

CALIBRAÇÃO DO MODELO 3-PG PARA *Eucalyptus saligna* Smith NA REGIÃO DE GUAÍBA - RS¹

CALIBRATION OF MODEL 3-PG FOR *Eucalyptus saligna* IN THE REGION OF GUAÍBA, RIO GRANDE DO SUL STATE

Eduardo Kneipp Londero² Mauro Valdir Schumacher³ Denise Andréia Szymczak⁴ Elias Frank Araújo⁵

RESUMO

O trabalho teve como objetivo calibrar o modelo 3-PG para *Eucalyptus saligna* usando as variáveis diâmetro a altura do peito (DAP), altura total, volume de madeira e biomassa de 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 para a coleta de 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 0,5 m². A área foliar foi obtida por fotografias digitais e, a partir destas, estimou-se a área foliar específica. Os parâmetros fisiológicos foram mensurados em seis parcelas, uma em cada idade. Os parâmetros climáticos foram fornecidos pela EEA da UFRGS, localizada em Eldorado do Sul. 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. **Palavras-chave:** ecofisiologia florestal; biomassa florestal; alocação de carbono; modelagem.

ABSTRACT

The study aimed to calibrate the model 3-PG for *Eucalyptus saligna* for the following the diameter variables at breast height (DBH), total height, wood volume and branch, bark and wood biomass. The study took place in the region of Guaíba, Rio Grande do Sul state, Brazil. Clonal plantations of *Eucalyptus saligna* in various spacings were used. Six different ages were selected along the crop cycle (2nd to 7th year). After the forest inventory was carried out, the biomass of three trees fractionated into wood, bark, branches and leaves was collected. The biomass of roots on the average tree of each plot was measured to a depth of 1 m. Physical and chemical analyses were performed in soil samples from the layers: 0 to 20 cm, 20 to 40 cm and 40 to 100 cm. Litter deposition was estimated by allocating 4 square collectors of 0.5 m². The leaf area was obtained through digital photographs and thus the specific leaf area was estimated. The physiological parameters were measured in six plots, one at each age. Climatic parameters were provided by EEA of UFRGS University, located in Eldorado do Sul, RS state. The model validation was not statistically accepted,

1 Parte da dissertação de mestrado do primeiro autor apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria, Brasil.

2 Engenheiro Florestal, MSc., Rua Coriolano Coelho de Souza, 55, Bairro Timbaúva, CEP 95780-000, Montenegro (RS), Brasil. eklondero@gmail.com

3 Engenheiro Florestal, Dr., Professor do Departamento de Ciências Florestais, Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria, Av. Roraima, 1000, CEP 97105-900, Santa Maria (RS), Brasil. mvschumacher@gmail.com

4 Engenheira Florestal, Doutoranda do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Professora Assistente da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Campus Francisco Beltrão, Linha Santa Bárbara, s/n, CEP 85601-970 Caixa Postal 135, Francisco Beltrão (PR), Brasil. deniseszymczak@gmail.com

5 Engenheiro Florestal, Pesquisador da empresa CMPC Celulose Riograndense, Rua São Geraldo, 1680, CEP 92500-000, Guaíba (RS), Brasil. efaraujo@cmpcrs.com.br

but their estimated data can be used to estimate the studied variables, demonstrating the potential of its use although additional studies for the application of the model to this species are still needed.

Keywords: forest eco-physiology; forest biomass; carbon allocation; modeling.

INTRODUÇÃO

Conhecer as interações entre o meio e as plantas faz parte da ecofisiologia florestal que visa compreender o crescimento florestal por meio do entendimento dos processos que o governam, para permitir manejar as florestas em sintonia com o uso dos recursos naturais (STAPE et al., 2004). Além disso, a adaptação de espécies aos efeitos do clima pode ajudar no manejo hídrico 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 avaliação 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; 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 dúvidas sobre como o modelo será testado ou parametrizado. Estas surgem em parte por causa de uma falta de dados gerais 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, realizando os testes preliminares com variáveis de outras espécies que não seja a de interesse. Em poucos casos observa-se a aplicação do modelo com parâmetros que caracterizam rigorosamente uma determinada espécie e, mesmo assim, a aplicação ainda é feita, em grande parte, por um processo de tentativa e erro, como o trabalho conduzido por Sands e Landsberg (2002) para *Eucalyptus globulus*.

