maneira: distribuiu-se três pontos de amostragem no percorrer do comprimento total do fuste, nas posições medianas das secções resultantes da divisão em três partes iguais do mesmo, conforme a Figura 3.

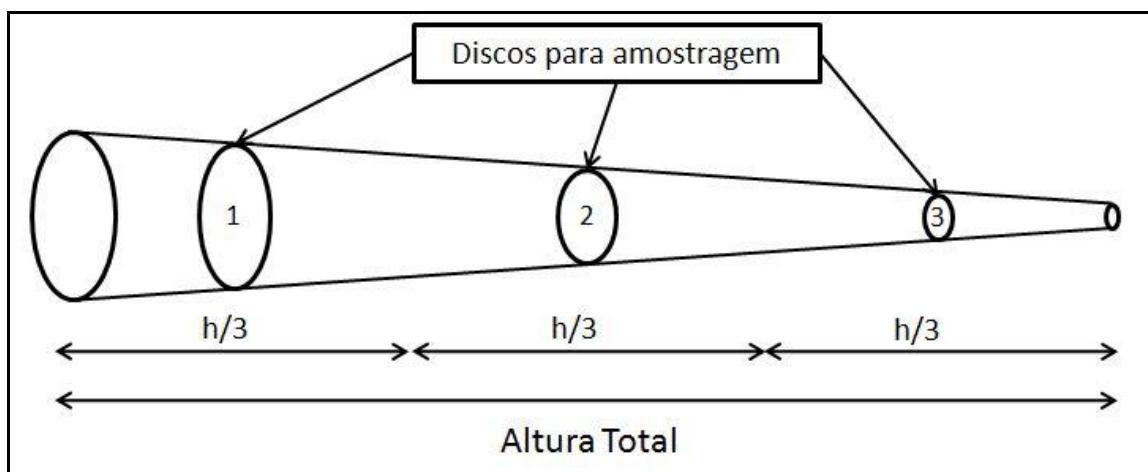


Figura 3 – Posição de coleta dos discos para a amostragem de lenho e casca.

Na fração galhos, amostrou-se de forma aleatória todo o componente, desde galhos finos a grossos localizados em toda a copa. Na fração folhas, assim como nos galhos, a amostragem foi realizada de forma aleatória.

Para a obtenção da biomassa das raízes, o solo foi escavado, com auxílio de pás e enxadas, na área útil da árvore média de cada parcela até a profundidade de 1 m (18 parcelas).

O solo foi peneirado em peneiras de 7 mm de malha, do qual foram retiradas as raízes, pesadas na sua totalidade e extraída uma amostra (Figuras 4 e 5).

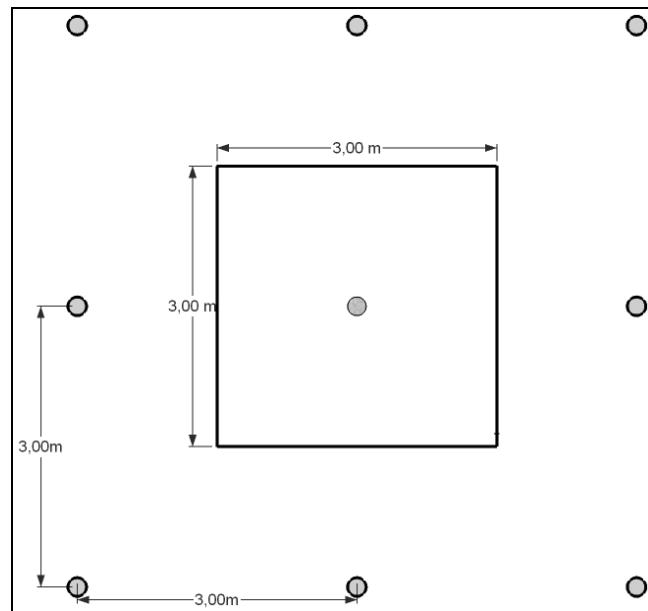


Figura 4 - Esquema para a coleta das raízes, em plantio de espaçamento de 3 m x 3 m.



Figura 5 - Aspecto da escavação e da coleta das raízes.

Depois de realizada a amostragem, as amostras foram enviadas ao Laboratório de Ecologia Florestal do Departamento de Ciências Florestais da Universidade Federal de Santa Maria, onde foram secas em estufa de circulação e renovação de ar a 70°C até atingir peso constante, após foram pesadas em balança com precisão de 0,01g. Com os resultados dos pesos secos e úmidos das amostras, foi calculado o teor de umidade de cada amostra e estimada a quantidade total de biomassa por hectare.

3.5.2 Densidade básica da madeira

Nos discos de lenho, retirados ao longo do fuste, conforme a metodologia demostrada no item 3.4.1, procedeu-se à determinação da densidade básica da madeira (ρ_b), que se deu através de amostras não regulares de lenho (cunha) que foram imersos em água até a completa saturação. A densidade básica da madeira foi obtida pelo método preconizado pelo Forest Products Laboratory (1956), em que as determinações volumétricas das amostras de lenho foram realizadas por balanças hidrostáticas com leitura de 0,1 g de precisão, de acordo com a Figura 6.

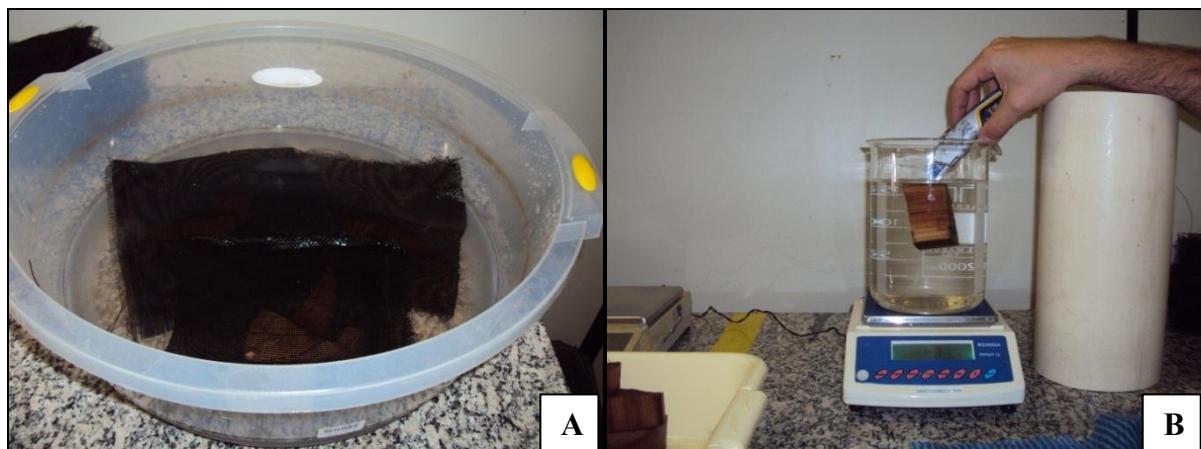


Figura 6 - Amostras imersas em água (A) e balança hidrostática para determinação do volume das amostras (B).

Após a determinação dos volumes das cunhas, elas foram colocadas em estufa de circulação e renovação de ar a 105°C e pesadas em balança com leitura de precisão de 0,01g para a determinação do seu peso seco.

A ρ_b de cada cunha foi determinada pela razão entre o peso seco e o volume saturado:

$$\rho_b = \frac{p_o}{v_u} \quad (11)$$

Onde:

ρ_b = densidade básica da madeira (g cm⁻³);

p_o : peso seco em estufa (g);

v_u : volume saturado (cm³).

3.5.3 Produção de serapilheira

Para a quantificação da serapilheira, produzida em cada uma das parcelas nas diferentes idades, foram alocados quatro coletores quadrados de madeira com 0,7 m de lado, com área de 0,5 m² (Figura 7), totalizando 72 coletores.



Figura 7 – Aspecto de um coletor de serapilheira usado nas áreas do estudo.

Os coletores foram dispostos em quatro posições nas parcelas: diagonal entre quatro árvores, linha de plantio, entre linha de plantio e próximo a árvore (Figura 8).

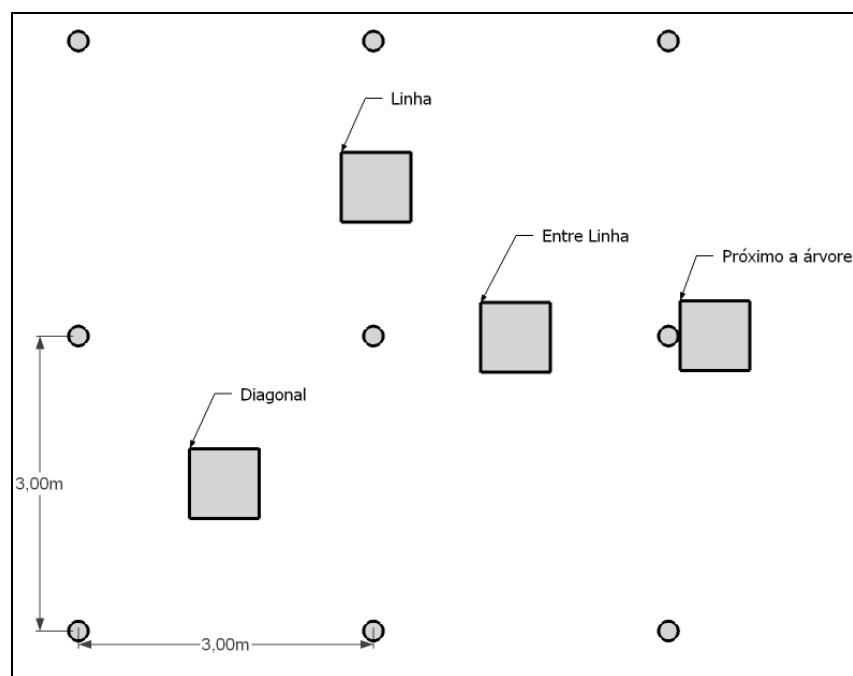


Figura 8 - Distribuição dos coletores de serapilheira nas parcelas.

A coleta da serapilheira foi realizada mensalmente (no período de agosto de 2010 a maio de 2011, havendo, portanto, 10 meses de coleta). Após coletadas, as amostras foram enviadas ao Laboratório de Ecologia Florestal na Universidade Federal de Santa Maria, onde foram separadas nas frações folhas e galhos finos (< 0,5 cm). Após foram secas em estufa de circulação e renovação de ar a 70°C até atingir peso constante, a seguir, foram pesadas em balança com leitura de precisão de 0,01g, e, de posse destes resultados, foram estimadas as quantidades totais de cada fração por hectare.

3.6 Parâmetros fisiológicos

3.6.1 Área foliar específica (AFE)

A área foliar específica foi determinada através da coleta de uma alíquota de folhas (100 g) na ocasião da determinação da biomassa desta fração. As folhas foram pesadas a campo, levadas ao laboratório onde foram fotografadas com auxílio de uma câmera fotográfica digital e, após, foram processadas no *software* UTHSCSA, *Image tool for Windows version 3.0[®]* (2002) (Figura 9), para a obtenção da área foliar.



Figura 9 - Aquisição das imagens digitais.

