

# **AVALIAÇÃO DE UM MODELO DE DISTRIBUIÇÃO DIAMÉTRICA AJUSTADO PARA POVOAMENTOS DE *Tectona grandis* SUBMETIDOS A DESBASTE<sup>1</sup>**

Gilciano Saraiva Nogueira<sup>2</sup>, Helio Garcia Leite<sup>3</sup>, João Carlos Chagas Campos<sup>3</sup>, Fausto Hissashi Takizawa<sup>4</sup> e Laércio Couto<sup>3</sup>

**RESUMO** – Este estudo teve como objetivo avaliar, do ponto de vista do realismo biológico, um modelo de distribuição diamétrica, bem como a eficiência do método dos ingressos percentuais para determinação da idade técnica do primeiro e do segundo desbaste de povoamentos de teca (*Tectona grandis* L. f.). A avaliação consistiu em comparar as idades técnicas de desbaste obtidas pelo método dos ingressos percentuais, as distribuições diamétricas projetadas para idades futuras e o comportamento da distribuição remanescente, após algumas simulações de desbaste, com a tendência lógica esperada. Pôde-se concluir que o modelo de distribuição diamétrica proposto gera estimativas que seguem uma tendência lógica do ponto de vista biológico e que o método dos ingressos percentuais é adequado para determinar a idade técnica do primeiro e do segundo desbaste.

Palavras-chave: *Teca*, desbaste e avaliação de modelo.

## ***EVALUATION OF A DIAMETRIC DISTRIBUTION MODEL ADJUSTED FOR THINNED *Tectona grandis* STANDS***

**ABSTRACT** – The objective of this study was to evaluate, under the biological point of view, a diametric distribution model. Another objective was to evaluate the efficiency of the percentage of entries method to determine the technical age for the first and second thinning in teak (*Tectona grandis* L. f.) stands. This evaluation was carried out by comparing the technical thinning ages obtained by the percentage of entries method, the diametric distributions projected for future ages and the behavior of the remaining distribution, after some thinning simulations, with the expected logical tendency. It was concluded that the proposed diametric distribution model generates estimates which follow a logical tendency, biologically speaking and that the percentage of entries method is suitable to determine the technical age of the first and second thinning.

Keywords: *Teak*, thinning and model evaluation.

### **1. INTRODUÇÃO**

Os plantios de teca (*Tectona grandis* L. f.) foram introduzidos no Brasil, em escala comercial, a partir de 1980, no Estado de Mato Grosso, com o objetivo de produzir árvores de grande porte destinadas a multiprodutos (OLIVEIRA, 2003). Todos esses povoamentos comerciais são manejados com desbaste,

e as principais decisões relacionadas com regime de desbaste são tomadas empiricamente, destacando-se a determinação da intensidade ótima e a idade técnica de desbaste. No entanto, essas decisões deveriam ser tomadas por meio de sistemas de suporte à decisão, que incorporem, por exemplo, modelos de crescimento e produção, geração e avaliação de alternativas de manejo, economia e Pesquisa Operacional. Não foi

<sup>1</sup> Recebido em 1º.06.2004 e aceito para publicação em 05.04.2006.

<sup>2</sup> Departamento de Engenharia Florestal da Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri (UFVJM), 39100-000 Diamantina-MG.

<sup>3</sup> Departamento de Engenharia Florestal da UFV.

<sup>4</sup> Floresteca Agroflorestal Ltda.

encontrado na literatura nenhum trabalho desenvolvido com esses objetivos para povoamentos de teca. No entanto, para povoamentos de *Pinus* e de eucalipto, vários estudos dessa natureza já foram realizados. Alguns estudos assim são relatados, por exemplo, em Hiley (1959), Krajicek et al. (1961), Veiga (1972), Wykoff et al. (1982), Vale et al. (1984), Davis e Johnson (1987), Campos et al. (1988), Rollinson (1988), Scolforo (1990), Ahrens (1992), Dean e Baldwin JR. (1993), Finger e Schneider (1999), Dias (2000) e Nogueira et al. (2001), entre outros.