Um protocolo da sistemática para atribuição de parâmetros específicos de espécies pode ser facilitado pela 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 das ferramentas do *software* para estimativa de parâmetros, otimizando os resultados para os dados observados.

O 3-PG (*Physiological Principles Predicting Growth*), 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 os gestores florestais (SANDS, 2004).

O modelo 3-PG já foi utilizado na Austrália para *Eucalyptus globulus* (SANDS e LANDSBERG, 2002). No Brasil foi utilizado para *Eucalyptus grandis* x *urophylla* no Nordeste (STAPE et al., 2004) na região Centro-Leste de Minas Gerais (SILVA, 2007) e na região do cerrado de Minas Gerais (BORGES, 2009) e para *Eucalyptus grandis* no Sudeste (ALMEIDA et al., 2004b).

O presente trabalho teve como objetivo calibrar o modelo 3-PG para *Eucalyptus saligna* na região de Guaíba - RS, para as variáveis diâmetro a altura

do peito (DAP), altura total, volume de madeira e biomassa de *stem* (galho, casca e lenho).

MATERIAL E MÉTODOS

Localização das áreas do estudo

Este trabalho foi realizado em áreas da empresa CMPC Celulose Riograndense, na região de Guaíba - RS. Foram utilizados plantios clonais de *Eucalyptus saligna*, sendo selecionadas seis idades ao longo do ciclo de cultivo (2º ao 7º ano), nos quais foram alocadas três parcelas por idade, resultando em 18 parcelas.

Inventário e Biomassa Florestal

As variáveis utilizadas são biomassa de folhas, *stem* e raiz, densidade do povoamento e água disponível no solo. A biomassa inclui casca do tronco e galhos, apesar de o 3-PG prever desconto para galhos e casca (SANDS, 2004). 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 a 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 $h = b_0 + b_1 \text{DAP} + b_2 (\text{DAP})^2$.

Para a coleta da biomassa acima do solo, em cada uma das idades, foram derrubadas três árvores, com as seguintes características: DAP médio menos desvio padrão, DAP médio e DAP médio mais desvio padrão, determinadas pelo inventário florestal, totalizando 54 árvores. Essas árvores foram fracionadas em lenho, casca, galhos e folhas e pesadas na sua totalidade com auxílio de balança de plataforma. As amostras retiradas de cada fração foram pesadas em balança com precisão 0,1 g.

O lenho e a casca foram amostrados em três pontos ao longo do comprimento total do fuste, nas posições medianas das secções resultantes da divisão em três partes iguais do mesmo. 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, sendo esta pesada no campo para obtenção do seu peso úmido.

As amostras foram enviadas ao 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, sendo 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.

Solo

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 e um para condições adequadas.

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 (1 mol 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.

Densidade básica da madeira

Foram retiradas amostras em formato de cunha, dos discos do lenho cortados ao longo do fuste para a determinação da densidade básica da madeira (ρ_b). As amostras foram imersas em água até a completa saturação. A densidade básica da madeira foi obtida pelo método preconizado pelo Forest Products Laboratory (1956). As determinações volumétricas das amostras foram realizadas por balanças hidrostáticas com leitura de 0,1 g de precisão, sendo na sequência secas 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 peso seco. A pb de cada amostra foi determinada pela razão entre o peso seco e o volume saturado.

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, totalizando 72 coletores. Os coletores foram dispostos em quatro posições nas parcelas: diagonal entre quatro árvores, linha de plantio, entre linha de plantio e próximo à árvore.

A coleta da serapilheira foi realizada mensalmente no período de agosto de 2010 a maio de 2011. As amostras 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, sendo pesadas em balança com leitura de precisão de 0,01 g, e, de posse destes resultados, foram estimadas as quantidades totais de cada fração por hectare.

Área foliar específica (AFE) e Índice de Área Foliar (IAF)

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, no qual foram fotografadas e, após, foram processadas no *software* UTHSCSA - *Image tool for Windows version 3.0*[®] (2002), para a obtenção da área foliar.