Após a determinação das imagens digitais, as folhas foram secas em estufa de circulação e renovação de ar a 70°C e, em continuidade, foram pesadas em balança com leitura de precisão de 0,01g. De posse da área foliar e o peso seco das amostras, foi determinada a área foliar específica que é a razão entre a área foliar (m^2) pelo peso seco da amostra (kg).

3.6.2 Condutância Estomática e Déficit de Pressão do Vapor Atmosférico (DPV)

A condutância estomática e o déficit de pressão do vapor foram estimados em seis parcelas, uma em cada idade, conforme a Tabela 4.

Tabela 4 – Áreas selecionadas para as estimativas da condutância estomática e o déficit de pressão do vapor atmosférico (DPV).

Cidade	Fazenda	Talhão	Idade
Eldorado do Sul	Monte Alegre VI	020	2
Guaíba	Paulo Valter I	010	3
Arroio dos Ratos	Mangueira II	006	4
Guaíba	Petim II	025 Parc 1	5
Guaíba	Bom Princípio	001 Parc 2	6
Guaíba	Capão Alto	011	7

Os parâmetros foram mensurados através do aparelho Li-Cor 6400 (Li-Cor Biosciences, Inc., Lincoln, NE), com concentração de CO₂ igual a 500 μmol mol⁻¹ e umidade relativa da câmera acima de 50%. As medições foram realizadas nos dias 22 e 23 de fevereiro de 2011, em dias ensolarados, nos horários das 7h 30min às 11h 30min (Figura 10).



Figura 10 - Uso do aparelho Li-Cor 6400.

As árvores foram abatidas e na sequência foram mensuradas 15 folhas no terço médio da copa da árvore.

3.6.3 Índice de Área Foliar (IAF)

O índice de área foliar foi determinado a partir da área foliar específica (AFE) através da equação:

$$IAF = \frac{\Sigma PSFP * AFE}{AP}$$

Onde:

IAF: Índice de Área Foliar, $m^2 m^{-2}$;

$\Sigma PSFP$ = peso seco total de folhas da parcela, kg;

AFE = Área Foliar Específica, $kg m^{-2}$;

AP = área da parcela, m^2 .

3.7 Parâmetros climáticos

As áreas em que foram realizadas as coletas, segundo Maluf (2000), estão na transição entre o clima Subtropical Úmido e Subtemperado Úmido. O Subtropical Úmido caracteriza-se por temperatura média anual entre 18,1 a 22°C, a temperatura média do mês mais frio de 15 a 20°C e possui um excedente no balanço hídrico maior que 200 mm e deficiência de até 150 mm. O Subtemperado Úmido difere do Subtropical Úmido somente nas temperaturas, em que a média anual varia 18,1 a 22°C e, no mês mais frio, a temperatura é menor ou igual a 13°C.

O modelo 3-PG utiliza alguns parâmetros climáticos em seu funcionamento, que são: temperatura média máxima e mínima, precipitação, evapotranspiração, radiação solar, dias de chuva e geada. Estes parâmetros foram fornecidos pela estação meteorológica da Estação Experimental Agronômica da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (EEA - UFRGS), localizada em Eldorado do Sul, RS (30°05'S, 51°39'W e 46 m de altitude). Os dados foram medidos diariamente e, após, foi realizada uma média mensal para ser utilizado no modelo, os quais estão descritos nos Apêndices A a G.

3.8 Análises estatísticas

Para a estimativa da relação entre altura total e DAP, volume de madeira e DAP e biomassa de *stem* e DAP, ao longo do ciclo de cultivo, foi empregada a equação alométrica (SANDS e LANDSBERG, 2002).

$$y = b_0 x^{b_1} + \varepsilon$$

Onde:

y = variável dependente, altura total, volume de madeira e biomassa de *stem*;

x = variável independente, DAP;

b_0 e b_1 = coeficientes ajustáveis;

ε = erro.

Para estimar a variação da densidade básica da madeira (DEN), área foliar específica (AFE) e fração de galhos e casca da biomassa aérea sem as folhas (*stem*) (FGC), em relação à idade dos povoamentos, foi ajustada uma equação não-linear, em conformidade com Sands e Landsberg (2002).

$$\begin{aligned} DEN &= D_0 + (D_0 - D_1) e^{-(\ln 2)(t/(0.5*(D_0+D_1)))^2} \\ AFE &= AFE_0 + (AFE_0 - AFE_1) e^{-(\ln 2)(t/(0.5*(AFE_0+AFE_1)))^2} \\ FGC &= GC_0 + (GC_0 - GC_1) e^{-(\ln 2)(t/(0.5*(GC_0+GC_1)))^2} \end{aligned}$$

Onde:

DEN, AFE e FGC = variáveis dependentes;

D_0 , AFE_0 e GC_0 = parâmetros na idade inicial do povoamento;

D_1 , AFE_1 e GC_1 = parâmetros na idade final do povoamento;

t = idade, em anos.

A avaliação da eficiência do modelo, na etapa de calibração, foi testada por meio da regressão linear simples.

$$O = b_0 + b_1 E$$

Onde:

O = dado observado;

E = dado estimado pelo modelo.

Considerando um modelo ideal, o valor observado é igual ao estimado, portanto $b_0 = 0$ e $b_1 = 1$. Assim, foram verificadas pelo teste t a 5% de significância, as hipóteses $b_0 = 0$ e $b_1 = 1$, indicando um tratamento adequado do modelo aos processos envolvidos.

As análises de regressão empregadas no trabalho foram feitas pelo pacote SAS 9.00 (2002). As regressões lineares seguiram o procedimento *proc reg* e as regressões não-lineares, a *proc nlin*, pelo método de Gauss.

A versão do modelo é a 3PGpjs2.7, sendo que as estimativas do modelo são realizadas no *software* Microsoft Excel.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Inventário florestal

Na Tabela 5, estão os valores médios de DAP, altura total e volume de madeira sem casca, abrangendo todo o ciclo do plantio florestal.

Schumacher et al. (2011), estudando povoados de *Eucalyptus* spp. entre as idades de dois a oito anos, encontraram aos dois anos, 6,5; 11,9 e 36,5 e, aos oito anos, 13,2; 28,6 e 370,6 para o DAP, altura total e volume de madeira sem casca respectivamente. Os valores observados pelos autores citados diferem do presente estudo, uma vez que, a densidade do plantio era muito elevada de 3500 a 2300 árvores por hectare.

Tabela 5 – Diâmetro à altura do peito (DAP), altura total e volume de madeira sem casca em diferentes idades do *Eucalyptus saligna*, na região de Guaíba, RS.

Idade	Densidade (árvores ha ⁻¹)	DAP (cm)	Altura (m)	Volume _{sc} (m ³ ha ⁻¹)
2	1639	9,4	10,9	49,3
3	1384	14,0	16,7	133,7
4	1482	16,4	20,0	218,3
5	1215	18,4	24,0	268,3
6	1440	18,1	24,9	354,0
7	1232	20,6	28,4	432,2

4.2 Equações alométricas

As equações alométricas ajustadas para altura total, volume de madeira sem casca e biomassa de *stem* em relação ao DAP, em todas as idades do *Eucalyptus saligna*, estão nas Figuras 11, 12 e 13.

Com relação ao ajuste das equações, pode-se inferir que tiveram um bom ajuste, pois seu R² foi de 0,79; 0,86 e 0,96 para as equações de altura total x DAP, volume de madeira sem casca x DAP e biomassa de *stem* x DAP, respectivamente.

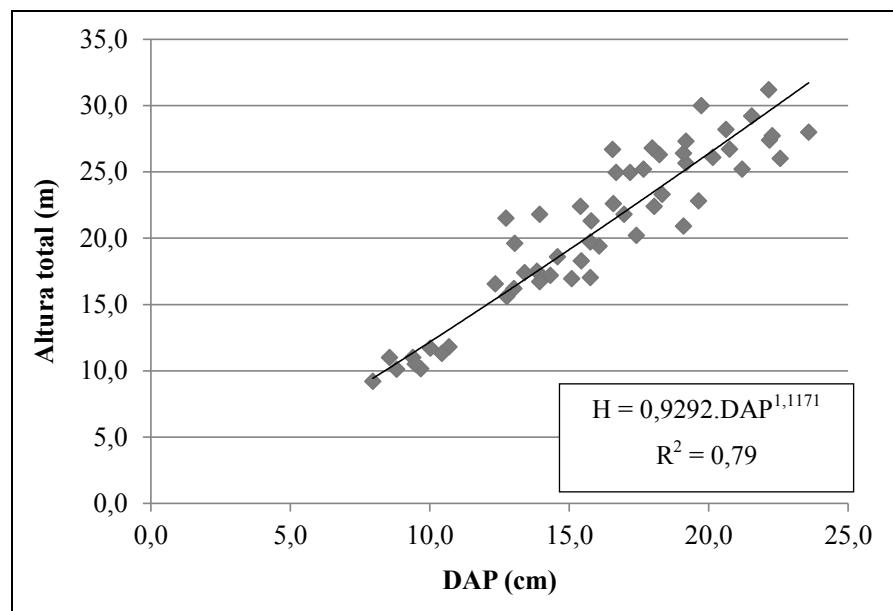


Figura 11 - Equação alométrica ajustada entre a altura total (m) e o DAP (cm).

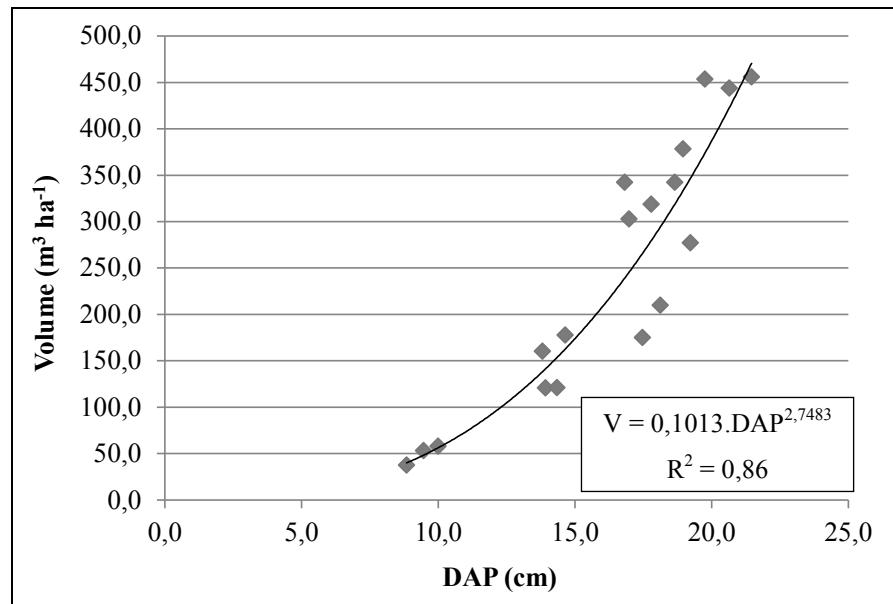


Figura 12 - Equação alométrica ajustada entre o volume de madeira sem casca ($m^3 ha^{-1}$) e o DAP (cm).

