

TENDÊNCIA DE CRESCIMENTO DE POVOAMENTO DE EUCALIPTO APÓS APLICAÇÃO DE DESBASTE¹

Eric Bastos Gorgens², Helio Garcia Leite³, Gilciano Saraiva Nogueira⁴ e Andrea Nogueira Dias⁵

RESUMO – O modelo de Clutter (1963) é amplamente utilizado na predição do crescimento e produção de florestas plantadas no Brasil, especialmente eucalipto. Não obstante, esse modelo também é empregado em povoamentos submetidos a desbaste. A principal crítica enfrentada nesta última abordagem é a falta de flexibilidade. Os dados foram obtidos de um experimento de desbaste realizado em povoamentos de *E. grandis* x *E. urophylla*, no Norte da Bahia, em que se aplicaram desbastes de 20, 35 e 50% da área basal, eliminando-se as piores árvores. Utilizando os dados experimentais, buscou-se avaliar a proposta de modificação do modelo de Piennar e Shiver (1986), visando obter mais flexibilidade para captar tendências pré e pós-desbastes. Também, foi analisado o comportamento do modelo de Clutter (1963) na modelagem de povoamentos de eucalipto submetidos a desbaste no Norte da Bahia. A partir dos resultados, concluiu-se que o modelo proposto apresentou características estatísticas semelhantes ao modelo de Clutter, sem acrescentar a este maior flexibilidade. Além disso, observou-se que o modelo de Clutter, mesmo não diferenciando tendências de crescimento, pode ser usado sem prejuízo para simulação de desbaste.

Palavra-chave: Modelagem de crescimento e produção e desbaste.

YIELD TREND IN THINNED STANDS OF EUCALYPTUS

ABSTRACT – Although the Clutter's model (1963) is widely used for predicting growth and yield in Brazil, it has also been used in the modeling of thinned stands. The most important criticism of this last approach is the incapacity to differentiate trends before and after thinning. The data came from an experimental thinning design in a stand of *E. grandis* x *E. urophylla*, in Northern Bahia. The treatments were thinning 20%, 35% and 50% of the basal area. Using these experimental data, the modified Piennar e Shiver's Model (1986) was tested, seeking more flexibility. Another objective was to make the use of Clutter's Model available to identify different growth trends. The considered modified model showed statistical characteristics similar to the Clutter's Model (1963), without adding to this more flexibility. It was also found that the Clutter's Model can be used to thinning simulation, even if not suitable for differentiating growth trends

Keywords: Growth and yield modeling and thinning.

¹ Recebido em 28.04.2006 e aceito para publicação em 27.04.2007.

² Votorantim Metais - Unidade Aço Florestal. E-mail: <ericgorgens@hotmail.com>; <e.gorgens@gmail.com>.

³ Departamento de Engenharia Florestal da Universidade Federal de Viçosa. E-mail: <hggleite@ufv.br>.

⁴ Faculdade de Ciências Agrárias da Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri. E-mail: <nogueirags@yahoo.com.br>.

⁵ Departamento de Engenharia Florestal da Universidade Estadual do Centro-Oeste. E-mail: <andias@irati.unicentro.br>.

1. INTRODUÇÃO

O gerenciamento florestal é baseado nos seguintes elementos: a classificação de terras, a prescrição e a predição do crescimento e da produção a partir da modelagem (CAMPOS e LEITE, 2006).

Existem diversos tipos de modelos capazes de prever o crescimento e a produção, como os ecofisiológicos, os modelos de árvores individuais e de distribuição diamétrica e os modelos em nível de povoamento, entre outros. Estes últimos são os mais estudados e empregados no gerenciamento florestal no Brasil.

É desejável que os modelos apresentem três características básicas: compatibilidade, consistência e flexibilidade. De modo geral, os modelos mais utilizados em nível de povoamento satisfazem os quesitos básicos citados. A compatibilidade é atendida quando a integral da função de crescimento fornece a estimativa da produção e a derivada da função de produção resulta no crescimento em dado intervalo de tempo (DAVIS, 1996).

Ser consistente indica que, quando a idade futura for igual à idade atual, a área basal futura também será igual à área basal presente.

Por fim, a flexibilidade é dada quando o modelo permite estimar adequadamente a variável de interesse, após a aplicação de uma prescrição, a exemplo, do desbaste.

