



Revista Árvore

ISSN: 0100-6762

r.arvore@ufv.br

Universidade Federal de Viçosa
Brasil

Saraiva Nogueira, Gilciano; Garcia Leite, Helio; Chagas Campos, João Carlos; Ferreira Carvalho, Andreino; Lopes de Souza, Agostinho

Modelo de distribuição diamétrica para povoamentos de *Eucalyptus* sp. submetidos a desbaste

Revista Árvore, vol. 29, núm. 4, julho-agosto, 2005, pp. 579-589

Universidade Federal de Viçosa

Viçosa, Brasil

Disponível em: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=48829410>

- Como citar este artigo
- Número completo
- Mais artigos
- Home da revista no Redalyc

redalyc.org

Sistema de Informação Científica

Rede de Revistas Científicas da América Latina, Caribe, Espanha e Portugal

Projeto acadêmico sem fins lucrativos desenvolvido no âmbito da iniciativa Acesso Aberto

MODELO DE DISTRIBUIÇÃO DIAMÉTRICA PARA POVOAMENTOS DE *Eucalyptus* sp. SUBMETIDOS A DESBASTE¹

Gilciano Saraiva Nogueira², Helio Garcia Leite³, João Carlos Chagas Campos³, Andreino Ferreira Carvalho⁴ e Agostinho Lopes de Souza³

RESUMO – Os dados utilizados neste estudo foram obtidos de um experimento sobre desbaste, instalado em povoamentos de eucalipto da Copener Florestal Ltda., na região nordeste do Estado da Bahia. Os dados foram coletados em 48 parcelas permanentes retangulares, com área útil de 2.600 m². O primeiro desbaste foi aplicado aos 58 meses, sendo consideradas diferentes porcentagens de redução da área basal. O objetivo do estudo foi construir um modelo de crescimento e produção por classe de diâmetro para povoamentos de eucalipto submetidos a desbaste. A redistribuição teórica dos diâmetros foi feita a partir de equações lineares e não-lineares entre os parâmetros da função Weibull em uma idade futura (β_2 e γ_2) e os parâmetros em uma idade atual (β_1 e γ_1), associados a algumas características do povoamento em idades atual e futura. Foram avaliados três sistemas de equações, utilizando-se o coeficiente de determinação ajustado, o coeficiente de correlação e a análise gráfica dos resíduos. Foram realizados testes para verificar a compatibilidade dos sistemas e a identidade entre eles. O sistema selecionado é compatível e garante a propriedade de que, quando a idade futura (I_2) for igual à idade atual (I_1), a distribuição diamétrica na idade futura é igual à distribuição diamétrica na idade atual. Ao aplicar o modelo, foram geradas estimativas precisas e consistentes de crescimento e produção por classe de diâmetro.

Palavras-chave: Distribuição Weibull, desbaste, crescimento e produção.

DIAMETRIC DISTRIBUTION MODEL FOR THINNED *Eucalyptus* sp. STANDS

ABSTRACT – Data used for this study are from a thinning essay established in stands of eucalypt carried out in the Copener Florestal enterprise, in the Northeast region of Bahia State, Brazil. Data were collected in 48 rectangular permanent plots, with an area of 2,600 m². The first thinning was made at 58 months. Various percentages of basal area reductions were used. The objective of the study was to build and quantitatively evaluate, through statistical tests, a growth and yield model by diameter class for thinned eucalypt stands. The theoretic redistribution of diameters by class was made through equations that include both linear and non-linear relations between the Weibull function parameters in a future age (β_2 and γ_2) and the parameters at the present age (β_1 and γ_1) and with some stand characteristics at the present and future age. Three equations systems were analyzed. The equations were analyzed through the adjusted determination coefficient, the correlation coefficient and the graphical analyses of the residues. Tests were performed to verify the compatibility of the systems and the identity among them. The selected system is compatible and assures the property that when the future age (I_2) is equal to the present age (I_1), the diametric distribution at the future age is equal to the diametric distribution at the present age. This system generated accurate and consistent estimates of growth and yield per diameter class.

Keywords: Weibull distribution, thinning, growth and yield.

¹ Recebido em 19.03.2003 e aceito para publicação em 20.04.2005.

² Departamento de Engenharia Florestal das Faculdades Federais de Diamantina (FAFEID), 39100-000 Diamantina-MG.

³ Departamento de Engenharia Florestal da Universidade Federal de Viçosa (UFV).

⁴ Bahia Pulp.

1. INTRODUÇÃO

A modelagem do crescimento e da produção de povoamentos submetidos a desbaste tem sido feita por meio dos modelos em nível de povoamento (BUCKMAN, 1962; CLUTTER, 1963; PIENAAR, 1979; CLUTTER e JONES, 1980; PIENAAR e SHIVER, 1984; CAMPOS et al., 1988; DIAS, 2000; entre outros) e, em alguns casos, empregando-se modelos de distribuição diamétrica (CAMPOS e TURNBULL, 1981; NOGUEIRA et al., 2001).

Os modelos em nível de povoamento são inflexíveis para analisar simulações de desbastes (BURKHART et al., 1981). Esses modelos não fornecem elementos necessários para avaliação econômica de multiprodutos da madeira, sendo aplicados quando se desejam apenas estimativas gerais da população.

Os modelos de distribuição diamétrica possibilitam a avaliação econômica de multiprodutos, além de serem flexíveis para analisar simulações de desbaste (BURKHART et al., 1981). Esses modelos permitem estimar o crescimento e a produção por classes de tamanho (diâmetro) e têm como característica comum o uso de uma função de densidade de probabilidade. Alguns exemplos do uso desses modelos foram apresentados em Bailey (1980), Campos e Turnbull (1981), Knoebel et al. (1986), Guimarães (1994), Nogueira et al. (2001) e Silva (2001). A maioria dos modelos de distribuição diamétrica foi ajustada com dados de povoamentos não-desbastados, especialmente de *Pinus*. A explicação para a carência de estudos com modelos de distribuição diamétrica em plantações de eucalipto submetidas a desbaste é a falta de dados confiáveis, já que antes da década de 1990, em geral, não havia muito interesse em produzir árvores de eucalipto de grande porte.