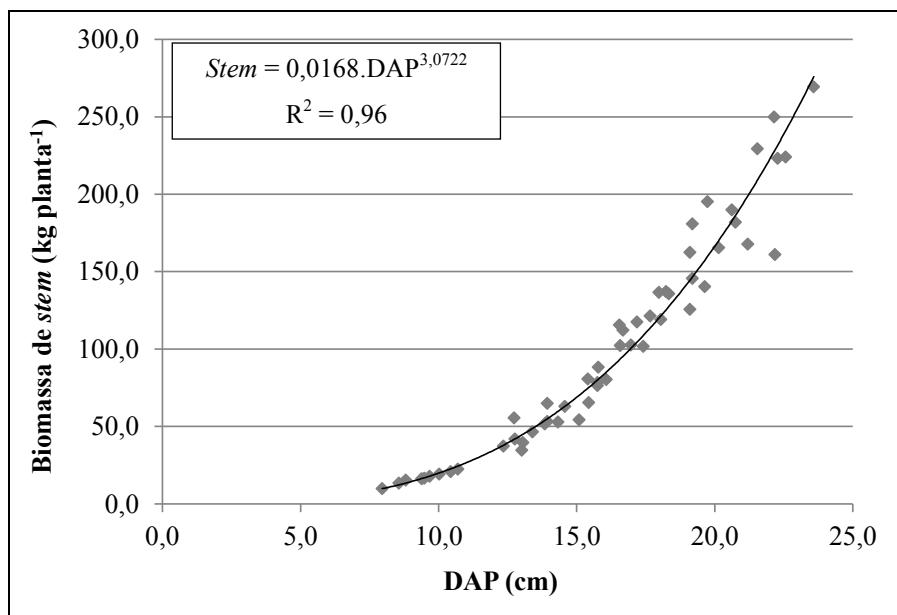


Figura 13 - Equação alométrica ajustada entre a biomassa de *stem* (kg planta⁻¹) e o DAP (cm).

Através destas equações, expressas nas Figuras 11, 12 e 13, 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 DP (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, 0,9292; 1,1171; 0,1013, 2,7483, 0,0168 e 3,0722, usados no modelo 3-PG.

4.3 Equações não-lineares

Na Tabela 6, estão as equações não-lineares ajustadas para os parâmetros fração galho/casca (FGC), densidade básica da madeira (DEN) e área foliar específica (AFE). Os coeficientes de determinação (R^2) das equações não foram muito altos, pois há uma variabilidade entre os dados empregados no modelo, assim como no trabalho de Borges (2009).

Tabela 6 – Equações não-lineares ajustadas entre a fração galho/casca (FGC), densidade básica da madeira (DEN) e área foliar específica (AFE) e a idade para povoamentos de *E. saligna*.

Equação	R ²
Fração Galho/Casca (kg kg ⁻¹)	
FGC = 0,11 + (0,29 - 0,11) * EXP((-0,69315) * (Idade/3,53)) ¹)	0,81
Densidade básica da madeira (t m ⁻³)	
DEN = 0,3860 + (0,4587 - 0,3860) * EXP((-0,69315) * (Idade/4,34)) ¹)	0,56
Área Foliar Específica (kg m ⁻²)	
AFE = 7,6 + (8,9 - 7,6) * EXP((-0,69315) * (Idade/4,31)) ²)	0,77

A densidade básica da madeira aumenta conforme o aumento da idade dos povoamentos de *E. saligna*. A densidade inicial, aos dois anos, foi de 0,3860 t m⁻³ e a final, aos sete anos, foi de 0,4587 t m⁻³ (Tabela 7), sendo esta mesma tendência encontrada por outros autores como Sands e Landsberg (2002), Stape et al. (2004), Almeida et al. (2004b), Silva (2006) e Borges (2009).

Tabela 7 – Valores de fração gaho/casca (kg kg⁻¹), densidade básica da madeira (t m⁻³) e área foliar específica (kg m⁻²) em relação as idades do povoamento

Idade	Fração galho/casca (kg/kg)	Densidade básica da madeira (t m ⁻³)	Área foliar específica (kg m ⁻²)
2	0,24	0,3860	8,9
3	0,08	0,4162	8,7
4	0,04	0,4276	8,3
5	0,03	0,4358	7,9
6	0,02	0,4214	7,9
7	0,02	0,4587	7,6

A área foliar específica (AFE) diminui com o passar da idade, isto é, as folhas ficam mais coriáceas, mais duras e espessas, implicando diretamente nos modelos ecofisiológicos (LANDSBERG, 1986; STAPE et al., 2004). A AFE inicial, aos dois anos, foi de 8,9 m² kg⁻¹ e, aos sete anos, foi de 7,6 m² kg⁻¹ (Tabela 5), valores semelhantes a outros autores como Whitehead e Beadle (2004) em eucaliptos nativos (2,2 a 8,3 m² kg⁻¹), Medhurst e Beadle (2002) em eucaliptos subtropicais (4 a 7 m² kg⁻¹) e Almeida et al. (2004b) em eucaliptos tropicais (8 a 10,5 m² kg⁻¹).

4.4 Distribuição da biomassa

A produção de biomassa das folhas, dos galhos, da casca, do lenho e das raízes, na sequência de idade, está na Tabela 8. A quantidade de folhas tende a diminuir com o avançar da idade, ao contrário dos demais componentes que aumentam suas quantidades conforme o passar do tempo. Esta mesma tendência foi encontrada por Schumacher et al. (2011), menos no compartimento folhas, que teve um aumento na quantidade de folhas no passar do ciclo de cultivo. A explicação para esse comportamento da distribuição de biomassa nos diferentes componentes, ao longo do desenvolvimento dos povoamentos florestais, está nas fases nutricionais das árvores (GONÇALVES et al., 2000). A primeira delas, antes do fechamento das copas e depois de bem adaptadas ao campo, ocorre 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 auto-sombreamento que impõe uma área foliar máxima limite.

Tabela 8 – Produção de biomassa de folhas, galhos, casca, lenho e raiz em Mg ha⁻¹, para *Eucalyptus saligna*, na região de Guaíba, RS.

Anos	Folhas	Galhos	Casca	Lenho	Raiz	Total
	Mg ha ⁻¹					
2	6,6 (11,9)*	5,0 (9,0)	3,1 (5,6)	19,4 (35,0)	21,4 (38,6)	55,5 (100,0)
3	5,6 (5,3)	7,0 (6,6)	6,8 (6,4)	57,9 (54,5)	28,9 (27,2)	106,2 (100,0)
4	5,7 (3,2)	10,8 (6,0)	10,2 (5,7)	111,6 (62,5)	40,4 (22,6)	178,7 (100,0)
5	5,0 (2,5)	7,8 (3,8)	10,9 (5,3)	137,1 (67,2)	43,1 (21,1)	203,9 (100,0)
6	4,2 (2,0)	7,0 (3,3)	15,2 (7,1)	155,4 (72,5)	32,5 (15,2)	214,3 (100,0)
7	5,0 (1,7)	9,7 (3,2)	18,4 (6,1)	221,1 (73,7)	45,7 (15,2)	299,9 (100,0)

*Valores entre parênteses representam a porcentagem da fração em relação ao total.

A produção relativa de biomassa de galhos, casca, lenho e raízes aumenta com o passar da rotação, exceto em povoamentos extremamente jovens, a madeira do tronco é o componente das árvores que apresenta a maior biomassa relativa (REIS e BARROS, 1990). O comportamento contrário dá-se na fração folhas que, com o passar do tempo, a quantidade absoluta e relativa diminuem, isto se deve à alocação da produção de carbono estar voltada para a produção de lenho.

Os resultados obtidos quanto à partição de biomassa em função da idade assemelham-se aos encontrados para o gênero *Eucalyptus*, por Bellote (1979), Pereira et al. (1984), Bernardo (1995), Luy et al. (1997) e Ladeira et al. (2001) sob diferentes condições edafoclimáticas.

Conforme Schumacher et al. (2011), outros fatores que afetam a distribuição percentual da biomassa, nos diferentes componentes das árvores, além da idade, são: a espécie, a fertilidade do solo e a densidade de plantio.

As características do sítio, em termos de produtividade, podem provocar alterações na distribuição dos componentes da biomassa em função da alocação para o sistema radicular (REIS et al. (1985); REIS et al. (1987)). Reis et al. (1985), estudando o acúmulo de biomassa numa sequência de idades de *Eucalyptus grandis*, em duas áreas com diferentes produtividades, estimaram, na área menos produtiva, uma participação percentual maior do sistema radicular, apresentando uma tendência de compensação a baixa fertilidade do solo com o desenvolvimento de um sistema radicular mais extenso, capaz de acessar um maior volume de solo.

4.4 Variáveis fisiológicas

A condutância estomática, déficit de pressão do vapor atmosférico (DPV) e o índice de área foliar (IAF) estão na Tabela 9. Desta tabela, faz-se possível extrair as seguintes informações: máxima e mínima condutância do dossel (MaxCond e MinCond) 0,28 e 0,02 mol m⁻² s⁻¹, respectivamente, IAF onde a condutância do dossel é máxima (LAIgcx) 5,0 e a resposta estomática ao DPV (CoeffCond) 0,03 mbar, na idade em que apresenta a mínima condutância estomática.

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, déficit de pressão de vapor e quantidade de água nas folhas (LANDSBERG e GOWER, 1997).

Almeida e Soares (2003) encontraram $0,01 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ a $0,004 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ com a redução da disponibilidade de água no solo, demonstrando, assim, a capacidade em que o eucalipto tem para exercer o controle estomático com o suprimento de água no solo. A condutância estomática encontrada no trabalho realizado por Marrichi (2009), em sete clones de eucalipto no estado de São Paulo, foi de $0,41 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ aos 16 meses e $0,26 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ aos 36 meses. Este mesmo autor relata que os sete clones, aos 16 meses, apresentaram uma queda de aproximadamente $0,2 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ na condutância, para o aumento de 0,1 mbar no DPV e, aos 36 meses, esta queda foi menor, $0,1 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ para o mesmo aumento de DPV, podendo estes valores serem usados para parametrizações em eucaliptos tropicais no Brasil. O déficit de pressão de vapor (DPV), de modo geral, diminuiu com o aumento da idade do povoamento.

O DPV é influenciado pela temperatura do ar, quanto maior a temperatura maior o DPV. Silva (2007), ao comparar DPVs de diversas regiões, comprovou que o DPV aumenta com a ascensão da temperatura. Na região de Santa Bárbara, MG, o DPV médio é de 6,77 mbar com temperaturas médias de $22,4^{\circ}\text{C}$ e, na região de Cocais, o DPV é de 4,34 mbar com temperatura média de $17,5^{\circ}\text{C}$. O DPV também é influenciado pela variação da temperatura durante o dia. Felsemburgh (2009) encontrou valores abaixo de 0,1 mbar das 5h às 9h e, das 14h às 19h, já os maiores valores foram observados das 10h às 13h, sendo o DPV de 0,11 a 0,13 mbar.

Tabela 9 – Condutância estomática, déficit de pressão do vapor atmosférico (DPV) e índice de área foliar (IAF) em função da idade nos povoamentos de *E. saligna*.