Dentre os modelos em nível de povoamento, o modelo de Clutter (CLUTTER, 1963) é largamente utilizado na ciência florestal, e suas qualidades são amplamente estudadas e discutidas na literatura florestal. No entanto, este não apresenta capacidade de representar tendências diferentes pós-desbaste, quando utilizado da maneira tradicional. O desbaste aplicado na época e na intensidade adequada pode ocasionar alteração na tendência de crescimento pós-desbaste, em comparação com a tendência pré-desbaste. Por exemplo, uma intervenção mal executada pode comprometer a produção futura, levando, inclusive, à perda de produtividade (CAMPOS e LEITE, 2006).

Piennar e Shiver prepuseram, em 1986, um modelo que capaz de identificar diferentes tendências no pré e pós-desbastes. No entanto, o modelo foi desenvolvido para a realidade de florestas de clima temperado, marcada especialmente por rotações longas, com a presença de uma mortalidade significativa.

Neste trabalho, buscou-se sugerir um modelo de crescimento e produção mais flexível, baseado nos estudos de Piennar e Shiver, além de analisar o comportamento e a eficiência do modelo de Clutter para simular desbaste.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Os dados deste estudo foram obtidos de um experimento realizado no norte da Bahia, em povoamentos da empresa Bahia Pulp. O material genético era formado por *E. grandis* x *E. urophylla*, em espaçamento inicial de 3x3 m.

O experimento foi instalado em três localidades de modo seletivo, onde em cada uma delas dois blocos foram lançados com duas repetições de cada tratamento por bloco. O monitoramento deu-se através de parcelas permanentes, totalizando 48, de 2.600 m² cada, sendo o monitoramento iniciado aos 27 meses.

Os três tratamentos foram desbastes de 20%, 35% e 50% da área basal, eliminando-se os piores indivíduos. As intervenções ocorreram aos 58 meses de idade, em todos os tratamentos.

O estudo foi dividido em quatro partes, em que a primeira parte consistiu na modificação do modelo de Piennar e Shiver (1986) para adaptá-lo às condições tropicais. Em seguida, este foi ajustado aos dados experimentais obtidos nos povoamentos de eucalipto no sul da Bahia, sendo denominado "modelo modificado". O modelo original de Piennar e Shiver pode ser visto na equação 1.

$$\begin{aligned} \ln V_2 &= \beta_1 + \beta_2 I_2^{-1} + \beta_3 S_1 + \beta_4 \ln B_2 + u \\ \ln B_2 &= \ln B_1 + \beta_1 (I_2 - I_1) + \beta_2 \left(1 - \frac{I_1}{I_2}\right) + \beta_3 (I_2^{-2} - I_1^{-1} I_2^{-1}) + \Phi + u \quad (1) \\ \Phi &= \beta_4 \ln N_1 (I_2^{-1} - I_1^{-1}) + \beta_5 \ln H d_1 (I_2^{-1} - I_1^{-1}) + \beta_6 \left(\frac{N_d I_d}{N_r I_2} - \frac{N_d I_d}{N_r I_1}\right) \\ N_2 &= N_1 e^{-\beta_1 (I_2^{\beta_2} - I_1^{\beta_2})} \end{aligned}$$

em que:

V_2 = o volume com casca em m³ por hectare;

I_1 e I_2 = idades sequenciais em meses;

S_1 = o índice de local;

N_1 e N_2 = a número de árvores em tempos sequenciais, medidos em árvores por hectare;

B_1 e B_2 = a área basal em tempos seqüenciais, em m^2 por hectare;

β_i = coeficientes do modelo;

\ln = logaritmo neperiano;

I_d = a idade de ocorrência do desbaste, em meses;

N_d = número de árvores desbastadas em árvores por hectare;

N_r = a número de árvores remanescentes em árvores por hectare;

Hd = a altura dominante em metros; e

u = é o erro aleatório $NID(0, \sigma)$.

Na segunda parte do estudo, os dados foram divididos em pré e pós-desbastes, e ajustou-se o modelo de Clutter para cada um dos conjuntos obtidos. Para construir curvas a partir dessas equações, foi seguida a regra: em idades anteriores ao desbaste, utilizou-se o modelo ajustado para os dados pré-desbaste, enquanto para idades posteriores ao desbaste foi utilizado o modelo ajustado para aos dados do pós-desbaste. A isso se denomina Pré/Pós.