O objetivo deste estudo foi construir um modelo de distribuição diamétrica para povoamentos de eucalipto submetidos a desbaste.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Descrição dos dados

Foram utilizados dados de um experimento sobre desbastes, instalado em três povoamentos do híbrido *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*, na empresa Copener Florestal, na região nordeste do Estado da Bahia. O experimento foi localizado em três instalações, abrangendo locais de capacidades produtivas extremas e intermediárias, e composto por quatro tratamentos e seis blocos, sendo dois destes em cada instalação. Cada bloco continha duas repetições, totalizando 48 parcelas, com área útil de 2.600 m², sendo o espaçamento inicial entre as árvores de 3,0 x 3,0 m. Os tratamentos aplicados corresponderam a diferentes porcentagens de área basal removidas em cada desbaste: T1: redução de 20% da área basal presente, eliminando os piores indivíduos; T2: redução de 35% da área basal presente, eliminando os piores indivíduos; T3: redução de 50% da área basal presente, eliminando os piores indivíduos; e T4: redução de 35% da área basal presente e desrama artificial nas prováveis árvores remanescentes, empregando-se uma altura para desrama de 6,0 m. Esse tipo de experimento segue os princípios mencionados em Levels-of-Growing-Stock (2002). Informações da área onde se encontra o experimento são apresentadas no Quadro 1.

As parcelas permanentes foram medidas aos 27, 40, 50, 58, 61, 76, 87, 101 e 112 meses, e um primeiro desbaste foi realizado aos 58 meses. Em cada medição foram registradas as seguintes características por parcela: razão de copa de cada árvore, altura total das 15 primeiras árvores, altura de cinco árvores dominantes e *dap* de todas as árvores contidas nas parcelas.

2.2. Frequências diamétricas estimadas

Para estimar a frequência diamétrica por parcela foi utilizada a função-densidade de probabilidade Weibull, definida por:

Quadro 1 – Localização dos experimentos
Table 1 – Experiment sites

Projeto	Município	Latitude (S)	Longitude (W)	Altitude Média (m)	Precipitação Média Anual (mm)
A	Inhambupe-BA	11°52'	38°32'	285	900
B	Inhambupe-BA	12°03'	38°28'	290	1.100
C	Esplanada-BA	11°47'	37°55'	150	1.200

$$f(x) = \begin{cases} \frac{\gamma}{\beta} \left(\frac{x - \alpha}{\beta} \right)^{\gamma-1} e^{-\left(\frac{x - \alpha}{\beta} \right)^{\gamma}} & , \text{ para } \alpha \leq x < \infty \\ 0 & , \text{ para outros valores de } x \end{cases} \quad (1)$$

em que α é o parâmetro de locação, considerado como o diâmetro mínimo do povoamento; β é o parâmetro de escala, $\beta > 0$; γ é o parâmetro de forma, $\gamma > 0$; e x é o centro da classe de diâmetro, $x \geq 0$.

A função Weibull foi ajustada aos dados de distribuição diamétrica observada de cada parcela em todas as medições, utilizando-se dados agrupados em classes com amplitude do 1,0 cm. O teste de Kolmogorov-Smirnov foi aplicado para testar a aderência dos dados à distribuição Weibull.

2.3. Redistribuição teórica dos diâmetros por classe

A redistribuição teórica dos diâmetros por classe ou recuperação da distribuição diamétrica foi realizada por meio da alternativa tradicional de correlacionar parâmetros da função com características do povoamento. Essa correlação foi feita através de regressões linear e não-linear. Foram considerados como variáveis dependentes os parâmetros da função Weibull em uma idade futura e, como variáveis independentes, os parâmetros dessa mesma função em uma idade atual e as características do povoamento nas idades atual e futura. Os seguintes atributos do povoamento foram utilizados: idade, diâmetro máximo, diâmetro mínimo, diâmetro médio, índice de local, número de árvores, altura dominante e combinações dessas variáveis. Os ajustes dos modelos foram feitos com o conjunto de dados contendo todas as medições; assim, pôde-se gerar um sistema único para projetar as distribuições diamétricas antes e depois do desbaste.

Para os ajustes das equações, utilizaram-se o Método dos Mínimos Quadrados Ordinários e o Método dos Mínimos Quadrados Não-Lineares, empregando o procedimento iterativo Quasi-Newton. Após ajustar vários sistemas de equações, foram selecionados três deles, com base nos coeficientes de determinação ajustados (\bar{R}_y^2) (para os modelos lineares) e de correlação (R_{yy}) (para os modelos lineares sem intercepto e para os modelos não-lineares) e análise gráfica dos resíduos. Os ajustes foram efetuados no programa *Statística 5.0*.

2.4. Avaliação da redistribuição teórica dos diâmetros

A redistribuição teórica dos diâmetros foi avaliada através do desempenho dos sistemas de equações gerados, considerando-se os seguintes critérios: coeficiente de determinação ajustado (\bar{R}_y^2) (para os modelos lineares), coeficiente de correlação entre valores observados e estimados (R_{yy}) (para os modelos lineares sem intercepto e para os modelos não-lineares), análise gráfica dos resíduos e análise de compatibilidade. Realizou-se também um teste para verificar a identidade entre o sistema selecionado e os outros dois sistemas. As análises gráficas dos resíduos foram feitas considerando-se os parâmetros β_2 e γ_2 estimados pela função Weibull e aqueles estimados pelos sistemas de equações.

A distribuição diamétrica foi projetada a partir de uma distribuição em uma idade atual para uma idade futura, partindo-se sempre de uma distribuição inicial observada. O povoamento florestal antes do desbaste foi considerado independente do povoamento após o desbaste; assim, utilizou-se uma distribuição diamétrica inicial observada antes do primeiro desbaste e outra após este. Para os testes de compatibilidade e de identidade entre os sistemas foi empregada a média aritmética da distribuição observada em cada medição. As projeções foram realizadas a partir da média da distribuição observada na primeira medição antes do desbaste (27 meses) e após (61 meses).

O objetivo da análise de compatibilidade foi verificar a consistência dos sistemas de equações, ou seja, analisar se a distribuição diamétrica projetada do início para o final de um período de tempo era compatível com a distribuição diamétrica projetada ano a ano. Utilizou-se o teste Qui-Quadrado (χ^2) para testar as seguintes hipóteses:

H_0 : A distribuição diamétrica no final do período projetada de I_1 para I_2 , I_2 para I_3 , ..., I_{n-1} para I_n , é igual à distribuição diamétrica no final do período projetado de I_1 para I_n

H_a : não H_0 .

sendo:

I_1 a idade atual, em meses; I_2 a idade futura, em meses; e I_n a idade no final do período, em meses.