Idade	Condutância estomática ($\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)	DPV (mbar)	IAF
2	0,05	0,06	5,6
3	0,28	0,07	5,0
4	0,26	0,06	5,3
5	0,12	0,06	4,9
6	0,04	0,04	4,1
7	0,02	0,03	4,6

O Índice de Área Foliar (IAF) tem a tendência a diminuir com o aumento da idade. A mesma foi registrada por Almeida e Soares (2003) e Xavier et al. (2002), em que o IAF teve seu auge entre três e quatro anos, depois diminuindo até o final da rotação.

4.5 Produção de serapilheira

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 à idade na qual a deposição de serapilheira tem valor médio (tgammaF). A deposição, em idade inicial, assumiu-se $0,001 \text{ t ha}^{-1}$ e a máxima deposição (64 meses) foi de $277,5 \text{ kg ha}^{-1}$. Por fim, a idade na qual a deposição de serapilheira mais se aproxima da média ($152,8 \text{ kg ha}^{-1}$) foi aos 72 meses (Figura 14 e Apêndice J). Para Sands e Landsberg (2002) e Silva (2006), a taxa média de deposição de serapilheira foi aos 12 meses, Almeida et al. (2004b), aos 13 meses e Stape et al. (2004) e Borges (2009), aos 4 meses.

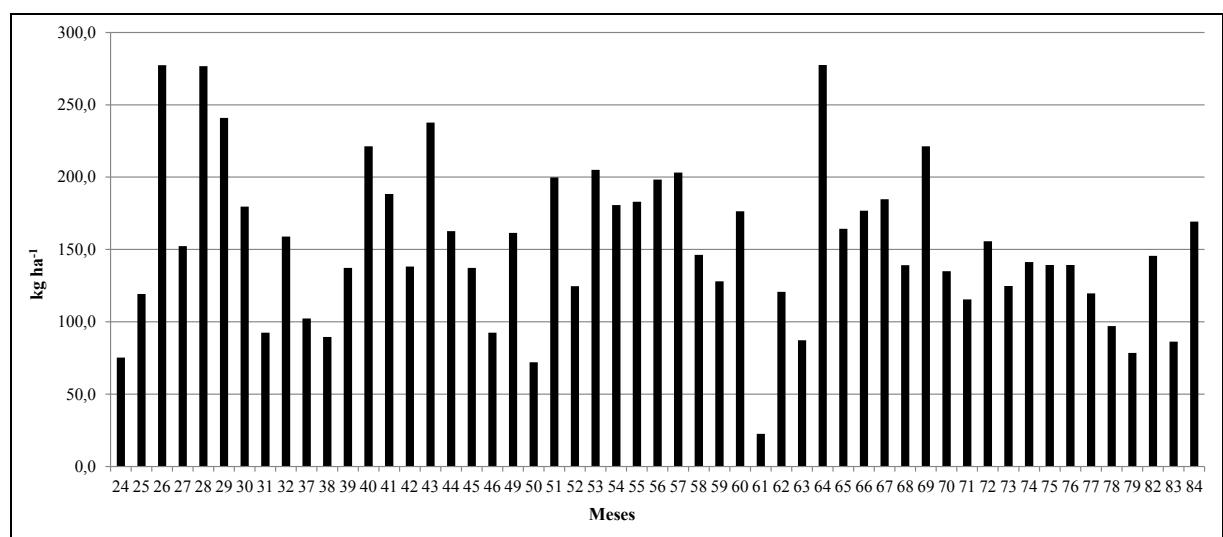


Figura 14 - Deposição de serapilheira (folhas e galhos finos) em função dos meses de cultivo.

A taxa de deposição de serapilheira tem comportamento em ciclos, fases que são aproximadamente de um ano. Aos 24 meses, a taxa é menor, há um aumento até os 30 meses e, depois, decresce até aproximadamente os 36 meses e assim sucessivamente para os demais anos de monitoramento.

4.6 Atributos do solo

Com relação ao solo, para a variável na classe do solo (*Soil Class*) foi atribuído SL (*Sandy loam*), franco arenoso (50 a 70% de areia, 0 a 50% de silte e 15 a 55% de argila), pois a maioria das amostras encontra-se nesta classe, de acordo com o triângulo textural (Apêndice H).

Na parte química do solo (Apêndice I), a variável utilizada é a taxa de fertilidade do solo (FR), para a qual foi atribuído valor de 0,9. Segundo Barros e Novais (1999), o nível crítico recomendado de fósforo e potássio é de 6,4 e 45 mg dm⁻³, cálcio e magnésio é de 0,7 e 0,1 cmol_c dm⁻³ em plantios de eucalipto. Para fósforo, em todas as idades, os teores estão abaixo do recomendado pelos autores, com exceção do 4º ano na camada de 0 a 20 cm. O potássio está acima do nível recomendado no caso das amostras do 2º ano, na camada de 0 a 20 cm, e todas as camadas do 3º ano. Quanto ao magnésio, todas as amostras estão acima do nível recomendado pelos autores e, para o cálcio, a maioria das amostras está abaixo do nível recomendado, mas no 2º, 4º, 5º e 7º anos, na camada de 0 a 20, estão acima do recomendado. Nos micronutrientes B, Cu e Zn, todos os teores estão acima do recomendado pela Comissão de Química e Fertilidade do Solo (2004).

4.7 Valores observados e estimados

Os resultados finais do processo de calibração do modelo 3-PG, onde são comparados os valores observados, medidos a campo, com os valores estimados, através da modelagem, do DAP, altura total, volume de madeira e biomassa de *stem* estão nas Figuras 15 a 18.

Graficamente, o ajuste para a variável DAP demostrou-se adequado, sendo os dados observados no 5º ao 6º ano pouco distante dos estimados.

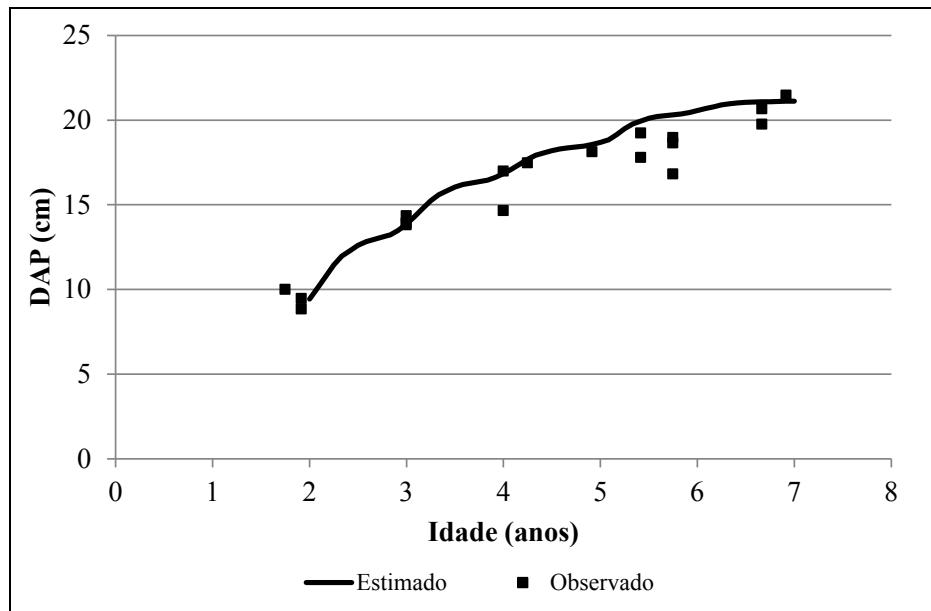


Figura 15 – Valores observados e estimados pelo modelo 3-PG do diâmetro à altura do peito (DAP) de *E. saligna*.

Na altura total, os valores estimados ficaram próximos aos observados no 2º, 3º e 7º anos e nos demais anos, no meio do ciclo, entre o 4º e o 6º ano, os dados estimados foram maiores que os observados.

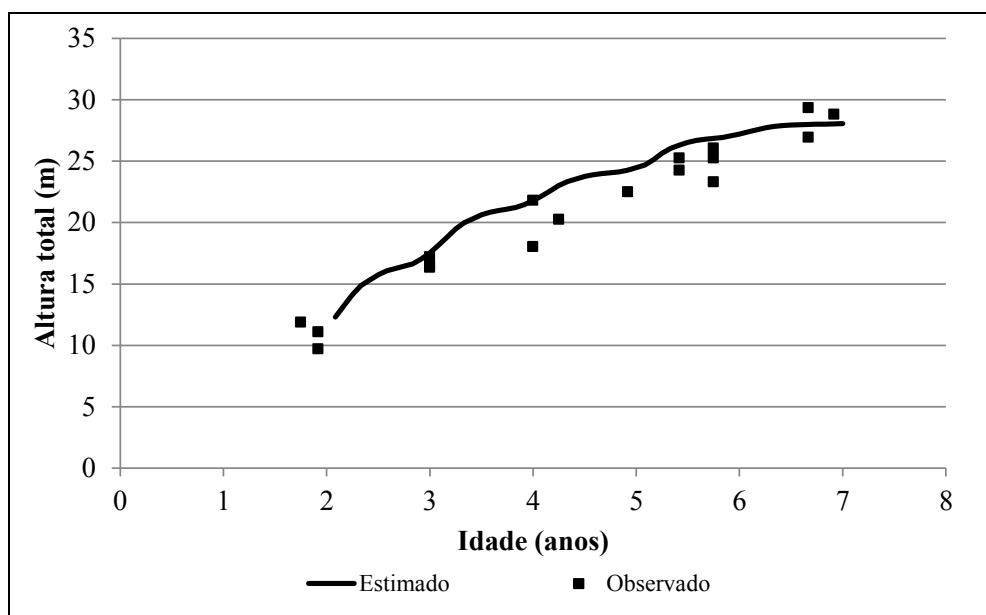


Figura 16 - Valores observados e estimados pelo modelo 3-PG da altura total (m) de *E. saligna*.

No volume de madeira, os valores foram superestimados no meio do ciclo de cultivo, enquanto que, no início e no final, ficaram na média dos valores observados, seguindo a mesma tendência da altura total.

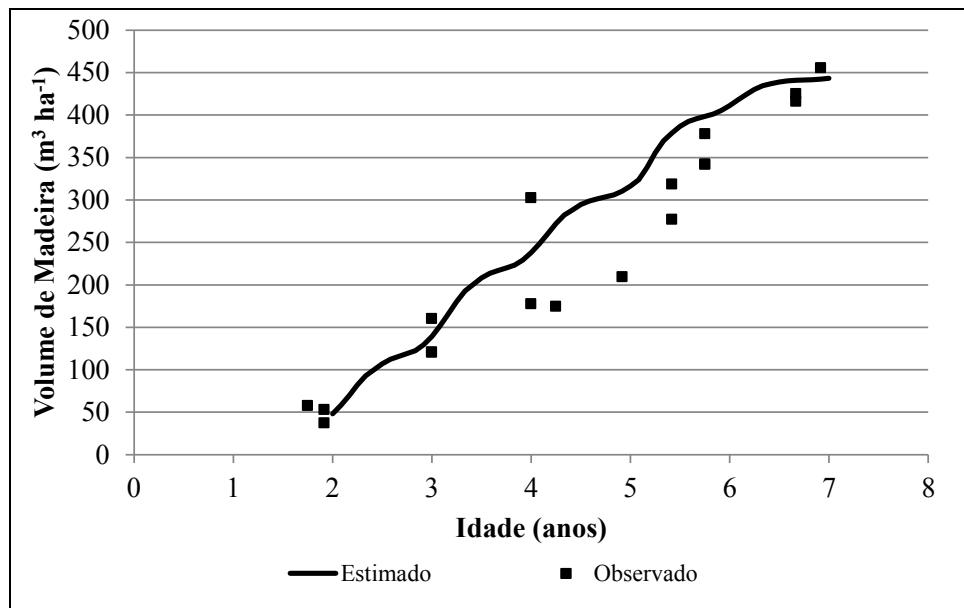


Figura 17 - Valores observados e estimados através do modelo 3-PG para volume de madeira ($\text{m}^3 \text{ ha}^{-1}$) de *E. saligna*.