Dentre as várias técnicas empregadas, merecem destaque o método dos ingressos porcentuais (NOGUEIRA et al., 2001) para determinar a idade técnica de desbaste e a programação dinâmica para determinar o ótimo regime de desbaste (AHRENS, 1992). Independentemente da técnica utilizada, a obtenção das estimativas sobre a produção de madeira no presente e no futuro em diferentes idades é imprescindível. A alternativa mais eficiente para prognosticar estimativas de produção em florestas desbastadas é por meio do uso de modelos de crescimento e produção, especialmente os modelos de distribuição diamétrica (BURKHART et al., 1981). Segundo Soares et al. (1995) e Campos e Leite (2002), os modelos de crescimento e produção devem ser avaliados tanto no que se refere às interpretações de ordem qualitativa, que trata de aspectos como o realismo biológico do modelo, quanto as de ordem quantitativa, que trata de testes estatísticos e comparação de predições com observações independentes.

O objetivo deste estudo foi avaliar, do ponto de vista do realismo biológico, um modelo de distribuição de diâmetros ajustado para plantações de teca, bem como a eficiência do método dos ingressos porcentuais para determinar a idade técnica do primeiro e do segundo desbaste.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1. Modelo de distribuição diamétrica e idade técnica de desbaste

Os dados utilizados para ajustar o modelo foram provenientes de parcelas permanentes instaladas em povoamentos de teca (*Tectona grandis*), pertencentes à empresa Floresteca Agroflorestal Ltda., no Estado do Mato Grosso. Foram empregadas 239 parcelas permanentes retangulares, com área útil de 490,8 m<sup>2</sup>,

em média. Essas parcelas foram medidas, em média, aos 29, 35, 41, 45, 58, 70 e 81 meses. O primeiro desbaste foi realizado aos 58 meses (valor médio) e consistiu na remoção sistemática de 36%, em média, do número de árvores.

O modelo de distribuição diamétrica ajustado resultou no seguinte sistema de equações:

$$d\hat{m}\hat{n}_2 = dmin_1 e^{-(0,887776)(I_2^{0,249503} - I_1^{0,249503})} R_{yy}=0,970 \quad (1)$$

$$\gamma_2 = \gamma_1 e^{-(34,4547)(I_2^{-1,94803} - I_1^{-1,94803})} R_{yy}=0,928 \quad (2)$$

$$d\hat{m}\hat{x}_2 = dmax_1 \left( \frac{I_1}{I_2} \right) + 2,318574 \left( 1 - \frac{I_1}{I_2} \right) \beta_1 R_{yy}=0,974 \quad (3)$$

$$\beta_2 = \beta_1 \left( \frac{I_1}{I_2} \right) + 1,212049 \left( 1 - \frac{I_1}{I_2} \right) dmax_2 R_{yy}=0,990 \quad (4)$$

$$N_2 = N_1 e^{-(249,5740)(I_2^{0,000012} - I_1^{0,000012})} R_{yy}=0,970 \quad (5)$$

Fazem parte do modelo, também, as seguintes equações:

$$LnHd = LnS - 25,983944 \left( \frac{1}{I} - \frac{1}{63} \right) \bar{r}^2=0,43 \quad (6)$$

$$LnHd = LnS - 24,821349 \left( \frac{1}{I} - \frac{1}{55} \right) \bar{r}^2=0,39 \quad (7)$$

$$Ht = -1,115475 + 0,530350(dap) + 0,107166(S) (LnI) \bar{R}^2=0,89 \quad (8)$$

$$Ht = -1,432054 + 0,503845(dap) + 0,126206(S) (LnI) \bar{R}^2=0,94 \quad (9)$$

$$Ht = -1,937653 + 0,599191(dap) + 0,112745(S) (LnI) \bar{R}^2=0,93 \quad (10)$$

$$\hat{v} = 0,000075 (dap)^{1,6327623} (Ht)^{-1,126895} e^{-4,50682 \left( \frac{T_x}{dap} \right)} \left[ 1 - \left( \frac{d}{dap} \right)^{1+0,321556(d)} \right] R_{\hat{v}}=0,99 \quad (11)$$