Após a determinação das imagens digitais, as folhas foram secas em estufa de circulação e renovação de ar a 70°C, sendo pesadas em balança com leitura de precisão de 0,01 g. 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 (m²) pelo peso seco da amostra (kg).

O índice de área foliar foi determinado a partir da área foliar específica (AFE), sendo o produto do peso seco total de folhas da parcela pela AFE dividido pela área da parcela.

Condutância Estomática e Deficit de Pressão do Vapor Atmosférico (DPV)

A condutância estomática e o *deficit*

de pressão do vapor foram estimados em seis parcelas, uma em cada idade. 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 câmara acima de 50%. As medições foram realizadas nos dias 22 e 23 de fevereiro de 2011, em dias ensolarados, nos horários das 7h30 min às 11h30 min. As árvores foram abatidas e na sequência foram mensuradas 15 folhas no terço médio da copa da árvore.

Parâmetros climáticos

Os dados climáticos de entrada (*inputs*) são médias mensais de radiação solar total diária, temperatura média do ar, dados diários de *deficit* 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 por exemplo, a seca (SANDS, 2004).

As áreas em que foram realizadas as coletas 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 na temperatura do mês mais frio, que é menor ou igual a 13°C (Maluf, 2000).

O modelo 3-PG utiliza os parâmetros climáticos: temperatura média máxima e mínima, precipitação, evapotranspiração, radiação solar, dias de chuva e geada. Estes dados foram fornecidos pela estação meteorológica da Estação Experimental Agrônômica 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.

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).

$$y = b_0x + b_1 + \varepsilon$$

Em que: 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).

$$\begin{aligned} \text{DEN} &= D_0 + D_1 - D_1 e^{-\ln(2)(t/(0,5*(D_0 + D_1)))} \\ \text{AFE} &= \text{AFE}_0 + \text{AFE}_1 - \text{AFE}_1 e^{-\ln(2)(t/(0,5*(\text{AFE}_0 + \text{AFE}_1)))} \\ \text{FGC} &= \text{GC}_0 + \text{GC}_1 - \text{GC}_1 e^{-\ln(2)(t/(0,5*(\text{GC}_0 + \text{GC}_1)))} \end{aligned}$$

Em que: 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.

$$O = b_0 + b_1 E$$

Em que: 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 3PGpjs 2.7, sendo que as estimativas do modelo foram realizadas em planilha eletrônica.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 1, 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 povoamentos 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. Barros et al. (1984), estudando diferentes doses de aplicações de NPK em *E. saligna* em MG, encontraram valores de 0,3 a 4,6 m³ ha⁻¹ aos 17 meses e de 24,8 a 133,83 m³ ha⁻¹ de volume de madeira. Santana et al. (1999) encontraram 184 a 504 m³ ha⁻¹ de volume de madeira para *E. saligna* de diferentes procedências em diferentes locais de plantio. Conforme Berger et al. (2002), o diâmetro aumentou de 12,0 cm para 25,0 cm, a altura total de 15,0 m para 35,0 m e o volume de madeira sem casca de 100,0 m³ ha⁻¹ para 550,0 m³ ha⁻¹, entre as idades de 3 para 8 anos, em experimento de diferentes espaçamentos e doses de adubação. Conforme se pode ver na literatura, existem vários trabalhos sobre o crescimento de eucalipto, mostrando as suas diferenças de ritmo de crescimento, variando de sítio e fatores ambientais.

As equações alométricas ajustadas para altura total (H), volume de madeira sem casca (V) e biomassa de *stem* (*Stem*) em relação ao DAP, em todas as idades do *Eucalyptus saligna*, estão na

TABELA 1: Diâmetro a altura do peito (DAP), altura total e volume de madeira sem casca em diferentes idades do *Eucalyptus saligna*, na região de Guaíba - RS.

TABLE 1: Diameter at breast height (DBH), total height and volume of timber within bark in different ages of *Eucalyptus saligna*, in region of Guaíba, RS state.

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

Tabela 2.

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.

TABELA 2: Equações alométricas utilizadas pelo modelo 3-PG.

TABLE 2: Allometric equations used by 3-PG model.