Assim como a altura total e o volume de madeira, a biomassa de *stem* também teve uma superestimação durante o ciclo, mas, no início e no final, os valores estimados foram semelhantes aos observados.

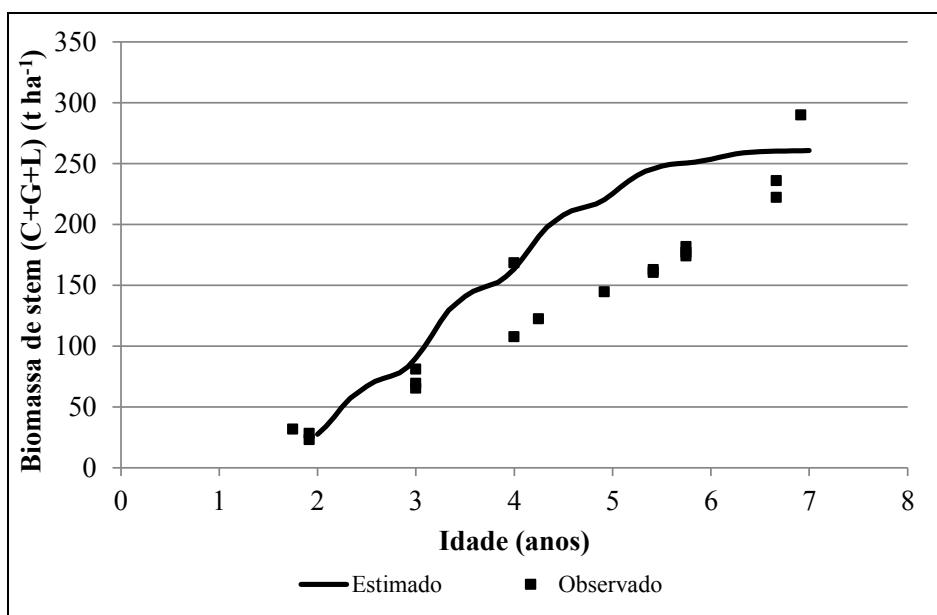


Figura 18 - Valores observados e estimados pelo modelo 3-PG da biomassa de *stem* ($t\ ha^{-1}$) de *E. saligna*.

A eficiência do uso do modelo está na Tabela 10, onde são confrontados os valores estimados com os observados, usados na modelagem do crescimento de eucalipto através do modelo 3-PG.

Tabela 10 – Eficiência do modelo 3-PG ao estimar o crescimento de plantios de *Eucalyptus saligna* em DAP, altura total, volume de madeira e biomassa de *stem*.

Variável	β_0	β_1	R^2	Probabilidade	n
DAP	0,35336 ^{ns}	0,97312*	0,98	<0,0001	18
Altura total	-1,59041 ^{ns}	1,05640*	0,96	<0,0001	18
Volume de madeira	10,22400 ^{ns}	0,95749*	0,89	<0,0001	18
Biomassa de stem	-1,05742 ^{ns}	1,00569*	0,99	<0,0001	18

n = número de pares observado/estimado usados no ajuste da equação; β_0 e β_1 = coeficientes da equação de regressão ajustada pelo modelo Observado = $\beta_0 + \beta_1$ Estimado; R^2 = coeficiente de determinação; * significativo pelo teste t ($p < 0,01$); ^{ns} não significativo pelo teste t ($p < 0,01$).

Para todas as variáveis, a hipótese $H_0: \beta_1 = 1$ foi rejeitada, mostrando que os valores estimados pelo 3-PG são estatisticamente diferentes dos valores medidos. Apesar disso, o desempenho do modelo foi superior a outras parametrizações disponíveis na literatura (Figuras 19 a 22), evidenciando o potencial do seu uso, porém, com a necessidade de estudos adicionais para melhor compreensão desta espécie para esta região.

Apesar dos coeficientes de determinação (R^2) das equações ajustadas serem elevados, os valores estimados são diferentes dos valores observados, não podendo, assim, considerar-se somente este parâmetro como fator de decisão na hora da escolha do modelo.

Os parâmetros climáticos usados pelo modelo são de uma estação meteorológica distante dos locais das parcelas de estudo e esse dado exerceu influência nos parâmetros estimados através do modelo.

4.8 Principais parâmetros utilizados no modelo 3-PG

Na Tabela 11, estão os principais valores dos parâmetros utilizados na modelagem do crescimento de eucalipto através do modelo 3-PG. Assim como também estão os parâmetros adotado por outros autores como Sands e Landsberg (2002), Stape et al. (2004), Almeida et al. (2004b), Silva (2006) e Borges (2009), que já desenvolveram trabalhos semelhantes a este.

Tabela 11 – Principais parâmetros utilizados no modelo 3-PG após a parametrização e calibração deste trabalho e de demais autores Sands e Landsberg (2002), Stape et al. (2004), Almeida et al. (2004b), Silva (2006) e Borges (2009).

Parâmetros	Símbolo	Unidade	E1	E2	E3	E4	E5	E6
Biomassa inicial de folhas	W _F	t ha ⁻¹	0,168	0,168	0,168	0,168	0,168	6,6
Biomassa inicial de <i>stem</i> (lenho + galhos + casca)	W _S	t ha ⁻¹	0,106	0,106	0,106	0,106	0,106	27,5
Biomassa inicial de raízes	W _R	t ha ⁻¹	0,099	0,099	0,099	0,099	0,099	20,7
Fração folha/ <i>stem</i> para DAP = 2 cm	pFS2	-	1	0,96	0,7	1	1,64	0,5762
Fração folha/ <i>stem</i> para DAP = 20 cm	pFS20	-	0,15	0,034	0,1	0,09	0,15	0,0098
Constante de relação entre a biomassa de <i>stem</i> e o DAP	aS	-	0,095	0,065	0,045	0,1076	0,020	0,0168
Potência de relação entre a biomassa de <i>stem</i> e o DAP	nS	-	2,4	2,68	2,812	2,51	3,11	3,0722
Fração máxima de PPL para as raízes	pRx	-	0,8	0,8	0,6	0,5	0,5	0,5
Fração mínima de PPL para as raízes	pRn	-	0,25	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1
Deposição de serapilheira para plantios em idade adulta	gammaFx	1/mês	0,027	0,07	0,13	0,1	0,7	0,2775
Deposição de serapilheira para plantios em t = 0	gammaF0	1/mês	0,001	0,001	0,00169	0,001	0,001	0,0001
Idade em que a deposição de serapilheira tem valor médio	tgammaF	mês	12	4	13	12	4	72
Taxa média de ciclagem radicular	gammaR	1/mês	0,015	0,015	0,025	0,015	0,025	0,015
Temperatura mínima para o crescimento	Tmin	°C	8,5	8	8	8	8	8
Temperatura ótima para o crescimento	Topt	°C	16	25	25	25	25	25
Temperatura máxima para o crescimento	Tmax	°C	40	40	36	40	40	40
Dias de produção perdidos pela geada	kF	dias	-	-	-	-	-	0
Valor de m quando FR = 0	m0	-	0	0	0	0	0	0
Valor de <i>f_N</i> quando FR = 0	fN0	-	1	0,5	0,6	0,5	0,5	1
Potência de (1 - FR), na expressão do <i>f_N</i>	fNn	-	0	1	1	1	1	0
Taxa da fertilidade do solo	FR	-	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
Idade máxima utilizada no povoamento para modificar a idade	MaxAge	ano	50	9	9	9	9	7
Variável relacionada com a classe do solo	Soil Class	-	C	C	C	C	C	SL
Potência da idade relativa para a função <i>f_{age}</i>	nAge	-	4	4	4	4	4	4

Idade relativa para $f_{age} = 0,5$	rAge	-	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95
Área foliar específica para plantio em idade inicial	SLA0	$m^2 kg^{-1}$	11	11	10,5	17	13,74	8,9
Área foliar específica para plantio em idade adulta	SLA1	$m^2 kg^{-1}$	4	8,5	8	8,24	7,56	7,6
Idade em que a área foliar específica = $\frac{1}{2}$ (SLA0 + SLA1)	tSLA	ano	2,5	2,5	2,5	0,81	1,23	3,55
Coeficiente de extinção do RFAA pelo dossel	K	-	0,5	0,4	0,5	0,47	0,5	0,5
Idade do fechamento do dossel	fullCanAge	ano	0	1,5	0	1	2	3
Máxima interceptação da chuva pelo dossel	MaxIntcptn	-	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,1
IAF em que a interceptação da chuva é máxima	LAImaxIntcptn	$m^2 m^{-2}$	0	0	3	3,33	3,33	3
Eficiência quântica máxima do dossel	Alpha	-	0,06	0,08	0,068	0,07	0,08	0,09
Relação PPL/PPB	Y	-	0,47	0,5	0,47	0,47	0,5	0,6
Máxima condutância do dossel	MaxCond	$m s^{-1}$	0,02	0,02	0,021	0,02	0,02	0,02
IAF onde a condutância do dossel é máxima	LAIgcx	$m^2 m^{-2}$	3,33	3,33	3	3,33	3,33	3
Define a resposta estomática ao DPV	CoeffCond	$m bar^{-1}$	0,05	0,0324	0,047	0,04	0,0324	0,03
Condutância da camada limítrofe do dossel	BLcond	$m s^{-1}$	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
Massa de <i>stem</i> máxima para cada 1000 árvores ha^{-1}	wSx1000	kg arv	300	300	180	300	300	300
Fração de galhos e casca para plantios em idades iniciais	fracBB0	-	0,75	0,75	0,3	0,79	0,59	0,29
Fração de galhos e casca para plantios em idades adultos	fracBB1	-	0,15	0,15	0,12	0,11	0,19	0,11
Idade na qual a fração de galhos e casca = $\frac{1}{2}$ (PBB0 + PBB1)	tBB	ano	2	2	2	1,35	2,17	0,95
Densidade básica da madeira em plantios iniciais	rhoMin	$t m^{-3}$	0,450	0,450	0,480	0,356	3,82	0,386
Densidade básica da madeira em plantios adultos	rhoMax	$t m^{-3}$	0,450	0,450	0,520	0,500	0,505	0,458
Idade na qual a densidade básica da madeira = $\frac{1}{2}$ ($\rho b0 + \rho b1$)	tRho	ano	4	4	4	2,1	2,264	1,37
Constante de relacionamento entre altura e DAP	aH	-	-	-	-	0,885633	0,67	0,9292
Potência de relacionamento entre altura e DAP	nHB	-	-	-	-	1,21067	1,27	1,1171
Constante de relacionamento entre volume e DAP	aV	-	-	-	-	-	0,0256	0,1013
Potência de relacionamento entre volume e DAP	nVB	-	-	-	-	-	3,22	2,7483

E1 = Sands e Landsberg (2002); E2 = Stape et al. (2004); E3 = Almeida et al. (2004b); E4 = Silva (2006); E5 = Borges (2009); E6 = estudo atual. Classes de Solo: C: Argila pesada, SL: Franco arenoso, DAP = diâmetro à altura do peito; PPL = produção primária líquida; RFAA: radiação fotossinteticamente ativa absorvida; PPB = produção primária bruta; DPV = déficit de pressão do vapor atmosférico.