Segue abaixo o modelo de Clutter (2).

$$\ln V_2 = \beta_0 + \beta_1 I_2^{-1} + \beta_2 S_1 + \beta_3 \ln B_2 + \varepsilon \quad (2)$$

$$\ln B_2 = \ln B_1 \left(\frac{I_1}{I_2} \right) + \alpha_1 \left(1 - \frac{I_1}{I_2} \right) + \alpha_2 \left(1 - \frac{I_1}{I_2} \right) S_1 + \varepsilon$$

em que:

V_2 = o volume com casca em m^3 por hectare;

I_1 e I_2 = idades seqüenciais em meses;

S_1 = o índice de local;

B_1 e B_2 = a área basal em tempos seqüenciais em m^2 por hectare;

β_i com i variando de 0 a 3 = coeficientes do modelo volumétrico;

α_i com i variando de 1 a 3 = coeficientes do modelo de área basal;

\ln = logaritmo neperiano; e

ε = o erro aleatório $NID(0, \sigma)$.

Na terceira parte, os dados foram divididos de acordo com os tratamentos aplicados (20%, 35% e 50% de desbaste em área basal). Da mesma forma que na segunda parte, ajustou-se o modelo de Clutter para cada um dos estratos, então denominados Clutter 20, Clutter 35 e Clutter 50, respectivamente.

Por fim, na quarta parte do estudo o modelo de Clutter foi ajustado para todos os dados, sendo denominado "Clutter Geral".

De posse das equações ajustadas, comparou-se o modelo proposto com o Clutter Geral, para verificar se houve ganho de flexibilidade por parte do modelo de Piennar e Shiver modificado. Comparou-se também Clutter Geral com os modelos obtidos para a estratificação por tratamentos e para a estratificação Pré/Pós, visando verificar o comportamento e a eficiência do modelo.

As comparações foram realizadas através do teste de Qui-Quadrado, sempre utilizando valores intermediários e extremos para as variáveis dos modelos, assumindo-se o nível de significância de 5% para as análises estatísticas.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Piennar e Shiver (1986) utilizaram, durante o desenvolvimento do modelo, uma função para modelar a sobrevivência de árvores. No entanto, para os trópicos tal função é desnecessária, uma vez que o número de árvores permaneceu constante ao longo do tempo, como observado na Figura 1. Isso se deve, basicamente, às curtas rotações (cerca de 7 anos), nas quais é pouco provável que a competição entre árvores resulte em mortalidade. Além disso, submeter os povoamentos ao desbaste visa justamente antecipar a mortalidade.

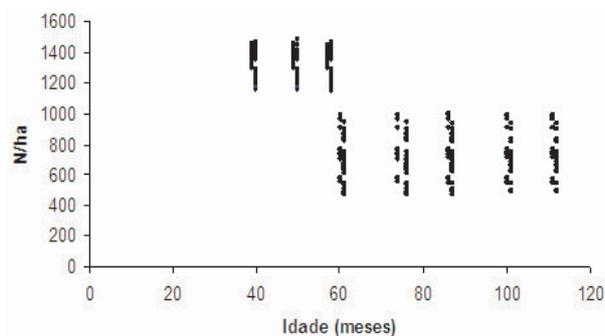


Figura 1 – O número de árvores ao longo do tempo permanece constante.

Figure 1 – Number of trees over the time was kept constant.

Outro ponto que deve ser observado no desenvolvimento da proposta de Piennar e Shiver (1986) é a existência de um modelo para estimar a altura dominante futura em função da altura dominante atual e da idade. Sugere-se substituir tal variável pelo índice de local, já que ambas representam características semelhantes, e esta última representa, de forma mais coerente, a capacidade produtiva.

Por conceito, o índice de local é a altura dominante na idade índice, que é determinada pelo manejador, geralmente próximo à idade de colheita. Logo, o índice de local já aborda a variação da altura dominante, dispensando a utilização de modelos para prevêê-la.

Por fim, sugeriu-se a substituição da variável número de árvores pela variável área basal, no modelo de Piennar e Shiver (1986), já que esta expressa, de maneira mais biológica, as conseqüências das prescrições silviculturais, a exemplo do desbaste.