Para verificar a identidade entre os sistemas, utilizou-se o procedimento estatístico proposto por Leite e Oliveira (2002), sendo avaliadas as seguintes hipóteses:

H_0 : A projeção da distribuição diamétrica obtida pelo sistema i é igual à projeção obtida pelo sistema j , $i \neq j$ e H_a : não H_0 .

A projeção da distribuição diamétrica utilizada na análise de identidade foi feita ano a ano e do início para o final de um período de tempo.

2.5. Avaliação da predição da produção em volume

De posse da distribuição diamétrica observada, da distribuição diamétrica recuperada pelo sistema selecionado, da equação de altura total selecionada e de uma equação de múltiplos volumes, estimou-se a produção por classe de diâmetro.

Para analisar as estimativas da produção em volume total e por classe de diâmetro, em diferentes classes de idade, foram empregadas as estatísticas utilizadas por Murphy e Sternitzke (1979), Raiz Quadrada do Erro

Médio, $RQEM = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (\hat{V}_i - V_i)^2}$; Média das Diferenças,

$MD = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (\hat{V}_i - V_i)$; Média das Diferenças Porcentuais,

$MDP = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left(\frac{\hat{V}_i - V_i}{V_i} \right) 100$; sendo N o número de casos; \hat{V}_i o volume estimado; e V_i o volume observado.

Foi avaliada a produção em volume total e por classe de diâmetro até um diâmetro mínimo de 4 cm. As projeções foram feitas para todas as parcelas, em todas as medições, sendo as análises feitas antes e depois do desbaste, considerando-se diferentes distribuições diamétricas iniciais (distribuição observada).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Capacidade produtiva, altura total e volume por árvore

A classificação da capacidade produtiva foi feita pelo método da curva-guia, utilizando-se a equação: $\text{LnHd} = 3,523560 - 24,535140I^{-1}$, em que Hd é a média das alturas totais das árvores dominantes, em m; I a idade, em meses; e Ln o logaritmo neperiano, com idade-índice de 60 meses.

Para estimar a altura total por classe de diâmetro foram testados alguns modelos existentes na literatura que relacionam a altura total de cada árvore com variáveis da árvore e do povoamento. Esses modelos foram ajustados aos dados de 20 árvores (15 primeiras árvores

mais cinco árvores dominantes) por parcela em todas as medições, totalizando 400 dados para o ajuste. A equação selecionada foi: $Ht = -50,082731 - 0,053019(I) + 0,757315(S) + 8,514866\text{Ln}(I \text{ dap})$, $\bar{R}^2 = 0,972$.

Para a obtenção do volume real foram abatidas e cubadas 277 árvores-amostra, em diferentes classes de diâmetro, sendo em seguida ajustado o modelo múltiplo proposto por Leite et al. (1995):

$$\hat{V} = 0,000087 (\text{dap})^{0,551523} (Ht)^{0,125578} e^{-2,466217 \left(\frac{Tx}{\text{dap}} \right)} \left[1 - \left(\frac{d}{\text{dap}} \right)^{1+0,224175(d)} \right],$$

com $R_{\hat{V}} = 0,99$

em que:

Ht = altura total da árvore, em m; dap = diâmetro a 1,30 m de altura, em cm; S = índice de local, em m; V = volume comercial com e sem casca por árvore, em m^3 ; Tx = variável binária, sendo $Tx = 0$ para volume com casca e $Tx = 1$ para volume sem casca; d = diâmetro mínimo comercial; e demais variáveis e parâmetros, como definidos anteriormente.

3.2. Frequências diamétricas observada e estimada

A distribuição diamétrica estimada pela função Weibull para cada parcela, em todas as idades, foi comparada com a respectiva distribuição diamétrica observada. Os resultados de algumas parcelas (duas antes do desbaste e duas após o desbaste) selecionadas ao acaso são apresentados na Figura 1. Os resultados foram não-significativos, pelo teste de Kolmogorov-Smirnov, para a maioria das medições e remedições das parcelas.

3.3. Redistribuição teórica dos diâmetros por classe

Os sistemas selecionados, com as equações ajustadas e os respectivos coeficientes de determinação ajustados, ou de correlação, foram:

a) Sistema 1

$$dmin_2 = dmin_1 e^{(-0,030451) \left(I_2^{0,597373} - I_1^{0,597373} \right)} R_{yy} = 0,983$$

$$\text{Ln } \gamma_2 = 0,224294 + 0,032790 (dmin_2) + 0,730286 (\text{Ln } \gamma_1) \quad \bar{R}_{yy}^2 = 0,967$$

$$dmax_2 = dmax_1 \left(\frac{I_1}{I_2} \right) + 2,037145 \left(1 - \frac{I_1}{I_2} \right) \beta_1 \quad R_{yy} = 0,959$$

$$\beta_2 = 5,087504 - 0,002351 (N_2) + 0,265713 (dmax_2) + 0,512024 (\beta_1) \quad \bar{R}_{yy}^2 = 0,981$$

$$N_2 = N_1 e^{(-268,7353) \left(I_2^{0,000015} - I_1^{0,000015} \right)} \quad R_{yy} = 0,997$$