Equação	R ²
$H = 0,9292 * DAP^{1,1171}$	0,79
$V = 0,1013 * DAP^{2,7483}$	0,86
$Stem = 0,0168 * DAP^{3,0722}$	0,96

Em que: H = altura total; V = volume de madeira sem casca; Stem = biomassa de *stem*; DAP = diametro a altura do peito.

Através destas equações, expressas na Tabela 2, 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.

Na Tabela 3, 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 (R²) das equações na sua maioria foi bom com exceção da densidade básica da madeira que teve seu ajuste inferior a 0,6.

A densidade básica da madeira aumenta

conforme o aumento da idade dos povoamentos de *Eucalyptus 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, sendo esta mesma tendência encontrada por outros autores como Sands e Landsberg (2002), Stape et al. (2004), Almeida et al. (2004b), Silva et al. (2006) e Borges (2009).

A área foliar específica (AFE) diminui com o passar da idade, isto é, as folhas ficam mais coriáceas, mais duras e espessas, interferindo 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), mostrando a pouca variabilidade dos plantios florestais assim como os valores citados pelos autores 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). Ao inverso disso tem-se a alta variação em eucaliptos nativos, segundo Whitehead e Beadle (2004) é de 2,2 a 8,3 m² kg⁻¹.

A produção de biomassa das folhas, dos galhos, da casca, do lenho e das raízes, na sequência de idade, está na Tabela 4. 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 em relação à biomassa de folhas tendência não foi observada por Schumacher et al. (2011), que relataram aumento na quantidade de folhas com o passar do ciclo de cultivo. Possivelmente, nos povoamentos em estudo as condições de fechamento do dossel, em função da densidade e tamanho das árvores já indicava competição por luz. Esse comportamento foi descrito por Gonçalves et al. (2000), com uma fase antes do fechamento das copas e depois de bem adaptadas ao campo, refletindo um período de intenso crescimento, no

TABELA 3: 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 *Eucalyptus saligna*.

TABLE 3: Nonlinear equations adjusted between branch/bark fraction (BBF), basic density of timber (BDT) as well as the specific leaf area (SLA) and the age for standings of *Eucalyptus 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

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.

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).

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) 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; 1987). Reis et al.

(1985), estudando o acúmulo de biomassa em uma 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 da baixa fertilidade do solo com o desenvolvimento de um sistema radicular mais extenso, capaz de acessar um maior volume de solo.

A condutância estomática, *deficit* de pressão do vapor atmosférico (DPV) e o índice de área foliar (IAF) estão apresentados na Tabela 5. A partir dos dados dessa tabela, é 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 em que a condutância do dossel é máxima (LAIg_{cx}) 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, *deficit* de pressão de vapor e quantidade de água nas folhas (LANDSBERG e GOWER, 1997).

Almeida e Soares (2003) encontraram uma diminuição de 0,01 mol m⁻² s⁻¹ a 0,004 mol m⁻² s⁻¹ com a redução da disponibilidade de água no solo, que, segundo os autores, demonstra a capacidade que o eucalipto tem para exercer o controle estomático com o suprimento limitado de água no solo. A condutância estomática encontrada

TABELA 4: Produção de biomassa de folhas, galhos, casca, lenho e raiz em Mg ha⁻¹, para *Eucalyptus saligna*, na região de Guaíba - RS.

TABLE 4: Leaves, branches, bark, wood and root biomass production (Mg ha⁻¹), to *Eucalyptus saligna*, in region of Guaíba, RS state.

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.

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 $0,1 \text{ mbar}$ 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 ser usados para parametrizações em eucaliptos tropicais no Brasil. Podemos perceber que há uma grande variabilidade de dados encontrados na literatura em relação à condutância estomática, que é fortemente influenciado pelos fatores ambientais. O *deficit* de pressão de vapor (DPV), de modo geral, diminuiu com o aumento da idade do povoamento.

O DPV é influenciado pela temperatura do ar. Segundo Silva (2007), quanto maior a temperatura maior o DPV. Esse autor observou na região de Santa Bárbara - MG, DPV médio de $6,77 \text{ mbar}$ com temperaturas médias de $22,4^\circ\text{C}$ e, na região de Cocais, DPV de $4,34 \text{ mbar}$ com temperatura média de $17,5^\circ\text{C}$. O DPV também sofre influência da variação da temperatura durante o dia. Felseburgh (2009) encontrou valores abaixo de $0,1 \text{ mbar}$ 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 $0,13 \text{ mbar}$.