A partir das discussões anteriores, sugeriu-se mesclar o modelo de Clutter (1963) com o de Piennar e Shiver (1986), como pode ser visto no modelo 3.

$$\begin{aligned} \ln V_2 &= \beta_0 + \beta_1 I_2^{-1} + \beta_2 S_1 + \beta_3 \ln B_2 + \varepsilon \\ \ln B_2 &= \ln B_1 \left(\frac{I_1}{I_2} \right) + \alpha_1 \left(1 - \frac{I_1}{I_2} \right) + \alpha_2 \left(1 - \frac{I_1}{I_2} \right) S_1 + \\ &+ \alpha_3 \left(\frac{B_d I_d}{B_r I_2} - \frac{B_d I_d}{B_r I_1} \right) + \varepsilon \end{aligned} \quad (3)$$

em que:

V_2 = o volume com casca em m^3 ;

I_1 e I_2 = idades seqüenciais;

S_1 = índice de local;

B_1 e B_2 = área basal em tempos seqüenciais;

β_i com i variando de 0 a 3 = coeficientes do modelo volumétrico;

I_d = idade de ocorrência do desbaste;

B_d = área basal desbastada;

B_r = área basal remanescente;

α_i com i variando de 1 a 3 = coeficientes do modelo de área basal;

\ln = logaritmo neperiano;

ε = erro aleatório NID(0, σ).

Os ajustes dos modelos foram realizados no software *Eviews 2.0*. É importante ressaltar que o coeficiente associado ao termo “ $(1-I_1/I_2)*S$ ” da equação de área basal foi negativo em todos os ajustes. Isso se deve à pequena variação apresentada pela capacidade produtiva nos dados do experimento. Assim, eliminou-se esse termo e reajustaram-se os modelos.

Entre parênteses, imediatamente abaixo de cada coeficiente encontra-se o erro-padrão. Verificou-se que todos os parâmetros foram significativos a 5% de significância.

Modelo de Clutter para todos os dados:

$$\begin{aligned} \ln V_2 &= 2,182370 - 26,73099 * I_2^{-1} + 0,025682 * S_1 + \\ &\quad (0,067071) \quad (0,593596) \quad (0,002290) \\ &+ 0,973624 * \ln B_2 \quad (\bar{r}^2 = 0,9724) \\ &\quad (0,014590) \end{aligned}$$

$$\ln B_2 = \ln B_1 \left(\frac{I_1}{I_2} \right) + 3,380641 * \left(1 - \frac{I_1}{I_2} \right) \quad (\bar{r}^2 = 0,8872) \\ (0,021211)$$

Modelo de Clutter para dados de pré-desbaste:

$$\begin{aligned} \ln V_2 &= 2,185064 - 29,00424 * I_2^{-1} + 0,017951 * S_1 + \\ &\quad (0,237990) \quad (2,653903) \quad (0,003574) \\ &+ 1,057366 * \ln B_2 \quad (\bar{r}^2 = 0,9670) \\ &\quad (0,064640) \end{aligned}$$

$$\ln B_2 = \ln B_1 \left(\frac{I_1}{I_2} \right) + 3,311942 * \left(1 - \frac{I_1}{I_2} \right) \quad (\bar{r}^2 = 0,7069) \\ (0,027138)$$

Modelo de Clutter para dados de pós-desbaste:

$$\begin{aligned} \ln V_2 &= 1,844325 - 15,93527 * I_2^{-1} + 0,024917 * S_1 + \\ &\quad (0,128269) \quad (3,528171) \quad (0,003213) \\ &+ 1,056933 * \ln B_2 \quad (\bar{r}^2 = 0,9603) \\ &\quad (0,028654) \end{aligned}$$

$$\ln B_2 = \ln B_1 \left(\frac{I_1}{I_2} \right) + 3,541925 * \left(1 - \frac{I_1}{I_2} \right) \quad (\bar{r}^2 = 0,8709) \\ (0,038926)$$

Modelo de Clutter para dados submetidos a 20% de desbaste:

$$\begin{aligned} \ln V_2 &= 2,282716 - 27,81762 * I_2^{-1} + 0,025050 * S_1 + \\ &\quad (0,215836) \quad (2,092098) \quad (0,004792) \\ &+ 0,948257 * \ln B_2 \quad (\bar{r}^2 = 0,9708) \\ &\quad (0,058997) \end{aligned}$$

$$\ln B_2 = \ln B_1 \left(\frac{I_1}{I_2} \right) + 3,388222 * \left(1 - \frac{I_1}{I_2} \right) \quad (\bar{r}^2 = 0,8499) \\ (0,043581)$$