$$\hat{v} = 0,000050 (dap)^{1,571381} (Ht)^{-1,308170} e^{-4,73376 \left( \frac{T_x}{dap} \right)} \left[ 1 - \left( \frac{d}{dap} \right)^{1+1,625215(d)} \right] R_{\hat{v}}=0,99 \quad (12)$$

$$\hat{v} = 0,000054 (dap)^{1,610328} (Ht)^{-1,235636} e^{-4,42993 \left( \frac{T_x}{dap} \right)} \left[ 1 - \left( \frac{d}{dap} \right)^{1+1,825242(d)} \right] R_{\hat{v}}=0,99 \quad (13)$$

em que:

$I_1$  = idade atual, em meses;  $I_2$  = idade futura, em meses;  $\gamma_2$  = parâmetro de forma da função Weibull em uma idade futura;  $\gamma_1$  = parâmetro de forma da função Weibull em uma idade atual;  $\beta_2$  = parâmetro de escala da função Weibull em uma idade futura;  $\beta_1$  = parâmetro de escala da função Weibull em uma idade atual;  $dmax_2$  = diâmetro máximo em uma idade futura, em cm;  $dmax_1$  = diâmetro máximo em uma idade atual, em cm;  $dmin_2$  = diâmetro mínimo em uma idade futura, em cm;  $dmin_1$  = diâmetro mínimo em uma idade atual, em cm;  $N_2$  = número de árvores por ha em uma idade futura;  $N_1$  = número de árvores por ha em uma idade atual;  $Ln$  = logaritmo neperiano;  $Ht$  = altura total da árvore, em m;  $dap$  = diâmetro a 1,30 m de altura, em cm;  $S$  = índice de local em m;  $I$  = idade, em meses;  $V$  = volume comercial com e sem casca por árvore, em  $m^3$ ; e  $Tx$  = variável binária, sendo  $Tx = 0$  para volume com casca e  $Tx = 1$  para volume sem casca; e  $d$  = diâmetro mínimo comercial em cm.

A expressão (5) refere-se ao número de árvores por ha em uma idade futura ( $N_2$ ), sendo que após o desbaste  $N_2$  é igual ao número de árvores por ha em uma idade atual ( $N_1$ ). As alturas dominantes ( $Hd$ ) no projeto A foram obtidas pela expressão (6) e nos projetos B e C, pela expressão (7). A altura total por árvore ( $Ht$ ) nos projetos A, B e C foi obtida pelas expressões 8, 9 e 10, respectivamente. O volume comercial com e sem casca por árvore nos projetos A, B e C foi obtido, respectivamente, pelas equações 11, 12 e 13.

A relação funcional da função Weibull é:

$$f(x) = \begin{cases} \frac{\gamma}{\beta} \left( \frac{x-a}{\beta} \right)^{\gamma-1} e^{-\left(\frac{x-a}{\beta}\right)^{\gamma}} & , \text{ para } a \leq x < \infty \\ 0 & , \text{ para outros valores de } x \end{cases} \quad (14)$$

em que:

$\alpha$  = parâmetro de locação;  $\beta$  = parâmetro de escala;  $\gamma$  = parâmetro de forma; e  $x$  = centro da classe de diâmetro, sendo  $x \geq 0$ ,  $\beta > 0$  e  $\gamma > 0$ .

No presente estudo, o modelo foi utilizado para projetar as distribuições diamétricas em idades futuras, considerando-se distribuições diamétricas em idades atuais, em três projetos: A, B e C. Como a tendência de crescimento do povoamento florestal antes do desbaste é diferente da tendência após o desbaste, considerou-se uma distribuição diamétrica inicial

observada antes do desbaste e outra após o desbaste.