O Índice de Área Foliar (IAF) tem a tendência a diminuir com o aumento da idade. Almeida e Soares (2003) e Xavier et al. (2002) registraram o maior valor de IAF entre o terceiro e quarto ano após o plantio, diminuindo a partir dessa idade até o final da rotação.

Os valores de deposição de serapilheira (soma de folhas e galhos finos) utilizados pelo modelo 3-PG referem-se à máxima deposição de

serapilheira (γ_{Fx}), à deposição de serapilheira em plantio inicial ($t = 0$) (γ_{F0}) e à idade na qual a deposição de serapilheira tem valor médio (γ_{F}). 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. Para Sands e Landsberg (2002) e Silva et al. (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. Houve esta diferença do presente estudo com os demais devido ao período de realização da coleta, que no estudo foi em todo o ciclo de plantio e que também foi realizado em diversos sítios de uma mesma região, podendo isso ter influenciado na quantidade e idade de deposição média de serrapilheira.

Para a variável classe de 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.

Na parte química do solo, 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 $0,1 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ 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

TABELA 5: Condutância estomática, *deficit* de pressão do vapor atmosférico (DPV) e índice de área foliar (IAF) em função da idade nos povoamentos de *Eucalyptus saligna*.

TABLE 5: Stomatal conductance, atmospheric vapor pressure deficit (DPV) and the specific leaf area (IAF) in accordance with the age in the standings of *Eucalyptus 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

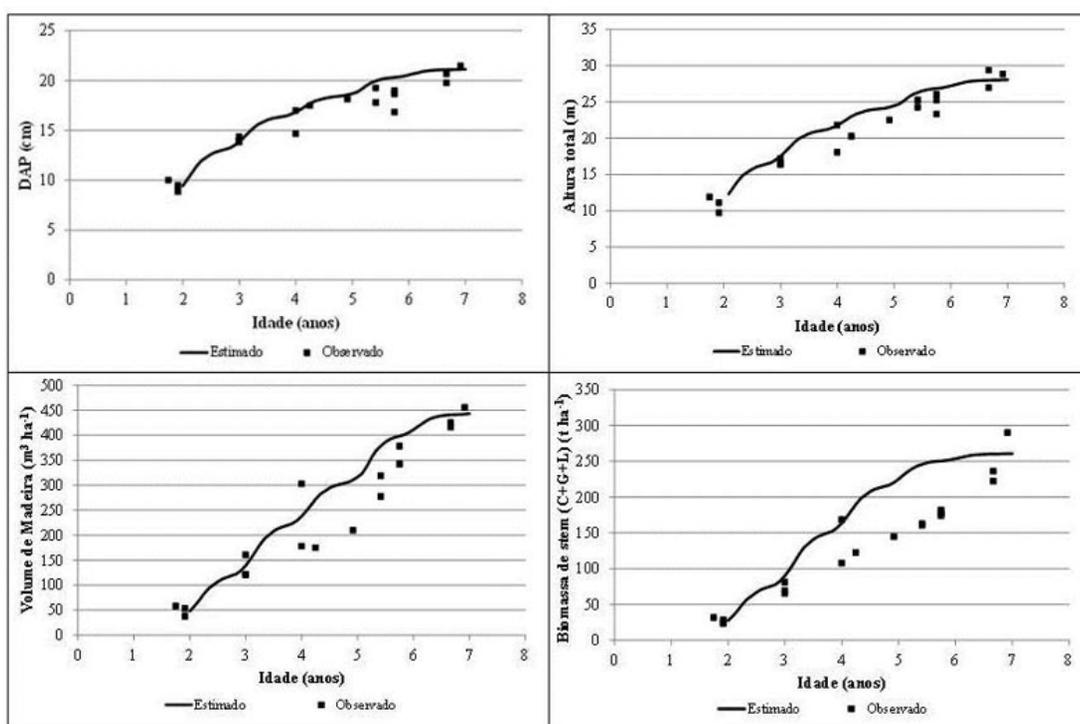


FIGURA 1: Valores observados e estimados pelo modelo 3-PG para as variáveis DAP, altura total, volume de madeira com casca e biomassa de *stem* para *Eucalyptus saligna* na região de Guaíba - RS.