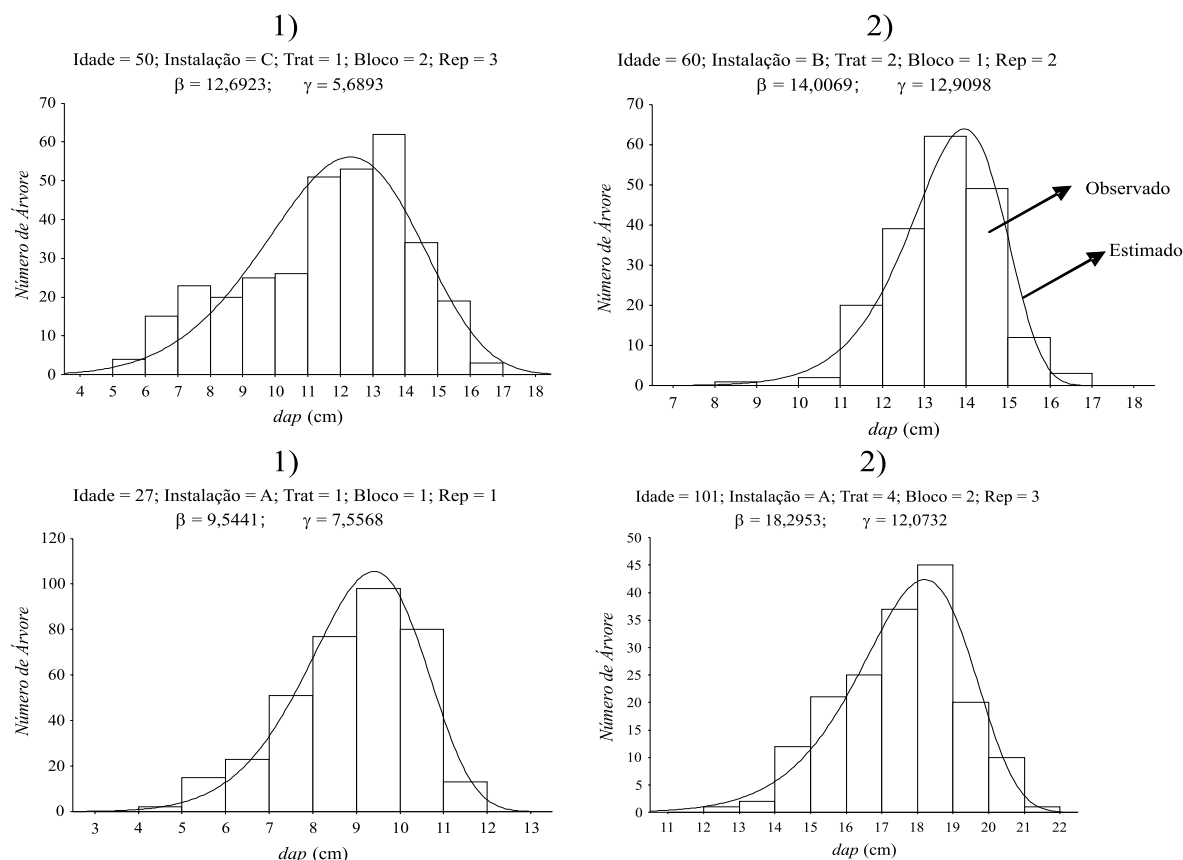


Figura 1 – Frequência observada e estimada, antes (1) e depois do desbaste (2).

Figure 1 – Observed and estimated frequency before (1) and after thinning (2).

b) Sistema 2

$$dmin_2 = dmin_1 e^{(-0,006786)(t_2^{0,862014} - t_1^{0,862014})} R_{yy} = 0,971$$

$$Ln \gamma_2 = Ln \gamma_1 e^{-(111,9299)(t_2^{0,001853} - t_1^{0,001853})} R_{yy} = 0,980$$

$$dmax_2 = dmax_1 \left(\frac{I_1}{I_2} \right) + 2,040634 \left(1 - \frac{I_1}{I_2} \right) \beta_1 R_{yy} = 0,958$$

$$\beta_2 = \beta_1 \left(\frac{I_1}{I_2} \right) + 1,042851 \left(1 - \frac{I_1}{I_2} \right) dmax_2 R_{yy} = 0,982$$

$$N_2 = N_1 e^{-(273,8150)(t_2^{0,000016} - t_1^{0,000016})} R_{yy} = 0,997$$

c) Sistema 3

$$dmin_2 = dmin_1 e^{(-0,006786)(t_2^{0,862014} - t_1^{0,862014})} R_{yy} = 0,971$$

$$Ln \gamma_2 = Ln \gamma_1 e^{-(111,9299)(t_2^{0,001853} - t_1^{0,001853})} R_{yy} = 0,980$$

$$dmax_2 = dmax_1 \left(\frac{I_1}{I_2} \right) + 2,040634 \left(1 - \frac{I_1}{I_2} \right) \beta_1 R_{yy} = 0,958$$

$$\beta_2 = 5,264817 - 0,002452(N_2) + 0,274110(dmax_2) + 0,493891(\beta_1) R_{yy} = 0,982$$

$$N_2 = N_1 e^{-(273,8150)(t_2^{0,000016} - t_1^{0,000016})} R_{yy} = 0,997$$

em que:

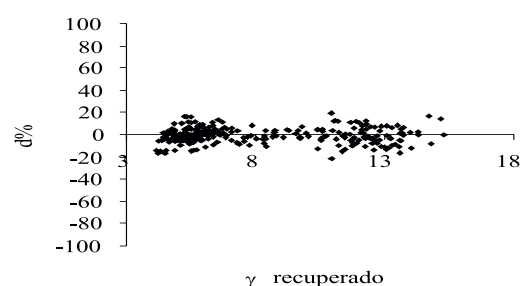
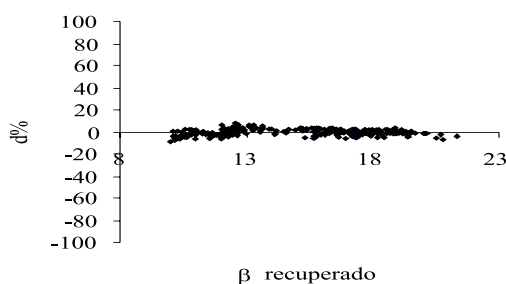
I_1 e I_2 são as idades atual e futura, respectivamente, em meses; γ_1 e γ_2 são os parâmetros de forma da função Weibull nas idades atual e futura; β_1 e β_2 são os parâmetros de escala da função Weibull nas idades atual e futura; $dmax_1$ e $dmax_2$ são os diâmetros máximos nas idades atual e futura, em cm; $dmin_1$ e $dmin_2$ são os diâmetros mínimos nas idades atual e futura, em cm; N_1 e N_2 são as frequências de árvores por ha nas idades atual e futura; e Ln indica o logaritmo neperiano.