De posse das distribuições projetadas para diferentes idades, para determinar a idade técnica do primeiro e do segundo desbaste foi utilizado o método dos ingressos percentuais (MIP), proposto por Garcia (1999), empregando-se o modelo

$$IPM = \frac{\theta_1}{\theta_2} Ln \left[ 1 + e^{\theta_2(I-ITD)} \right] + \varepsilon$$

em que:

$IPM$  = ingresso percentual médio mensal de árvores,  $IPM = \frac{IP}{I}$ ;  $IP$  = ingresso percentual de árvores;  $I$  = idade do povoamento, em meses;  $\theta_1$  = parâmetro que indica o crescimento máximo absoluto do ingresso percentual de árvores na fase linear da curva;  $\theta_2$  = parâmetro que indica o crescimento máximo relativo do ingresso percentual de árvores na fase exponencial da curva;  $ITD$  = parâmetro que corresponde à idade técnica do desbaste; e  $\varepsilon$  = erro aleatório,  $\varepsilon \sim NID(0, \sigma^2)$ .

A idade do primeiro e do segundo desbaste foi determinada separadamente para os projetos A, B e C, considerando-se diferentes classes de produtividade. Entretanto, para não ser repetitivo, foram apresentados somente os resultados do projeto C.

## 2.2. Simulação de desbastes

Foram simulados desbastes em diferentes idades, diferentes porcentagens de redução da área basal, locais com diferentes capacidades produtivas e para diferentes usos da madeira. As simulações foram realizadas no *software Excel* e utilizando a distribuição média dos diâmetros do projeto C na idade técnica do primeiro desbaste. Assim, foi projetada a distribuição diamétrica da última medição antes do desbaste para a idade recomendada.

Foram simulados desbastes seletivos com base na redução da área basal, considerando-se duas alternativas de colheita das árvores: redução de 40% na área basal do povoamento, levando em conta remoção das árvores apenas nas classes de diâmetros inferiores e o mesmo percentual de redução considerando a remoção de árvores em todas as classes de diâmetro. No primeiro caso, as áreas basais das árvores removidas foram computadas e somadas até atingir a porcentagem de redução de área basal desejada. Assim, a porcentagem de redução desejada poderá ser atingida utilizando

apenas parte do número de árvores de determinada classe. No segundo caso, são efetuadas colheitas proporcionalmente em todas as classes. Os desbastes foram simulados aos 87 e 97 meses para as classes de produtividade I e III, respectivamente.

Com base nessas análises e simulações, foram avaliados alguns aspectos biológicos do modelo de distribuição diamétrica proposto.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1. Projeção da distribuição diamétrica

A projeção da distribuição diamétrica para idades futuras pode ser realizada considerando os dados de cada parcela ou utilizando uma distribuição de diâmetros média. Para recuperar uma distribuição de diâmetros média, foi preciso calcular as médias dos valores das variáveis dependentes ( $dmax_2$ ,  $dmin_2$ ,  $\beta_2$ ,  $\gamma_2$  e  $N_2$ ) das equações do sistema de previsão por classe de diâmetro. Para isso, é necessário obter a distribuição diamétrica observada média e obter o diâmetro máximo, o diâmetro mínimo e o número de árvores dessa distribuição, que correspondem, respectivamente, ao diâmetro máximo médio, ao diâmetro mínimo médio e ao número de árvores médio. Os parâmetros  $\beta$  e  $\gamma$  médios são obtidos ao ajustar a função Weibull aos dados da distribuição média. Os resultados, considerando os valores médios dos três projetos, são apresentados no Quadro 1.

A projeção das distribuições diamétricas para idades futuras foi realizada a partir de uma distribuição inicial observada. Antes do desbaste, considerou-se a distribuição inicial aos 29 meses ( $I_1$ ), empregando  $\beta_1$  igual a 7,218,  $\gamma_1$  igual a 3,192,  $dmax_1$  igual a 13 cm,  $dmin_1$  igual a 2,5 cm e  $N_1$  igual a 1.254. Após o desbaste, considerou-se a distribuição inicial aos 58 meses ( $I_1$ ), empregando  $\beta_1$  igual a 11,367,  $\gamma_1$  igual a 4,189,  $dmax_1$

igual a 19 cm,  $dmin_1$  igual a 3,5 cm e  $N_1$  igual a 785. As estimativas antes do desbaste foram projetadas de 29 meses para a idade de 41 meses ( $I_2$ ). Com as estimativas aos 41 meses ( $I_2$ ), projetaram-se as estimativas para a idade de 53 meses ( $I_3$ ). Assim, de 12 em 12 meses, projetaram-se as estimativas até 149 meses. Da mesma forma, após o desbaste, foram projetadas as estimativas de 58 meses para 70 meses, depois para 82 meses, e assim até a idade de 178 meses. Os resultados são apresentados no Quadro 2.