FIGURE 1: Observed and predicted values by 3-PG model for the variables DBH, total height, volume of wood with bark and stem biomass for *Eucalyptus saligna* in the region of Guaíba, RS state.

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).

Os resultados finais do processo de calibração do modelo 3-PG, nos quais 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* está na Figura 1.

Na Tabela 6, estão os principais valores dos parâmetros utilizados na modelagem do crescimento de eucalipto através do modelo 3-PG.

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

A eficiência do uso do modelo está na Tabela 7, na qual são confrontados os valores estimados com os observados, usados na modelagem do crescimento de eucalipto através do modelo 3-PG.

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 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.

As simulações realizadas para obtenção de variáveis propostas através de modelos de crescimento mostrou-se satisfatória, assim como nos estudos de Almeida et al. (2004), Dye et al. (2004) e Pérez-Cruzado et al. (2011), uma vez que a utilização desta técnica para predição de crescimento

TABELA 6: Principais parâmetros utilizados no modelo 3-PG após a parametrização e calibração dos dados do estudo.

TABLE 6: Main parameters used in the model 3-PG after parameterization and calibration of the survey data.

Parâmetros	Símbolo	Unidade	Dados
Biomassa inicial de folhas	W_F	t ha ⁻¹	6,6
Biomassa inicial de <i>stem</i> (lenho + galhos + casca)	W_S	t ha ⁻¹	27,5
Biomassa inicial de raízes	W_R	t ha ⁻¹	20,7
Fração folha/ <i>stem</i> para DAP = 2 cm	pFS2	-	0,5762
Fração folha/ <i>stem</i> para DAP = 20 cm	pFS20	-	0,0098
Constante de relação entre a biomassa de <i>stem</i> e o DAP	aS	-	0,0168
Potência de relação entre a biomassa de <i>stem</i> e o DAP	nS	-	3,0722
Fração máxima de PPL para as raízes	pRx	-	0,5
Deposição de serapilheira para plantios em idade adulta	gammaFx	1/mês	0,2775
Deposição de serapilheira para plantios em t = 0	gammaF0	1/mês	0,0001
Idade em que a deposição de serapilheira tem valor médio	tgammaF	mês	72
Taxa média de ciclagem radicular	gammaR	1/mês	0,015
Temperatura mínima para o crescimento	Tmin	°C	8
Temperatura ótima para o crescimento	Topt	°C	25
Temperatura máxima para o crescimento	Tmax	°C	40
Dias de produção perdidos pela geada	kF	dias	0
Valor de m quando FR = 0	m0	-	0
Valor de f_N quando FR = 0	fN0	-	1
Potência de (1 - FR), na expressão do f_N	fNn	-	0
Taxa da fertilidade do solo	FR	-	0,9
Idade máxima utilizada no povoamento para modificar a idade	MaxAge	ano	7
Variável relacionada com a classe do solo	Soil Class	-	SL
Potência da idade relativa para a função f_{age}	nAge	-	4
Idade relativa para $f_{age} = 0,5$	rAge	-	0,95
Área foliar específica para plantio em idade inicial	SLA0	m ² kg ⁻¹	8,9
Área foliar específica para plantio em idade adulta	SLA1	m ² kg ⁻¹	7,6
Idade em que a área foliar específica = ½ (SLA0 + SLA1)	tSLA	ano	3,55
Coefficiente de extinção do RFAA pelo dossel	K	-	0,5
Idade do fechamento do dossel	fullCanAge	ano	3
Máxima interceptação da chuva pelo dossel	MaxIntcptn	-	0,1
IAF em que a interceptação da chuva é máxima	LAImaxIntcptn	m ² m ⁻²	3
Eficiência quântica máxima do dossel	Alpha	-	0,09
Relação PPL/PPB	Y	-	0,6
Máxima condutância do dossel	MaxCond	m s ⁻¹	0,02
IAF onde a condutância do dossel é máxima	LAIGcx	m ² m ⁻²	3
Define a resposta estomática ao DPV	CoeffCond	m bar ⁻¹	0,03
Condutância da camada limítrofe do dossel	BLcond	m s ⁻¹	0,2
Massa de <i>stem</i> máxima para cada 1000 árvores ha ⁻¹	wSx1000	kg arv	300
Fração de galhos e casca para plantios em idades iniciais	fracBB0	-	0,29
Fração de galhos e casca para plantios em idades adultos	fracBB1	-	0,11

Continua ...