Antes do desbaste aconteceu a mortalidade natural das árvores, portanto houve pequena diminuição no número de árvores ao longo dos anos, e após o desbaste não houve mortalidade, ou seja, $N_2 = N_1$. A sobrevivência (N_2), antes do desbaste, foi estimada pelo modelo proposto por Pienaar e Shiver (1981). A relação funcional desse modelo também foi utilizada para estimar γ_2 nos sistemas 2 e 3 e $dmin_2$ no sistema 1, sendo:

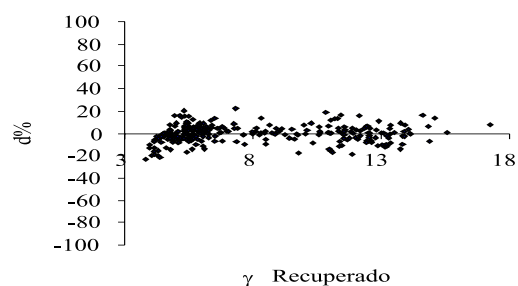
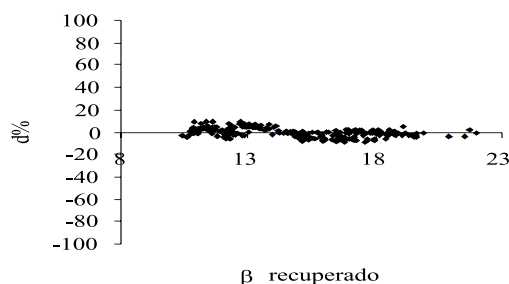
$$Y_2 = Y_1 e^{-\theta_1 (\theta_2^2 - t_1^{\theta_2})}, \varepsilon, \varepsilon \sim \text{NID}(0, \sigma^2), y = \gamma e y = N.$$

O teste t foi significativo em todos os parâmetros e em todas as equações dos três sistemas. Todas elas apresentaram valores relativamente altos de coeficientes de determinação ajustados ou de coeficientes de correlação, indicando que as variáveis independentes utilizadas nas equações têm grande influência nas variáveis dependentes. De acordo com a análise gráfica dos resíduos (Figuras 2), os três sistemas geram estimativas de β_2 e γ_2 precisas e consistentes. Verificou-se que praticamente não houve diferença no grau de ajustamento entre os três sistemas.

Sistema 1



Sistema 2



Sistema 3

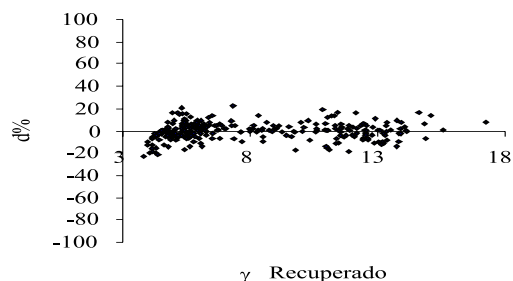
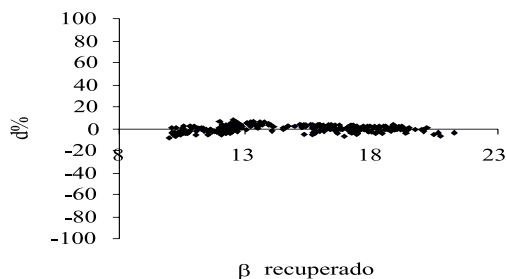


Figura 2 – Distribuição de resíduos para os modelos 1, 2 e 3.
Figure 2 – Distribution of residues for the models 1, 2 and 3.

3.4. Análise de compatibilidade e identidade entre os sistemas

O teste χ^2 foi aplicado antes e depois do primeiro desbaste, para avaliar a compatibilidade dos sistemas (Quadro 2). Apenas o sistema 2 foi não-significativo, antes do desbaste e após, ou seja, a hipótese de que a distribuição diamétrica no final do período, projetada de I_1 para I_2 , I_2 para I_3 , ..., I_{n-1} para I_n , é igual à distribuição diamétrica no final do período, projetada de I_1 para I_n , não foi rejeitada, em nível de 1% de probabilidade.

Outra característica importante relacionada com a consistência dos sistemas para predizer os parâmetros da função Weibull é que somente o sistema 2 garante a propriedade de que, quando a idade futura (I_2) for igual à idade atual (I_1), a distribuição diamétrica na idade futura é igual à distribuição diamétrica na idade atual. Assim, considerando $I_2 = I_1$ nas equações do sistema 2, tem-se: $dmax_2 = dmax_1$, $\beta_2 = \beta_1$, $\gamma_2 = \gamma_1$ e $N_2 = N_1$. Desse modo, selecionou-se o sistema 2 para predizer os parâmetros (β_2 e γ_2) da função Weibull em uma idade futura (I_2). Para verificar se a distribuição diamétrica projetada por esse sistema era igual à distribuição projetada pelo sistema j ($j=1$ ou 3), empregou-se o procedimento estatístico proposto por Leite e Oliveira (2002), em nível de 1% de probabilidade. O teste foi realizado considerando-se a distribuição diamétrica projetada ano a ano e do início para o final de um período de tempo (Quadro 3). A projeção foi realizada a partir da distribuição diamétrica média observada aos 27 meses (antes do primeiro desbaste) e aos 61 meses (após o primeiro desbaste). Na maioria das situações, as distribuições diamétricas foram estatisticamente iguais. Esse resultado, juntamente com os valores dos coeficientes de determinação ajustados e de correlação das equações dos sistemas 1 e 3, e com a precisão e consistência indicadas pelas análises gráficas dos resíduos, permite concluir que os sistemas 1 e 3 (ou alguns modelos desses sistemas) podem ser testados em outras análises e em outros povoamentos desbastados.

Quadro 2 – Teste Qui-quadrado (χ^2) aplicado para analisar a compatibilidade dos três modelos

Table 2 – *Qui-square test (χ^2), applied to analyze the compatibility of the three models*

Sistema	Antes do 1º Desbaste (27 para 58 meses)	Após o 1º Desbaste (61 para 112 meses)
1	**	**
2	ns	ns
3	**	**

** e ns denotam, respectivamente, significativo e não-significativo a 1% de probabilidade, pelo teste χ^2 .

Quadro 3 – Identidade entre os sistemas 1, 2 e 3 pelo teste de Leite e Oliveira (2002)

Table 3 – *Identity among the systems 1, 2 and 3 for the test of Leite and Oliveira (2002)*

Idade de projeção (meses)	Sistema 2 vs. Sistema 1	Sistema 2 vs. Sistema 3
27* para 40	=	≠
40 para 50	=	≠
50 para 58	=	=
61* para 76	=	=
76 para 87	=	=
87 para 101	=	=
101 para 112	=	=
27* para 58	≠	=
61* para 112	≠	=

* Valores observados.

3.5. Avaliação da predição da produção em volume

Esperava-se que, quanto menores os intervalos entre as idades de projeção, menores seriam as estatísticas de *RQEM*, *MD* e *MDP*. Ao comparar os valores das estatísticas da projeção de 27 para 58 meses com os valores obtidos da projeção de 40 para 58 meses (Quadro 4), verificou-se que essa expectativa não foi confirmada. Quando comparada com as projeções de 50 para 58 meses, observou-se ligeiro aumento nos valores dessas estatísticas. Isso pode ser explicado pelo decréscimo da precipitação nesse período (aos 58 meses), constatado na área de estudo, o que modificou a tendência de crescimento dos povoamentos. Após o desbaste, os valores das estatísticas se reduziram com a diminuição do intervalo entre as idades da distribuição diamétrica observada e a distribuição diamétrica projetada.