De posse das estimativas apresentadas no Quadro 2, foi estimado o número de árvores em cada classe de diâmetro para todas as idades consideradas. As distribuições de diâmetros obtidas seguem o comportamento natural da distribuição diamétrica para povoamentos equiâneos (Figura 1), ou seja, em idades maiores ocorre o achatamento das curvas, com o aumento do número de árvores nas maiores classes de diâmetros (deslocamento para direita). Observa-se, nessa figura, que as áreas correspondentes aos ingressos de árvores em sucessivas classes de diâmetros diminuem com o passar do tempo, pois os espaços destinados ao crescimento das árvores vão diminuindo com o aumento da competitividade entre elas. Comparando as distribuições antes e depois do desbaste, nota-se que as configurações das curvas são ligeiramente diferentes, o que também está de acordo com a teoria, pois, em termos de tendência de crescimento e produção, o povoamento após o desbaste pode ser considerado como um novo povoamento. Se o desbaste tivesse sido realizado na idade recomendada e se a intensidade fosse maior, a diferença entre as configurações das curvas, antes e depois do desbaste, poderia ser bem mais marcante. Assim, pode-se inferir que o modelo de distribuição diamétrica foi coerente, do ponto de vista biológico, na projeção da distribuição diamétrica para idades futuras.

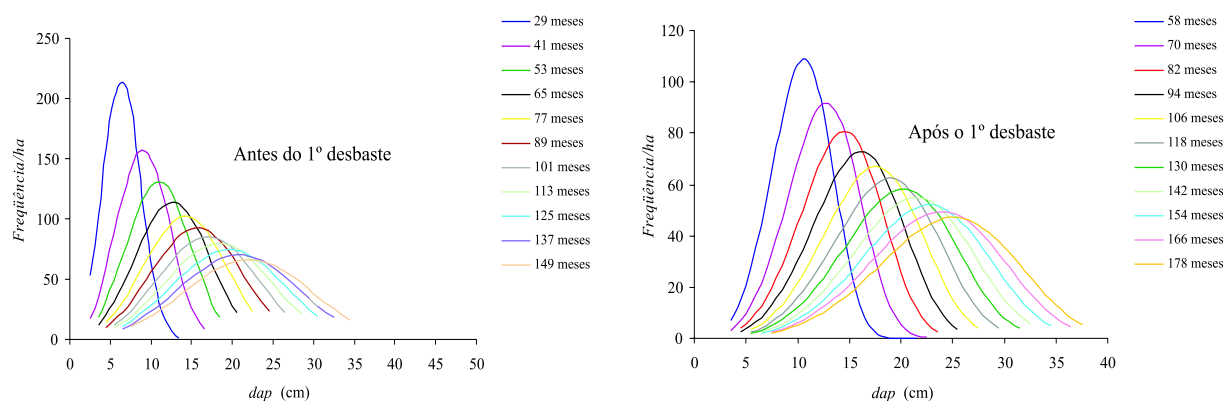
**Quadro 1** – Valores médios observados em povoamento de teca desbastado, em média, aos 58 meses de idade  
**Table 1** – Observed mean values in thinned teak stand, at 58 months of age on average

Idade (meses)	$dmax$ (cm)	$dmin$ (cm)	$\beta$	$\gamma$	$N$
29	13	2,5	7,218	3,192	1254
35	14	2,5	7,674	3,189	1261
41	16	2,5	9,039	3,282	1288
45	17	2,5	9,543	3,306	1292
58	19	3,5	11,367	4,189	785
70	23	3,5	13,287	4,329	789
81	25	3,5	14,786	4,423	789

**Quadro 2** – Parâmetros estimados da função Weibull após o primeiro desbaste  
**Table 2** – Estimated parameters of the Weibull function after first thinning