Modelo de Clutter para dados submetidos a 35% de desbaste:

$$\begin{aligned} \ln V_2 = & 2,174966 - 27,12829 * I_2^{-1} + 0,027990 * S_1 + \\ & \text{(0,105565)} \quad \text{(0,895877)} \quad \text{(0,003210)} \\ & + 0,959914 * \ln B_2 \quad (\bar{r}^2 = 0,9691) \\ & \text{(0,025579)} \end{aligned}$$

$$\ln B_2 = \ln B_1 \left(\frac{I_1}{I_2} \right) + 3,376012 * \left(1 - \frac{I_1}{I_2} \right) \quad (\bar{r}^2 = 0,8529)$$

Modelo de Clutter para dados submetidos a 50% de desbaste:

$$\begin{aligned} \ln V_2 = & 2,252814 - 26,08481 * I_2^{-1} + 0,020930 * S_1 + \\ & \text{(0,121232)} \quad \text{(1,052194)} \quad \text{(0,004766)} \\ & + 0,982899 * \ln B_2 \quad (\bar{r}^2 = 0,9708) \\ & \text{(0,023302)} \end{aligned}$$

$$\ln B_2 = \ln B_1 \left(\frac{I_1}{I_2} \right) + 3,382292 * \left(1 - \frac{I_1}{I_2} \right) \quad (\bar{r}^2 = 0,9105)$$

Modelo proposto:

$$\begin{aligned} \ln V_2 = & 2,172193 - 26,66979 * I_2^{-1} + 0,025688 * S_1 + \\ & \text{(0,066656)} \quad \text{(0,591153)} \quad \text{(0,002284)} \\ & + 0,977045 * \ln B_2 \quad (\bar{r}^2 = 0,9726) \\ & \text{(0,014422)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \ln B_2 = & \ln B_1 \left(\frac{I_1}{I_2} \right) + 3,361732 * \left(1 - \frac{I_1}{I_2} \right) - 0,071770 * \\ & \text{(0,024959)} \quad \text{(0,050127)} \\ & * \left(\frac{B_d I_d}{B_r I_2} - \frac{B_d I_d}{B_r I_1} \right) \quad (\bar{r}^2 = 0,8876) \end{aligned}$$

As curvas obtidas através dos modelos ajustados podem ser analisadas nas Figuras 2 a 4. Nota-se que as curvas representam bem a nuvem de pontos observados, não existindo, assim, erro de tendência durante a estimação das variáveis dependentes pelas equações.

Através do teste de Qui-quadrado, observou-se que não houve diferença significativa entre as curvas de produção (Figuras 5 e 6). Tais curvas foram obtidas através da aplicação dos valores médios reais.

Na Figura 6 fica evidenciado que não há diferença entre as curvas dos diferentes modelos em cada tratamento. Confirmando a pressuposição teórica de que a intensidade de desbaste não influencia a produção líquida final e sim a qualidade final da madeira, como pode ser visto na Figuras 7ab, pode-se verificar a eliminação das árvores piores e manutenção daquelas que apresentam bom desempenho no crescimento.

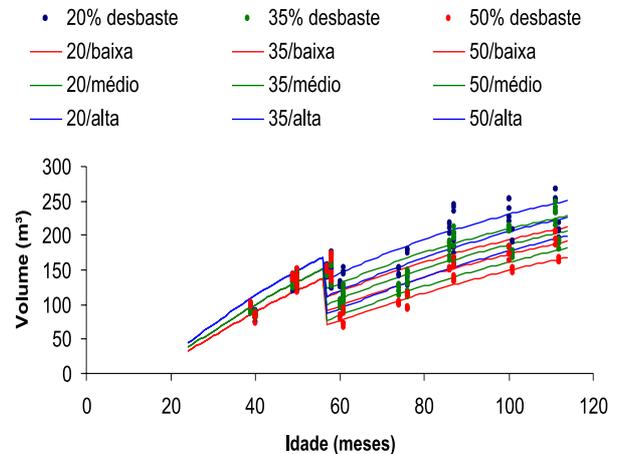


Figura 2 – Projeção volumétrica do modelo de Clutter, considerando-se todos os dados representativos das diferentes intensidades de desbaste (20, 35 e 50%) para capacidades produtivas alta, média e baixa, em comparação com os dados referentes a cada tratamento (20, 35 e 50% de desbaste).