Antes e depois do primeiro desbaste (Quadros 5 e 6), os valores de *RQEM* foram maiores das menores para as maiores classes de diâmetros; nas últimas classes (classes maiores), os valores foram menores. Antes do desbaste (Quadro 5), os valores de *MD* indicaram subestimação das estimativas dos volumes nas menores classes de diâmetros e superestimação nas maiores classes; nas classes intermediárias ocorreu, primeiramente, uma superestimação e depois uma subestimação. Após o desbaste (Quadro 6), para as projeções de 61 para 112 meses e 76 para 112 meses, houve inversão nesse resultado, ou seja, superestimação nas menores classes de diâmetros e subestimação nas maiores. Para as projeções de 87 para 112 meses e 101 para 112 meses, houve superestimação nas classes extremas e subestimação nas intermediárias. De acordo

com outros resultados encontrados na literatura, essa alternância de subestimação e superestimação das estimativas de volumes nas diferentes classes de diâmetros pode ser considerada normal nesse tipo de modelo. Antes e depois do desbaste, os maiores valores de *MDP* foram obtidos nas maiores classes de diâmetro.

Em algumas parcelas, os valores de *MDP* são

relativamente altos nas classes de diâmetros superiores. Isso ocorre quando o número de árvores verificado nessas classes é pequeno. Como os valores observados entram no denominador na fórmula que calcula a diferença percentual (*DP*), o resultado é um valor alto dessa estatística. Menores valores de *MDP* foram verificados após o desbaste.

Quadro 4 – Estatísticas utilizadas para avaliar as diferenças entre produções totais observadas e estimadas antes e depois do desbaste*

Table 4 – Statistics used to evaluate the differences between observed and estimated total productions, before and after thinning*

Antes do 1º Desbaste																
Idade de Projeção (meses)	27** para 58				40** para 58				50** para 58							
	RQEM	MD	MDP	N	RQEM	MD	MDP	N	RQEM	MD	MDP	N				
40	5,46	2,48	2,90	41												
50	11,42	-5,83	-4,11	41	10,1	-8,2	-6,0	41								
58	18,21	11,3	8,51	41	13,9	10,2	7,5	41	17,0	16,6	11,7	41				
Após o 1º Desbaste																
Idade de Projeção (meses)	61* para 112				76* para 112				87* para 112				101* para 112			
	RQEM	MD	MDP	N	RQEM	MD	MDP	N	RQEM	MD	MDP	N	RQEM	MD	MDP	N
76	7,3	4,2	2,8	38												
87	19,4	-18,0	-10,3	38	20,1	-19,4	-10,9	38								
101	17,7	-14,2	-7,6	23	18,1	-16,9	-8,9	23	9,0	7,1	3,6	23				
112	23,1	-16,8	-7,9	23	23,1	-20,4	-9,5	23	11,7	4,9	2,3	23	5,8	-1,2	-0,6	23

* *RQEM* = raiz quadrada do erro médio, *MD* = média das diferenças e *MDP* = média das diferenças percentuais.

** Idade, em meses, da distribuição diamétrica observada e *N* = número de parcelas.

Quadro 5 – Estatísticas utilizadas para avaliar as diferenças entre produções observadas e estimadas por classe de diâmetro antes do desbaste*

Table 5 – Statistics used to evaluate the differences between observed and estimated productions per diameter class before thinning*

Idade de Projeção (meses)	dap (cm)	27 ^{1/}				40 ^{1/}				50 ^{1/}			
		<i>RQEM</i>	<i>MD</i>	<i>MDP</i>	<i>N</i> ^{2/}	<i>RQEM</i>	<i>MD</i>	<i>MDP</i>	<i>N</i> ^{2/}	<i>RQEM</i>	<i>MD</i>	<i>MDP</i>	<i>N</i> ^{2/}
40	4,5	0,0	0,0	25,4	12								
40	5,5	0,1	-0,1	-34,2	41								
40	6,5	0,3	-0,1	-6,1	41								
40	7,5	0,6	0,1	17,4	41								
40	8,5	1,1	0,5	20,6	41								
40	9,5	2,6	2,1	35,6	41								
40	10,5	2,6	0,5	5,1	41								
40	11,5	7,4	-6,5	-23,7	41								
40	12,5	8,8	-7,3	-24,9	41								
40	13,5	7,1	6,0	173,5	41								
40	14,5	5,8	5,1	589,9	32								
40	15,5	1,8	1,2	146,5	8								

Continua...
Continued...

Quadro 5 – Cont.
Table 5 – Cont.