4.9 Comparação com outros autores

Os dados estimados pelo 3-PG podem ser feitos por parametrizações de outros autores, como Sands e Landsberg (2002), Stape et al. (2004), Almeida et al. (2004b), Silva (2006) e Borges (2009) (Figuras 19 a 22).

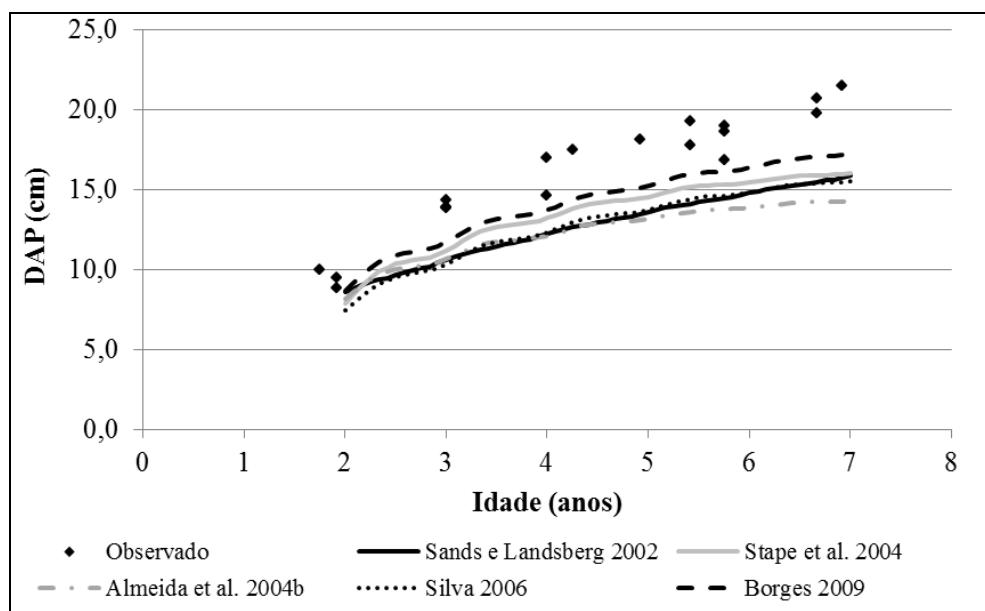


Figura 19 – Diâmetro à altura do peito (DAP) observado e estimado pelo modelo 3-PG, através da parametrização de outros autores.

Os valores de DAP (Figura 19) estimados através dos outros autores foram subestimados através do modelo 3-PG, comparando-se com os dados observados, somente Borges (2009) e Stape et al. (2004) ficaram próximos dos dados verificados.

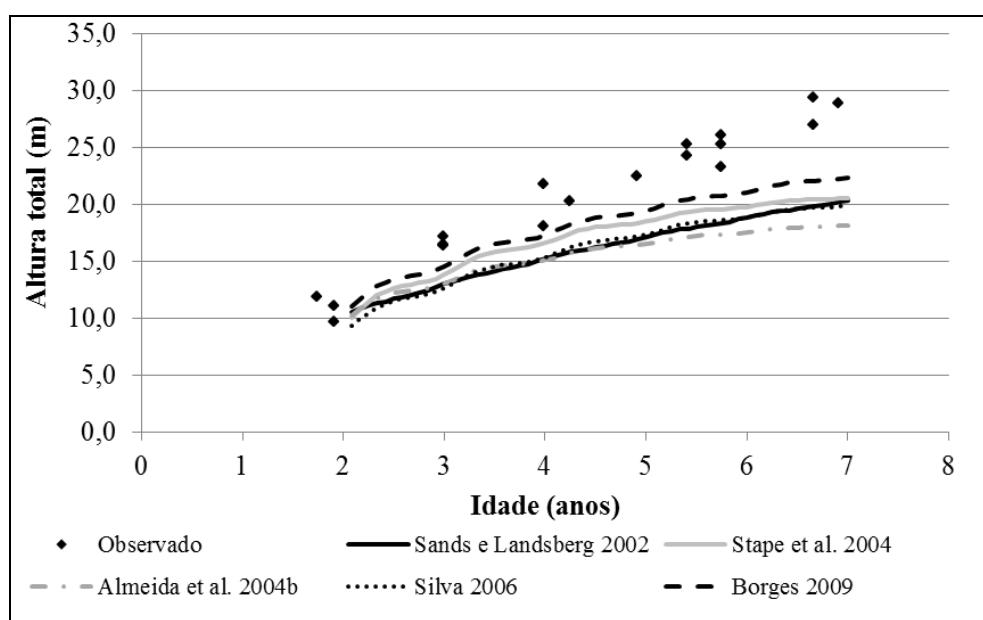


Figura 20 - Altura total observada e estimada pelo modelo 3-PG, através da parametrização de outros autores.

Assim como no DAP, na altura total (Figura 20), os dados estimados por outros autores foram subestimados através do modelo 3-PG, sendo que os valores que mais se aproximaram dos observados foram de Borges (2009) e Stape et al. (2004).

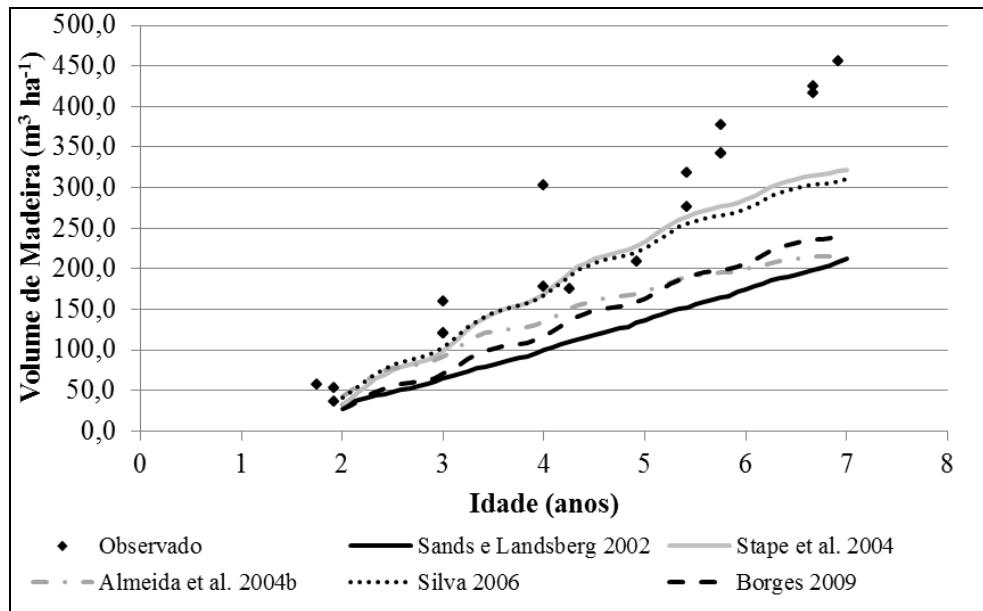


Figura 21 - Volume de madeira observado e estimado pelo modelo 3-PG, através da parametrização de outros autores.

No volume de madeira (Figura 21), os dados estimados por Stape et al. (2004) e Silva (2006) foram os que mais se aproximaram dos valores observados, mas também os valores estimados ficaram abaixo deles.

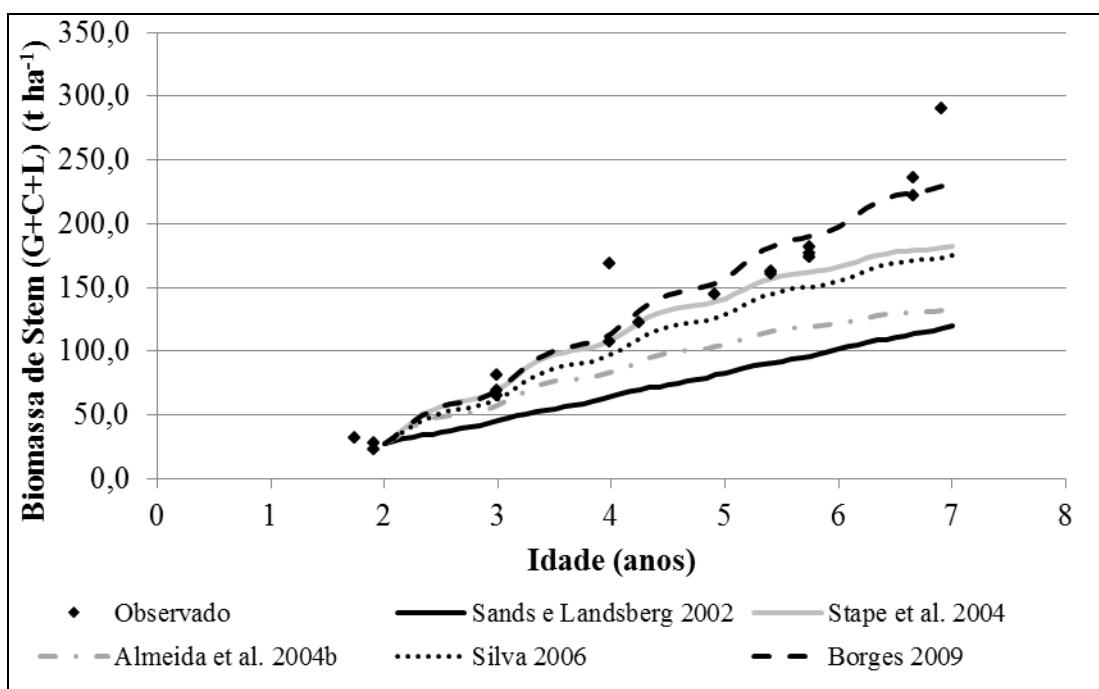


Figura 22 - Biomassa de *stem* observada e estimada pelo modelo 3-PG, através da parametrização de outros autores.

Para a biomassa de *stem* (Figura 22), os dados dos outros autores foram subestimados, comparando-se aos observados, somente os dados de Borges (2009) e Stape et al. (2004) que ficaram próximos daqueles que se constatou. Nesta variável, os dados estimados aproximaram-se mais dos dados observados, comparando-se as outras variáveis estudadas.

O ajuste do modelo 3-PG somente através de parâmetros estimados por outros autores não resulta em boas estimativas. Para realização do trabalho, é necessário realizar as observações dos dados locais e com estas estabelecer as estimativas. Isto está de acordo com Borges (2009) que afirma a necessidade de cautela ao usar os parâmetros mensurados em regiões ou lugares diferentes do que se utiliza.