Figure 2 – Yield projection of the Clutter model for complete data, in different thinned intensities (20, 35 e 50%) for high, medium or low site capacity.

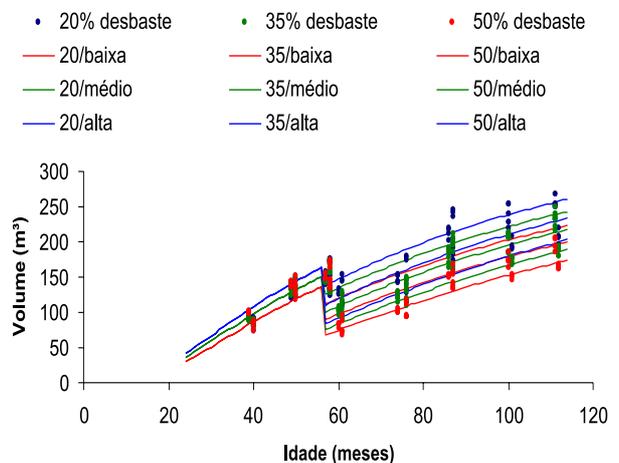


Figura 3 – Projeção volumétrica do modelo de Clutter, considerando-se dados pré e pós-desbaste isolados representativos das diferentes intensidades de desbaste (20, 35 e 50%) para capacidades produtivas alta, média e baixa, em comparação com os dados referentes a cada tratamento (20, 35 e 50% de desbaste).

Figure 3 – Yield projection of the Clutter model for pre and post-thinning data, in different thinned intensity (20, 35 e 50%) for high, medium or low site capacity.

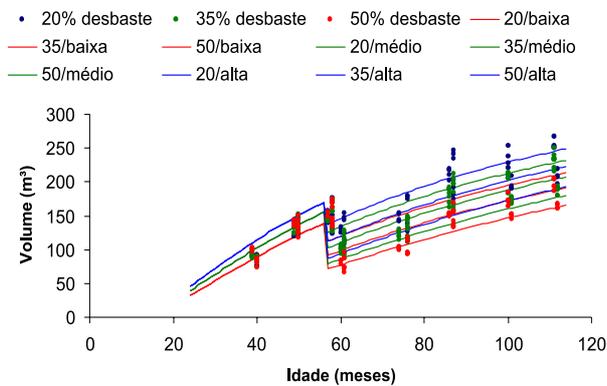


Figura 4 – Projeção volumétrica do modelo proposto para todos os dados, representando diferentes intensidades de desbaste (20, 35 e 50%) para *sites* bom, médio e ruim, em comparação com os dados referentes a cada tratamento (20, 35 e 50% de desbaste).

Figure 4 – Yield projection of the proposed model for complete data, in different thinned intensities (20, 35 e 50%) for high, medium or low site capacity.

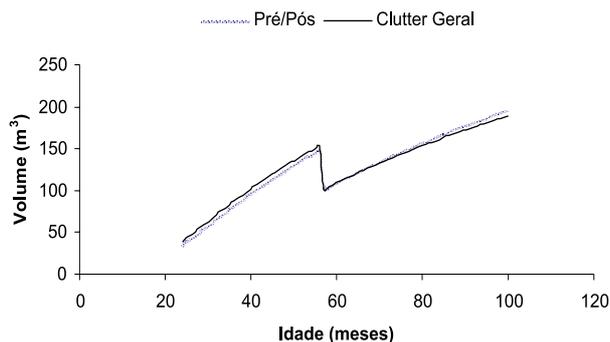


Figura 5 – Projeção da produção representando uma situação.

Figure 5 – Yield projections for an average condition.

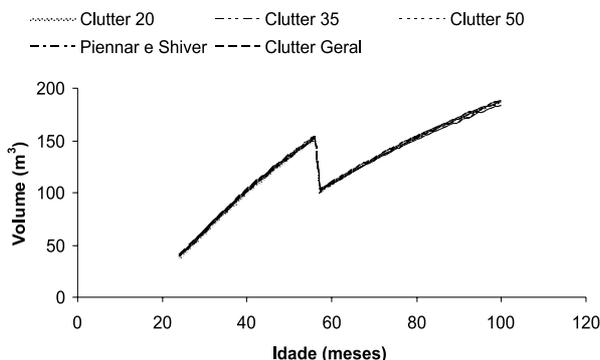


Figura 6 – Projeção da produção representando uma situação média.