Idade de Projeção (meses)	dap (cm)	27 ^{1/}				40 ^{1/}				50 ^{1/}			
		RQEM	MD	MDP	N ^{2/}	RQEM	MD	MDP	N ^{2/}	RQEM	MD	MDP	N ^{2/}
50	4,5	0,0	0,0	44,7	8	0,0	0,0	12,6	8				
50	5,5	0,1	-0,1	-39,2	41	0,1	-0,1	-41,0	41				
50	6,5	0,3	-0,2	-27,1	41	0,3	-0,2	-26,4	41				
50	7,5	0,6	-0,1	2,9	41	0,5	-0,1	4,2	41				
50	8,5	1,3	0,7	45,8	41	1,2	0,8	48,1	41				
50	9,5	3,5	3,2	103,0	41	3,7	3,4	108,3	41				
50	10,5	4,8	4,3	65,4	41	5,0	4,7	69,7	41				
50	11,5	5,5	4,7	39,4	41	5,7	5,2	42,5	41				
50	12,5	8,1	-6,7	-21,1	41	7,9	-6,5	-20,0	41				
50	13,5	14,8	-13,8	-36,0	41	15,0	-14,1	-36,7	41				
50	14,5	10,0	-7,2	-22,5	41	9,8	-8,0	-27,2	41				
50	15,5	7,3	3,3	187,3	41	5,5	2,3	148,8	41				
50	16,5	4,6	3,1	271,6	32	3,4	2,3	195,2	32				
50	17,5	2,9	1,3	127,9	10	2,8	1,2	110,9	10				
58	5,5	0,2	-0,1	-49,4	41	0,2	-0,1	-52,2	41	0,2	-0,1	-49,9	41
58	6,5	0,5	-0,4	-43,0	41	0,5	-0,4	-44,2	41	0,4	-0,4	-42,3	41
58	7,5	0,8	-0,5	-18,3	41	0,7	-0,5	-19,4	41	0,6	-0,4	-20,2	41
58	8,5	1,2	0,0	17,9	41	1,0	0,0	16,4	41	0,9	0,0	12,7	41
58	9,5	2,3	1,8	66,1	41	2,3	1,9	66,7	41	1,9	1,7	56,4	41
58	10,5	3,1	2,3	38,8	41	3,0	2,5	39,9	41	2,3	1,9	30,9	41
58	11,5	4,0	2,7	28,2	41	3,9	2,9	29,3	41	3,0	1,8	19,9	41
58	12,5	10,1	-8,4	-25,2	41	9,8	-8,1	-24,4	41	10,9	-9,5	-29,6	41
58	13,5	13,7	-12,7	-32,5	41	13,5	-12,5	-31,8	41	14,8	-13,8	-35,0	41
58	14,5	10,4	-4,4	-7,1	41	9,7	-4,4	-7,8	41	9,4	-4,6	-8,6	41
58	15,5	14,2	9,3	445,3	41	13,0	9,1	419,8	41	13,5	10,5	451,0	41
58	16,5	11,2	9,2	788,0	34	10,3	9,1	723,5	34	12,3	11,9	848,9	34
58	17,5	6,6	5,3	362,8	17	6,7	5,9	357,6	17	11,3	10,9	645,6	17

^{1/} Idade, em meses, da distribuição diamétrica inicial observada.

^{2/} Número de parcelas com volume observado nas classes de diâmetros indicadas.

* RQEM = raiz quadrada do erro médio, MD = média das diferenças e MDP = média das diferenças percentuais.

Quadro 6 – Estatísticas utilizadas para avaliar as diferenças entre produções observadas e estimadas por classe de diâmetro após o primeiro desbaste*

Table 6 – Statistics used to evaluate the differences between observed and estimated productions per diameter class, after the first thinning*

Idade de Projeção (meses)	dap (cm)	61 ^{1/}				76 ^{1/}				87 ^{1/}				101 ^{1/}			
		RQEM	MD	MDP	N ^{2/}	RQEM	MD	MDP	N ^{2/}	RQEM	MD	MDP	N ^{2/}	RQEM	MD	MDP	N ^{2/}
76	9,5	0,3	0,0	-6,6	25												
76	10,5	0,9	0,3	48,5	18												
76	11,5	1,3	0,5	63,8	27												
76	12,5	3,1	-1,1	8,2	37												
76	13,5	5,0	-3,3	-7,5	38												
76	14,5	8,0	-5,6	-17,8	38												
76	15,5	9,1	2,6	11,8	38												
76	16,5	8,9	2,0	16,1	38												
76	17,5	8,2	2,9	83,0	36												

Continua...

Continued...

Quadro 6 – Cont.
Table 6 – Cont.

Idade de Projeção (meses)	dap (cm)	61 ^{1/}				76 ^{1/}				87 ^{1/}				101 ^{1/}			
		RQEM	MD	MDP	N ^{2/}	RQEM	MD	MDP	N ^{2/}	RQEM	MD	MDP	N ^{2/}	RQEM	MD	MDP	N ^{2/}
76	18,5	8,6	3,3	56,0	24												
76	19,5	8,1	5,1	273,4	17												
87	9,5	0,3	0,0	-9,2	21	0,4	0,1	1,3	22								
87	10,5	0,7	0,3	61,0	12	0,8	0,5	84,5	12								
87	11,5	1,5	0,9	138,7	19	1,7	1,1	158,6	19								
87	12,5	2,3	1,5	124,2	31	2,6	1,7	125,9	31								
87	13,5	4,1	2,7	172,8	35	4,3	3,1	154,3	35								
87	14,5	6,5	5,3	103,8	38	6,9	5,7	91,0	38								
87	15,5	11,9	9,7	82,0	38	12,1	9,9	79,2	38								
87	16,5	10,3	4,0	23,8	38	10,9	3,7	22,6	38								
87	17,5	13,8	-6,8	-12,4	38	16,0	-7,1	-12,2	38								
87	18,5	20,1	-17,4	-47,6	38	20,3	-18,0	-49,5	38								
87	19,5	15,0	-11,0	-35,6	33	15,7	-12,8	-44,4	34								
87	20,5	11,8	-8,2	-47,0	18	12,8	-10,0	-53,9	17								
87	21,5	4,5	0,0	18,7	18	5,3	0,2	40,4	15								
101	9,5	0,3	0,0	-20,1	15	0,3	0,0	-4,5	15	0,3	0,0	-5,9	14				
101	10,5	0,6	0,1	47,3	10	0,7	0,3	69,4	10	0,4	0,1	27,2	10				
101	11,5	1,1	0,5	75,2	10	1,2	0,8	91,2	10	0,9	0,3	36,7	10				
101	12,5	1,6	0,9	110,1	19	1,8	1,3	110,0	19	1,3	0,2	24,6	19				
101	13,5	3,2	1,4	145,5	21	3,2	1,9	140,2	21	2,5	-0,6	23,7	21				
101	14,5	4,6	2,8	93,6	23	4,7	3,6	91,3	23	3,5	-1,5	-1,7	23				
101	15,5	9,1	7,4	102,6	23	10,2	8,3	96,4	23	4,2	-0,4	10,8	23				
101	16,5	9,2	5,6	31,0	23	9,6	6,1	32,0	23	6,8	-4,7	-15,4	23				
101	17,5	9,8	0,1	7,6	23	11,2	-0,6	6,3	23	10,7	-6,1	-12,2	23				
101	18,5	15,1	-12,3	-24,2	23	17,9	-14,0	-28,1	23	10,0	-5,1	-8,8	23				
101	19,5	14,7	-8,7	-19,2	23	13,7	-10,6	-33,0	23	12,9	10,5	56,3	23				
101	20,5	14,3	-8,9	-42,1	21	14,7	-10,0	-62,1	21	11,0	8,6	119,5	21				
101	21,5	5,2	-2,9	-27,0	12	4,7	-1,2	2,9	7	6,2	1,8	92,2	28				
112	10,5	0,4	0,1	5,1	21	0,5	0,2	24,9	21	0,4	0,1	13,7	20	0,3	0,1	6,9	21
112	11,5	1,0	0,1	54,6	10	1,0	0,4	72,4	10	1,0	0,0	28,1	10	0,9	0,1	46,9	10
112	12,5	1,6	0,6	90,7	17	1,8	0,9	104,8	17	1,5	0,2	31,9	17	1,5	0,4	48,8	17
112	13,5	2,3	0,7	60,6	16	2,3	1,3	63,5	16	2,1	-0,6	-0,7	16	1,9	0,0	14,5	16
112	14,5	3,9	2,3	114,4	22	3,9	3,0	110,1	22	2,8	-0,6	18,6	22	2,4	0,2	28,1	22
112	15,5	7,3	5,8	109,1	23	8,2	6,8	106,4	23	3,8	0,4	24,1	23	4,2	1,7	35,3	23
112	16,5	10,4	7,0	76,4	23	11,0	8,1	74,7	23	6,1	-1,4	6,3	23	5,8	0,6	15,5	23
112	17,5	10,4	3,7	23,3	23	10,7	4,1	24,4	23	9,2	-5,4	-11,8	23	7,9	-3,3	-6,4	23
112	18,5	13,5	-5,9	-5,0	23	15,5	-7,0	-6,5	23	14,7	-9,2	-14,9	23	13,0	-8,3	-13,8	23
112	19,5	10,3	-5,2	-9,9	23	12,6	-7,5	-17,1	23	9,1	4,1	14,4	23	8,9	2,0	7,9	23
112	20,5	16,3	-10,3	-19,0	22	15,8	-12,7	-43,8	22	12,1	8,5	66,8	22	8,1	3,5	25,3	22
112	21,5	17,0	-10,3	-21,9	20	17,3	-11,8	-50,7	20	11,9	6,1	130,1	20	5,9	1,9	44,3	20
112	22,5	8,1	-3,9	-7,2	13	10,6	-5,2	-6,2	11	8,4	-0,9	58,2	32	7,1	-2,0	8,9	31