5 CONCLUSÕES

A partir dos resultados obtidos neste trabalho, pode-se concluir:

- A utilização do modelo 3-PG é valida para a estimativa do diâmetro à altura do peito, altura total, volume de madeira com casca e biomassa de *stem* para *Eucalyptus saligna* na região de Guaíba, RS;
- A parametrização e a calibração do modelo 3-PG para *Eucalyptus saligna* foi realizada de modo satisfatório, atendendo todas as previsões propostas pelo modelo;
- A validação do modelo não foi estatisticamente aceita, mas os seus dados estimados podem ser utilizados como fonte de estimativa para as variáveis estudadas;
- A utilização de parâmetros levantados por outros autores em outras regiões não foi bem aceita para a região de estudo, sendo assim, não é recomendada a adoção de parâmetros de outros locais para utilização no local de estudo.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACKERLY, D. D. et al.. The evolution of plant ecophysiological traits: recent advances and future directions. **BioScience**, Washington, v. 50, n. 11, p. 979-995, Nov. 2000.

ALMEIDA, A. C. et al.. Linking process-based and empirical forest models in *Eucalyptus* plantation in Brazil. In: Amaro, A., Tomé, M. (Eds.), **Modelling Forest Systems**. CABI, Portugal, pp. 63-74. 2003.

ALMEIDA, A. C. et al.. Needs and opportunities for using a process-based model as a practical tool in *Eucalyptus* plantations. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 193, n. 1-2, p.167-177, May. 2004a.

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, May. 2004b.

ALMEIDA, A. C.; SOARES, J. V. Comparação entre uso de água em plantações de *Eucalyptus grandis* e floresta ombrófila densa (mata atlântica) na costa leste do Brasil. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 27, n. 2, p. 159-170, 2003.

BARROS, N. F.; NOVAIS, R. F. Eucalipto. In: RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ V., V. H. (Ed.). **Recomendações para uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais**. Viçosa, 5^a aprox., 1999. cap. 18, p. 303-305

BATTAGLIA, M. et al.. CABALA: a linked carbon, water and nitrogen model of forest growth for silvicultural decision support. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 193, n. 1-2, p. 251-282, May. 2004.

BELLOTE, A. F. J. **Concentração, acúmulo e exportação de nutrientes pelo Eucalyptus grandis em função da idade**. 1979. 192 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 1979.

BERNARDO, A. L. **Crescimento e eficiência nutricional de Eucalyptus spp. sob diferentes espaçamentos na região de Minas Gerais**. 1995. 102 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal)–Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1995.

BORGES, J. S. **Parametrização, calibração e validação do modelo 3-PG para eucalipto na região do cerrado de Minas Gerais.** 2009. 89 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2009.

COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO. **Manual de adubação e de calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina.** Porto Alegre: Editora Evangraf, 10ed, 2004, 400p.

FELSENBURGH, C. A. **Resposta fotossintética à variação da temperatura foliar do dossel na Flona do Tapajós – PA.** 2009. 117 f. Tese (Doutorado em Ecologia Aplicada) – Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2009.

FOREST PRODUCTS LABORATORY. **Methods of determining specific gravity of wood.** Madison, USDA/Forest Service. Forest Products Laboratory, p. 6, 1956.

GIFFORD, R. **Plant respiration.** Nee Workshop Proceedings: p.18-20, 2001.

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.

LADEIRA, B. C. et al.. Produção de biomassa de eucalipto sob três espaçamentos em uma seqüência de idade. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 25, n. 1, p. 69 – 78, jan./mar. 2001.

LANDSBERG, J. J. et al.. Applying 3-PG, a simple process-based model designed to produce practical results, to data from loblolly pine experiments. **Forest Science**, v. 47, n. 1, p. 43-51, Feb. 2001.

LANDSBERG, J. J. Physiologic in forest models: history and the future. **Forestry Biometry, Modeling and Information Sciences.** London, v.1, p.49-63, 2003.

LANDSBERG, J. J. Physiological ecology of forest production. Melbourne: CSIRO, Division of Forest Research, 1986.

LANDSBERG, J. J.; GOWER, S. T. **Applications of physiological ecology to forest management.** San Diego: Academic Press, 1997. 344p.

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, Aug. 1997.

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

LITTON, C. M.; RAICH, J. W.; RYAN, M. G. Carbon allocation in forest ecosystems. **Global Change Biology**, Oxford, v. 13, n. 10, p. 2089-2109, Oct. 2007.

LUY, A.; GOYA, J. F.; FRANGI, J. L. Distribución de la biomassa aérea y subterránea en plantaciones de *Eucalyptus grandis* de distintas edades en la región de Concordia, Entre Ríos, Argentina. In: CONGRESSO FORESTAL ARGENTINO Y LATINO-AMERICANO, 12., 1997, Posadas-Misiones. **Anais...** Posadas-Misiones: Asociación Forestal Argentina, 1997, p. 1-10.

MALUF, J. R. T. Nova classificação climática do Estado do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 8, n. 1, p. 141-150, jan./jun., 2000.

MARRICHI, A. H. C. **Caracterização da capacidade fotossintética e da condutância estomática em sete clones comerciais de *Eucalyptus* e seus padrões de resposta ao déficit de pressão de vapor**. 2009. 105 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) – Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2009.

MEDHURST, J. L.; BEADLE, C. L. Sapwood hydraulic conductivity and leaf area-sapwood area relationships following thinning of a *Eucalyptus nitens* plantation. **Plant, Cell and Environment**, Oxford, v. 25, p. 1011-1019, 2002.

PEREIRA, A. R. et al.. Concentração e distribuição de nutrientes em *Eucalyptus grandis* em função da idade, cultivado na região do cerrado. **Brasil florestal**, Brasília n. 59, p. 27-37, jul./set. 1984.

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

REIS, M. G. F.; BARROS, N. F. Ciclagem de nutrientes em plantios de eucalipto. In: BARROS, N. F.; NOVAIS, R. F. (eds). **Relação solo eucalipto**. Viçosa: Ed. Folha de Viçosa, 1990. cap. 7, p. 265-302.

REIS, M. G. F.; BARROS, N. F.; KIMMINS, J. P. Acúmulo de nutrientes em uma seqüência de idade de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden plantado no cerrado, em duas áreas com diferentes produtividades, em Minas Gerais. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 11, n. 1, p. 1 – 15, jan./jun. 1987.

SANDS, P. J. Adaptation of 3-PG to novel species: guidelines for data collection and parameter assignment. **Technical Report**, 141. CSIRO Forestry and Forest Products. 2004.

SANDS, P. J.; LANDSBERG, J. J. Parameterisation of 3-PG for plantation grown *Eucalyptus globulus*. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 163, n. 1-3, p. 273–292, June. 2002.

SAS 9.00. **SAS Institute Inc.**, Cary, NC, USA. 2002.

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, jan./mar. 2011.

SILVA, G. G. C. da. **Nutrição, crescimento e sua modelagem em povoamentos de eucalipto em resposta à disponibilidade de água e nutrientes**. 2006. 116 f. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 2006.

SILVA, W. C. M. **Modelagem dos balanços de radiação e de água e simulação do crescimento do eucalipto na Bacia do Rio Doce – MG**. 2007. 122 p. Tese (Doutorado em Meteorologia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 2007.

SILVA, W. da; SEDIYAMA, T.; SILVA, A. A. da; CARDOSO, A. A. Índice de consumo e eficiência do uso da água em eucalipto, submetido a diferentes teores de água em convivência com braquiária. **Floresta**, Curitiba, v. 34, n. 3, p. 325-335, set./dez. 2004.

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, May. 2004.

TEDESCO, M. J. et al.. **Análise de solo, plantas e outros materiais**. 2. ed. Porto Alegre: Departamento de Solos, UFRGS, 1995. 174 p. (Boletim Técnico, 5).

UTHSCSA. ***Image Tool for Windows version 3.00.*** University of Texas Health Science Center in San Antonio, 2002.

WHITEHEAD, D.; BEADLE, C. L. Physiological regulation of productivity and water use *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 de seu ciclo de crescimento. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 26, n. 4, p. 421-427, 2002.

APÊNDICES

Apêndice A - Temperatura máxima média mensal (°C).

Ano/Mês	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
2002	30,0	29,3	30,9	25,1	23,3	19,1	18,6	21,1	20,5	25,0	27,3	28,8
2003	30,9	31,2	29,1	24,9	22,3	20,1	19,1	19,6	21,9	25,5	27,0	27,0
2004	30,2	29,1	28,6	28,0	20,3	20,4	18,6	20,4	23,0	24,6	26,1	29,0
2005	32,1	30,4	28,7	24,5	22,3	21,6	19,8	21,5	19,5	23,3	28,1	28,8
2006	31,3	29,6	29,6	25,7	20,3	20,0	21,4	20,0	20,9	25,6	26,1	30,6
2007	30,4	30,5	29,2	26,8	19,8	18,0	16,8	18,6	24,3	25,1	25,7	29,9
2008	29,7	29,1	29,3	25,0	21,3	17,1	20,3	20,2	20,4	23,6	27,7	28,5
2009	28,1	29,1	28,3	26,7	22,8	17,6	16,7	22,1	20,7	24,1	27,0	28,6
2010	29,4	31,5	28,4	24,8	20,9	19,4	18,9	18,9	21,0	23,3	26,8	28,8

Apêndice B - Temperatura mínima média mensal (°C).

Ano/Mês	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
2002	18,3	16,5	20,2	14,8	12,7	8,3	7,8	10,2	8,9	16,2	15,8	18,1
2003	18,1	19,3	17,9	12,8	10,1	11,6	7,9	6,2	8,6	13,4	14,6	15,3
2004	18,4	16,7	16,0	15,2	10,3	9,4	5,9	7,6	12,6	10,7	14,3	16,4
2005	17,8	18,9	17,1	14,0	11,6	11,5	6,6	10,5	10,0	13,6	14,5	15,9
2006	19,4	18,4	17,3	13,3	9,4	9,9	11,2	7,8	9,1	13,9	14,7	18,5
2007	19,3	18,7	19,9	15,3	8,5	8,4	4,7	7,7	12,9	15,4	12,3	16,6
2008	17,9	17,6	16,9	11,8	9,3	7,0	10,5	8,6	9,5	13,7	16,0	16,6
2009	17,5	18,9	17,6	11,7	10,0	4,7	4,2	8,5	11,5	11,8	18,5	18,3
2010	19,5	20,0	18,2	13,0	12,5	8,6	7,0	7,2	11,7	10,6	13,1	16,7

Apêndice C - Precipitação mensal (mm).

Ano/Mês	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
2002	129,1	74,2	154,9	117,4	146,2	225,8	208,1	156,7	168,1	253,3	144,1	223,5
2003	64,5	196,5	91,5	115,7	41,0	161,2	138,7	60,7	68,7	277,3	119,4	203,2
2004	62,3	141,2	75,8	117,8	127,4	134,5	192,6	88,6	206,1	105,6	83,1	49,1
2005	29,9	73,5	145,3	84,5	194,6	53,6	47,7	186,6	235,7	267,4	47,7	63,9
2006	137,9	27,4	19,3	24,6	174,4	84,0	77,8	131,9	183,3	100,5	141,9	90,8
2007	89,3	111,7	344,4	51,7	144,8	281,5	188,4	159,2	212,4	158,5	122,6	74,5
2008	111,7	77,0	63,2	160,5	241,4	142,2	215,4	141,2	167,2	253,9	57,8	112,7
2009	197,7	147,7	80,3	5,1	89,6	87,3	62,0	257,4	361,1	142,9	406,1	259,8
2010	134,2	125,2	117,8	114,6	97,9	283,8	217,0	113,0	192,0	46,2	152,5	98,5

Apêndice D - Evapotranspiração mensal (mm).