Figure 6 – Yield projections for an average condition.

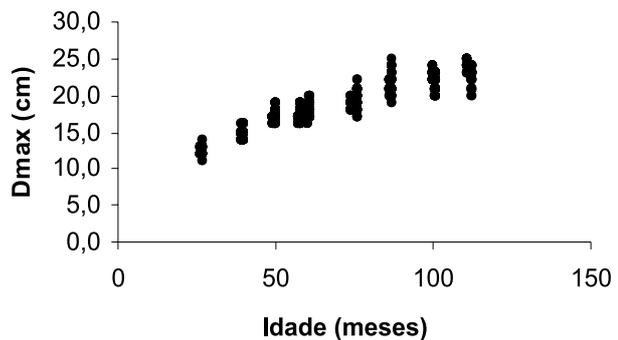
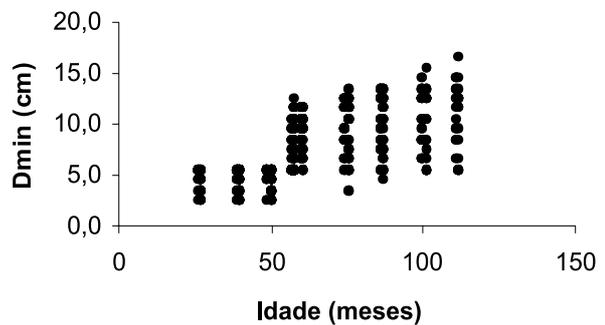


Figura 7 – Aumento do diâmetro mínimo (D_{min}), proporcionado pelo desbaste realizado a 57 meses e a manutenção do desenvolvimento do diâmetro máximo (D_{max}) ao longo do tempo.

Figure 7 – Increase in the minimum diameter resulted from thinning 57 months before and the maintenance of maximum diameter development over the time.

4. CONCLUSÃO

O modelo proposto apresentou características semelhantes às do modelo de Clutter (1963), quanto à análise dos coeficientes e à análise de resíduos e quanto às características da curva de produção, não acrescentando ao modelo maior flexibilidade.

A igualdade estatística verificada através do teste Qui-Quadrado, entre as curvas do modelo proposto de pré e pós-desbaste, com o modelo de Clutter Geral, evidencia que no estudo de caso o modelo de Clutter pode ser usado sem prejuízo para a simulação de desbaste, mesmo não diferenciando tendências de crescimento.

Através da igualdade estatística entre Clutter Geral e Clutter 20, Clutter 35 e Clutter 50, pode-se usar o modelo de Clutter para a simulação de diferentes desbastes, mesmo este não diferenciando tendências de crescimento.

5. AGRADECIMENTOS

Ao CNPq, pelo apoio ao desenvolvimento deste estudo de iniciação científica, que é parte do Projeto Sistema de Suporte à Decisão para Manejo de Florestas Equiâneas Submetidas a Desbaste.

6. REFERÊNCIAS

CLUTTER, J. L. Compatible growth and yield for loblolly pine. **Forest Science**, v.9, n.3, p.354-371, 1963.

CAMPOS, J. C. C.; LEITE, H. G. **Mensuração florestal: perguntas e respostas**. 2.ed. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 2006. 470p.

DAVIS, K.P. **Forest management: regulation and valuation**. 2.ed. New York: McGraw-Hill, 1996. 519p.

DIAS, A. N. et al. Emprego de um modelo de crescimento e produção em povoamentos desbastados de eucalipto. **Revista Árvore**, v.29, n.5, p.731-740, 2005

NOGUEIRA, G. S. et al. Modelo de distribuição diamétrica para povoamentos de *eucalyptus* sp. submetidos a desbaste. **Revista Árvore**, v.29, n.4, p.579-590, 2005.

PIENNAR, L. V.; SHIVER, B. D. Basal area prediction and projection equations for pine plantations. **Forest Science**, v. 32, n. 3, p. 626-633, 1986.