Idade (meses)	$d_{max}$ (cm)	$d_{min}$ (cm)	$\beta$	$\gamma$	$N$
Antes do desbaste					
29*	13,0	2,5	7,218	3,192	1254
41	14,1	3,0	10,105	3,283	1252
53	16,2	3,5	12,265	3,321	1251
65	18,5	4,0	14,132	3,341	1251
77	20,7	4,4	15,839	3,353	1250
89	22,9	4,9	17,438	3,360	1249
101	24,9	5,3	18,958	3,365	1249
113	27,0	5,7	20,416	3,368	1249
125	28,9	6,2	21,820	3,371	1248
137	30,8	6,6	23,181	3,373	1248
149	32,7	7,1	24,502	3,374	1247
Após o desbaste					
58*	19,0	3,5	11,367	4,189	785
70	20,3	3,9	13,628	4,212	785
82	21,9	4,4	15,521	4,226	785
94	23,7	4,8	17,209	4,235	785
106	25,5	5,2	18,767	4,242	785
118	27,4	5,6	20,232	4,246	785
130	29,2	6,0	21,629	4,250	785
142	31,0	6,5	22,972	4,252	785
154	32,7	6,9	24,269	4,254	785
166	34,4	7,3	25,528	4,256	785
178	36,1	7,7	26,754	4,257	785

\* Valores observados.



**Figura 1** – Distribuições diamétricas estimadas antes e depois do primeiro desbaste.

**Figure 1** – Diametric distribution estimated before and after thinning.

### 3.2. Idade técnica de desbaste

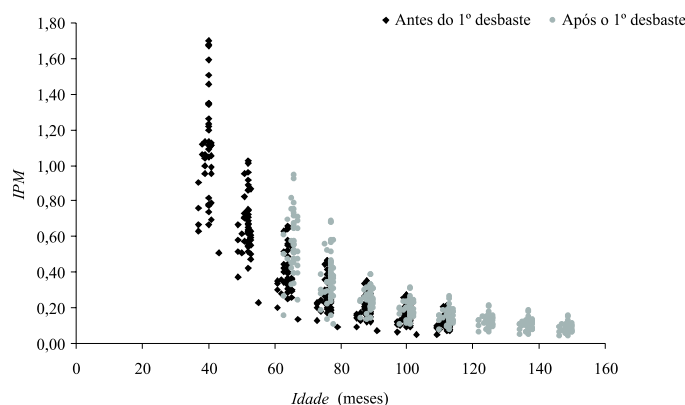
Para o cálculo dos ingressos percentuais antes do desbaste, foram utilizados os dados da distribuição diamétrica observada nas medições 2 e 4 (foram empregadas as idades individuais de cada talhão,

correspondente, em média, a 35 meses para a medição 2 e 45 meses para a medição 4). Não foram utilizadas as medições 1 e 3, devido ao pequeno intervalo entre tais medições (em torno de seis meses), o que proporcionaria ingressos percentuais não-significativos.

Os ingressos percentuais para idades futuras foram obtidos pela projeção das distribuições diamétricas de cada parcela, a partir da medição 4. Após o desbaste, foram utilizados os dados da distribuição diamétrica observados na medição 5 (em média, 58 meses), 6 (em média, 70 meses) e 7 (em média, 81 meses). Assim, foram projetadas as distribuições diamétricas de cada parcela para idades futuras, a partir da medição 7, tendo sido calculados os ingressos percentuais para essas idades. Os ingressos percentuais foram divididos pela idade, obtendo-se o incremento percentual médio mensal (*IPM*). O comportamento do *IPM* ao longo do tempo do projeto C, antes e depois do primeiro desbaste, é apresentado na Figura 2. É possível identificar visualmente que a idade técnica de desbaste (*ITD*) está entre 80 e 100 meses (antes do primeiro desbaste) e entre 110 e 130 meses (após o primeiro desbaste).