^{1/} Idade, em meses, da distribuição diamétrica inicial observada.

^{2/} Número de parcelas com volume observado nas classes de diâmetros indicadas.

* RQEM = raiz quadrada do erro médio, MD = média das diferenças e MDP = média das diferenças percentuais.

4. CONCLUSÕES

Com base nos resultados e com referência ao sistema de equações selecionado, o modelo desenvolvido neste estudo é consistente e compatível, sendo indicado para uso em manejo de florestas de eucalipto submetidas a desbaste.

Distribuições diamétricas futuras devem ser

projetadas em função de distribuições observadas em uma idade atual.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BAILEY, R. L. Individual tree growth derived from diameter distribution models. **Forest Science**, v. 26, n. 4, p. 626-632, 1980.

- BUCKMAN, R. E. **Growth and yield of red pine in Minnesota**. Washington, D.C: USDA, 1962. 50 p. (Technical Bulletin, 1272).
- BURKHART, H. E.; CAO, Q. V.; WARE, K. D. **A comparison of growth and yield prediction models for loblolly pine**. Blacksburg: Virginia Polytechnic Institute and State University, School of Forestry and Wildlife Resources, 1981. 59 p. (Publ., FWS-2).
- CAMPOS, J. C. C.; CAMPOS, A. L. A. S.; LEITE, H. G. Decisão silvicultural empregando um sistema de predição do crescimento e da produção. **Revista Árvore**, v. 12, n.2, p. 100-110, 1988.
- CAMPOS, J. C. C.; TURNBULL, K. J. Um sistema para estimar produção por classe de diâmetro e sua aplicação na interpretação do efeito de desbaste. **Revista Árvore**, v. 5, n. 1, p. 1-16, 1981.
- CLUTTER, J. L. Compatible growth and yield models for loblolly pine. **Forest Science**, v.9, n.3, p.354-371, 1963.
- CLUTTER, J. L.; JONES, E. P. **Prediction of growth after thinning in old-field slash pine plantations**. Asheville: USDA, 1980. 14 p. (Research Paper, SE-217).
- DIAS, A. N. **Modelagem e avaliação econômica de plantações de eucalipto submetidas a desbastes**. 2000. 82 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2000.
- GUIMARÃES, D. P. **Desenvolvimento de um modelo de distribuição diamétrica de passo invariante para prognose e projeção da estrutura de povoamentos de eucalipto**. 1994. 178 f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1994.
- KNOEBELL, B. R.; BURKHART, H. E.; BECK, D. E. A growth and yield model for thinned stands of yellow-poplar. **Forest Science**, v. 32, n. 2, p.62, 1986.
- LEITE, H. G.; GUIMARÃES, D. P.; CAMPOS, J. C. C. Descrição e emprego de um modelo para estimar múltiplos volumes de árvores. **Revista Árvore**, v. 19, n.1, p. 65-79, 1995.
- LEITE, H. G.; OLIVEIRA, F. L. T. Statistical procedure to test the identity of analytical methods. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v.33, issue 7 e 8, 2002.
- LEVELS-OF-GROWING-STOCK cooperative study in Douglas-fir. Victoria, BC: Natural Resources Canada; Canadian Forest Service e Pacific Forestry, 2002. p. 4. (Information Forestry).
- MURPHY, P. A.; STERNITZKE, H. S. **Growth and yield estimation for loblolly pine in the West Gulf**. New Orleans: USDA, 1979. 8 p. (Research Paper, SO-154).
- NOGUEIRA, G.S. et al. determinação da idade técnica de desbaste em plantações de eucalipto utilizando o método dos ingressos percentuais. **Scientia Forestalis**, n. 59, p.51-59, 2001.
- PIENAAR, L. V. An approximation of basal area growth after thinning based on growth in unthinned plantations. **Forest Science**, v. 25, n. 2, p. 223-232, 1979.
- PIENAAR, L. V.; SHIVER, B. D. Survival functions for site prepared slash pine plantations in the flat woods of Georgia Northern Florida. **Southern Journal Forestry**, v. 5, n.2, p.59-62, 1981.
- PIENAAR, L. V.; SHIVER, B. D. An analysis and models of basal area growth in 45-year-old unthinned and thinned slash pine plantation plots. **Forest Science**, v. 30, n. 4, p. 933-942, 1984.
- SILVA, A. A. L. **Emprego de modelos de crescimento e produção em análise econômica de decisões de manejo florestal**. 2001. 79 f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2001.