TABELA 6: Continuação ...

TABLE 6: Continued ...

Parâmetros	Símbolo	Unidade	Dados
Idade na qual a fração de galhos e casca = $\frac{1}{2}$ (PBB0 + PBB1)	tBB	ano	0,95
Densidade básica da madeira em plantios iniciais	rhoMin	t m ⁻³	0,386
Densidade básica da madeira em plantios adultos	rhoMax	t m ⁻³	0,458
Idade na qual a densidade básica da madeira = $\frac{1}{2}$ (pb0 + pb1)	tRho	ano	1,37
Constante de relacionamento entre altura e DAP	aH	-	0,9292
Potência de relacionamento entre altura e DAP	nHB	-	1,1171
Constante de relacionamento entre volume e DAP	aV	-	0,1013
Potência de relacionamento entre volume e DAP	nVB	-	2,7483

Em que: Classes de Solo: C: Argila pesada, SL: Franco arenoso, DAP = diâmetro a altura do peito; PPL = produção primária líquida; RFAA: radiação fotossinteticamente ativa absorvida; PPB = produção primária bruta; DPV = deficit de pressão do vapor atmosférico.

TABELA 7: 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*.TABLE 7: Efficiency of 3-PG model to estimate the plantations growth of *Eucalyptus saligna* in DBH, total height, timber volume and stem biomass.

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 <i>stem</i>	-1,05742 ^{ns}	1,00569*	0,99	<0,0001	18

Em que: n = número de pares observado/esimado usados no ajuste da equação; β_0 e β_1 = coeficientes da equação de regressão ajustada pelo modelo Observado = $\beta_0 + \beta_1$ Estimado; R² = coeficiente de determinação; * significativo pelo teste t (p < 0,01); ^{ns} não significativo pelo teste t (p < 0,01).

em plantios florestais na região de estudo é inédita, sendo ainda necessários mais estudos para que haja um aprimoramento das técnicas empregadas.

CONCLUSÕES

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

- A utilização do modelo 3-PG é válida para a estimativa do diâmetro a 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 a 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;

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a CMPC Celulose Riograndense pelo apoio financeiro e logístico para o desenvolvimento deste trabalho

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 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**. Lisboa: CABI, 2003. p. 63-74.
- 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. et al. Análise do crescimento de *Eucalyptus saligna* em solo de cerrado sob diferentes níveis de N P K no Vale do Jequitinhonha, MG. **IPEF**, Piracicaba, n. 26, p.13-17, abr. 1984.
- BARROS, N. F.; NOVAIS, R. F. Eucalipto. In: RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; 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.
- BERGER, R. et al. Efeito do espaçamento e da adubação no crescimento de um clone de *Eucalyptus saligna* Smith. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 12, n. 2, p. 72-87, 2002.
- 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**. 10. ed. Porto Alegre: Editora Evangraf, 2004. 400 p.
- DYE, P. J. Verification of 3-PG growth and water-use predictions in twelve *Eucalyptus* plantation stands in Zululand, South Africa. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 193, p. 197-218, 2004
- FELSEMBURGH, 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 detennining 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 sequência de idade. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 25, n. 1, p. 69 – 78, jan./mar. 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. 344 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, Aug. 1997.
- 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.
- PÉREZ-CRUZADO, C. et al. Combining empirical models and the process-based model 3-PG to predict *Eucalyptus nitens* plantations growth in Spain. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 262, p.1067–1077, 2011.
- 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.
- SANTANA, R. C. et al. Biomassa e conteúdo de nutrientes de procedências de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna* em alguns sítios florestais do Estado de São Paulo. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 56, p. 155-169, dez. 1999.
- 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).
- 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.