Ano/Mês	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
2002	143,8	119,8	98,3	69,3	49,9	40,3	41,3	36,6	62,3	85,3	119,8	134,5
2003	158,1	111,1	112,4	75,1	61,7	32,7	42,3	64,0	76,9	111,8	135,5	149,5
2004	161,6	138,6	148,7	86,1	52,9	43,6	52,4	63,8	58,2	118,1	111,7	145,6
2005	174,7	126,8	106,6	68,7	51,0	34,3	52,2	55,5	69,9	96,5	148,8	168,9
2006	139,4	101,2	84,7	81,6	53,6	43,9	46,6	60,7	86,4	118,6	134,2	178,6
2007	160,5	135,7	101,6	86,7	57,0	34,1	46,8	48,0	76,6	79,2	173,8	167,3
2008	173,8	133,4	127,0	82,4	56,6	37,0	42,3	63,2	88,6	101,7	168,5	172,5
2009	161,6	130,0	117,6	94,1	61,2	44,6	46,2	69,1	66,0	119,0	91,1	143,7
2010	138,7	127,5	111,4	75,8	47,8	40,2	43,3	42,5	58,2	92,6	120,3	153,1

Apêndice E - Radiação solar mensal média ($\text{MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$).

Ano/Mês	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
2002	21,2	20,2	11,4	11,7	8,9	8,1	7,9	6,3	14,3	13,1	18,0	19,2
2003	22,8	17,7	16,7	12,5	10,4	6,1	7,7	11,1	13,1	16,8	20,6	21,8
2004	23,1	21,7	21,8	13,2	9,3	8,2	9,7	11,4	11,0	18,6	19,5	23,5
2005	24,5	19,7	17,2	11,8	9,1	9,0	9,6	9,4	12,0	15,3	22,4	24,2
2006	21,8	17,0	14,5	13,5	9,3	8,1	8,1	11,0	15,1	18,0	20,7	25,7
2007	23,3	21,9	15,8	14,4	10,5	6,8	9,2	8,9	12,8	13,7	22,0	24,4
2008	24,7	21,0	18,7	14,3	10,3	8,1	7,6	11,7	15,6	16,5	26,4	26,7
2009	24,4	21,7	18,0	15,8	10,9	9,2	9,8	12,1	12,0	19,4	14,7	21,9
2010	21,0	21,1	17,0	13,2	8,6	8,1	8,5	9,5	11,4	17,1	21,4	24,3

Apêndice F - Dias de chuva mensal.

Ano/Mês	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
2002	7	10	10	12	10	8	7	11	9	15	9	12
2003	8	15	6	4	4	11	9	6	7	8	9	7
2004	7	8	8	6	12	11	10	6	12	8	10	6
2005	5	11	7	9	13	8	5	9	9	11	4	9
2006	11	6	5	5	9	8	6	14	9	6	10	8
2007	17	9	22	7	9	14	12	13	11	15	8	6
2008	9	11	8	15	10	17	10	12	10	15	8	10
2009	12	12	12	2	10	11	9	10	18	7	21	13
2010	11	10	11	13	16	12	14	8	13	6	7	10

Apêndice G - Dias de geada mensal.

Ano/Mês	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
2002	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0
2003	0	0	0	0	0	0	4	0	1	0	0	0
2004	0	0	0	0	0	2	3	0	0	0	0	0
2005	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0
2006	0	0	0	0	0	0	1	3	2	0	0	0
2007	0	0	0	0	0	1	3	0	0	0	0	0
2008	0	0	0	0	1	3	0	0	0	0	0	0
2009	0	0	0	0	0	4	7	0	0	0	0	0
2010	0	0	0	0	0	0	2	2	0	0	0	0

Apêndice H – Características físicas do solo nas áreas de estudo.

Ano	Camada (m)	Distribuição do tamanho de partículas (%)			
		Areia grossa (2 - 0,2 mm)	Areia fina (0,2 - 0,05 mm)	Silte (0,05 - 0,002 mm)	Argila (< 0,002 mm)
2	0 a 0,2	39	19	16	26
	0,2 a 0,4	30	14	20	36
	0,4 a 1,0	24	17	24	34
3	0 a 0,2	39	9	27	25
	0,2 a 0,4	28	7	27	38
	0,4 a 1,0	23	5	31	40
4	0 a 0,2	36	10	33	21
	0,2 a 0,4	32	10	19	39
	0,4 a 1,0	33	12	15	41
5	0 a 0,2	44	24	17	16
	0,2 a 0,4	42	21	16	21
	0,4 a 1,0	31	16	17	36
6	0 a 0,2	54	16	17	13
	0,2 a 0,4	44	16	23	17
	0,4 a 1,0	37	15	26	23
7	0 a 0,2	42	13	25	20
	0,2 a 0,4	27	12	30	31
	0,4 a 1,0	27	12	22	38

Apêndice I – Atributos químicos do solo das áreas de pesquisa.

Anos	Camada (m)	Argila	MO	pH	Índice	Al	Ca	Mg	P	K	Al+H	CTC _{efet.}	CTC _{pH 7}	V	m	B	Cu	Zn
		%		(H ₂ O)	SMP	cmol _c dm ⁻³		mg dm ⁻³		cmol _c dm ⁻³		%	mg dm ⁻³					
2	0 a 0,2	26	1,7	4,6	4,9	3,6	0,8	0,5	1,8	75,0	16,2	5,1	17,7	8,4	71,4	0,7	1,7	0,8
	0,2 a 0,4	36	1,4	4,5	4,5	5,6	0,8	0,3	1,4	54,7	26,2	6,8	27,4	4,8	82,5	0,5	1,3	0,4
	0,4 a 1,0	34	0,7	4,7	4,4	5,0	0,6	0,3	1,3	33,0	27,4	5,9	28,4	3,6	84,1	0,5	0,9	0,5
3	0 a 0,2	25	1,9	4,6	4,9	3,2	1,1	0,8	2,0	108,0	17,5	5,4	19,6	13,2	59,4	1,6	1,5	0,8
	0,2 a 0,4	38	1,3	4,6	4,4	4,9	0,2	0,4	1,8	136,0	29,3	5,9	30,3	3,8	82,9	1,1	1,2	0,8
	0,4 a 1,0	40	0,7	4,7	4,4	4,9	0,3	0,8	2,8	85,7	28,3	6,2	29,6	5,6	78,3	1,1	0,8	0,5
4	0 a 0,2	21	2,2	4,7	4,9	2,6	3,9	0,7	6,7	60,3	20,6	7,4	25,4	26,4	50,5	0,9	1,2	0,9
	0,2 a 0,4	39	1,9	4,8	4,8	4,1	2,6	0,5	1,7	67,0	27,3	7,4	30,7	23,9	61,9	1,2	1,7	0,9
	0,4 a 1,0	41	1,0	4,4	4,5	4,7	0,5	0,6	1,4	43,0	27,8	6,0	29,1	4,7	80,5	1,2	1,3	0,5
5	0 a 0,2	16	2,0	4,4	5,0	2,6	1,5	0,5	2,3	57,0	18,1	4,7	20,2	13,3	54,3	1,0	1,5	1,0
	0,2 a 0,4	21	1,5	4,5	4,9	3,3	1,2	0,3	1,7	42,7	17,5	4,9	19,1	11,6	66,4	1,3	1,8	0,7
	0,4 a 1,0	36	1,0	4,4	4,4	5,1	0,3	0,4	1,5	45,3	27,9	6,0	28,8	2,8	85,9	0,5	1,7	0,8
6	0 a 0,2	13	1,1	4,3	5,0	2,3	0,4	0,2	5,4	23,3	14,3	3,1	15,1	5,5	75,4	1,6	1,4	1,0
	0,2 a 0,4	17	1,1	4,3	4,5	3,6	0,2	0,1	1,7	23,0	24,5	4,1	24,9	1,9	89,0	1,4	1,6	1,2
	0,4 a 1,0	23	0,8	4,4	4,4	4,2	0,2	0,2	1,5	33,7	27,9	4,7	28,5	1,9	88,8	1,6	1,7	1,3
7	0 a 0,2	20	1,7	4,7	5,0	2,0	1,8	0,6	1,6	44,7	17,7	4,4	20,2	18,9	40,5	1,0	1,5	0,9
	0,2 a 0,4	31	1,5	4,5	4,6	4,5	0,4	0,3	1,1	30,7	28,6	5,3	29,5	4,5	82,5	0,7	1,7	1,2
	0,4 a 1,0	38	0,9	4,7	4,5	3,8	0,7	0,7	1,2	27,3	26,3	5,3	27,8	6,7	70,7	0,4	1,3	0,5

(continua)

Apêndice J – Produção de serapilheira, folhas e galhos finos, em função da idade do plantio.

Meses	Folhas	Galhos Finos	Total
		kg ha ⁻¹	
24	58,8	16,6	75,3
25	116,9	2,3	119,2
26	199,8	77,6	277,4
27	147,8	4,5	152,4
28	270,9	5,8	276,6
29	230,1	10,9	240,9
30	166,6	13,0	179,6
31	85,9	6,6	92,5
32	119,7	39,3	158,9
37	83,8	18,4	102,2
38	56,3	33,2	89,5
39	93,6	43,7	137,2
40	198,1	23,3	221,4
41	161,0	27,4	188,4
42	131,8	6,4	138,2
43	216,4	21,2	237,6
44	149,3	13,5	162,7
45	118,2	19,1	137,3
46	74,5	18,0	92,4
49	91,1	70,3	161,4
50	50,7	21,3	72,0
51	124,0	75,8	199,8
52	108,7	16,0	124,7
53	160,2	44,9	205,0
54	132,6	48,0	180,6
55	162,1	20,9	183,0
56	179,0	19,4	198,3
57	142,5	60,7	203,2
58	124,4	21,9	146,3
59	106,4	21,7	128,0
60	106,1	70,3	176,3
61	22,5	-	22,5
62	113,3	7,5	120,8
63	60,5	26,8	87,2
64	194,9	82,6	277,5
65	121,3	43,0	164,3

(conclusão)

Apêndice J – Produção de serapilheira, folhas e galhos finos, em função da idade do plantio.

66	128,1	48,7	176,8
67	152,1	32,6	184,7
68	123,2	15,9	139,1
69	174,5	46,7	221,3
70	116,2	18,8	135,0
71	81,1	34,4	115,5
72	125,1	30,5	155,7
73	92,1	32,6	124,8
74	118,3	23,0	141,3
75	109,8	29,5	139,3
76	114,5	24,8	139,3
77	108,4	11,3	119,6
78	77,2	19,9	97,0
79	56,3	22,1	78,5
82	121,3	24,4	145,7
83	64,5	21,8	86,3
84	143,6	25,6	169,2
Média	124,3	29,1	152,8