As equações expolineares, com os respectivos coeficientes de correlação ( $R_{\hat{y}}$ ), encontram-se no Quadro 3. A idade técnica de desbaste corresponde, em módulo, à estimativa do parâmetro *ITD*. As equações foram ajustadas para as classes de produtividade III e I, antes e depois do primeiro desbaste. O método dos ingressos percentuais foi adequado para determinar a idade técnica do primeiro e do segundo desbaste para povoamentos de teca, já que as idades técnicas de desbaste indicadas pela equação expolinear estão dentro do intervalo de estagnação identificado, visualmente, na Figura 2.

A estagnação do crescimento é diretamente proporcional à taxa de crescimento das árvores, porque, quanto maior essa taxa, mais cedo o povoamento inicia o processo de competição entre as árvores, resultando na imediata estagnação do crescimento. O momento em que se inicia esse processo de estagnação corresponde à idade técnica de desbaste.



**Figura 2** – Ingresso percentual médio (*IPM*) antes e depois do primeiro desbaste.  
**Figure 2** – Mean percentage of entries (*IPM*) before and after thinning.

**Quadro 3** – Equações expolineares e idades técnicas de desbaste para classes de produtividade I e III  
**Table 3** – Expoliner equations and technical ages for thinning for the site quality I and III

Classe de Prod.	% de Redução de B/ha	Equação Expoliner	$R_{\hat{y}}$	<i>ITD</i> (meses)
Antes do desbaste				
III	-	$IPM = \frac{-15,5369}{-0,0423} Ln[1 + \exp(-0,0423(Idade - (-97,1807)))]$	0,940	97
I	-	$IPM = \frac{-1,4171}{-0,0303} Ln[1 + \exp(-0,0303(Idade - (-87,2656)))]$	0,861	87
Após o desbaste				
III	40	$IPM = \frac{-1,4143}{-0,0250} Ln[1 + \exp(-0,0250(Idade - (-125,262)))]$	0,848	125
I	40	$IPM = \frac{-0,4846}{-0,0211} Ln[1 + \exp(-0,0211(Idade - (-118,130)))]$	0,887	118

Os principais fatores que influenciam a taxa de crescimento de um povoamento são a capacidade produtiva do local, o material genético e o grau de competição entre as árvores. Quanto maior a capacidade produtiva do local, maior a taxa de crescimento das árvores; um material melhorado geneticamente pode apresentar uma taxa de crescimento elevado; e a competição acirrada entre as árvores contribui para a diminuição drástica dessa taxa. O desbaste, além de diminuir a competição entre as árvores, aumenta significativamente a taxa de crescimento das árvores remanescentes, uma vez que disponibiliza os fatores de produção para as árvores (dominantes e co-dominantes) mais eficientes na relação fotossíntese/respiração, aumentando a velocidade de crescimento dessas árvores. Conseqüentemente, após o desbaste a estagnação do crescimento ocorre com mais rapidez, quando comparada com a estagnação antes do desbaste.

Todas as tendências mencionadas anteriormente são conclusões de vários estudos realizados ao longo dos últimos 70 anos, sendo a maioria dos trabalhos desenvolvidas para povoamentos de *Pinus*. Observa-se, no Quadro 3, que essas tendências também ocorreram nos povoamentos de teca. Na classe de produtividade III (classe de menor produtividade), as idades técnicas de desbaste foram de 97 meses no primeiro desbaste e 125 meses no segundo. Na classe I, as idades técnicas foram de 87 e 118 meses, no primeiro e segundo desbastes, respectivamente.

Na Figura 2, pode-se observar o aumento dos ingressos percentuais depois do desbaste, o que mostra a retomada do crescimento das árvores remanescentes após a colheita de 36% do número de árvores. É oportuno salientar que o aumento desse ingresso poderia ter sido mais significativo se o desbaste tivesse sido aplicado em uma idade mais apropriada, com uma intensidade

maior, e se o povoamento remanescente não contivesse árvores dominadas, ou seja, se o desbaste tivesse sido seletivo, eliminando os piores indivíduos.

Conforme mencionado, a estagnação do crescimento após o desbaste foi mais rápida do que antes do desbaste, o que pode ser verificado no Quadro 3. Por exemplo, na classe I, antes do desbaste, o processo de estagnação do crescimento iniciou-se após 87 meses e, após o desbaste, esse processo teve início após 60 meses (diferença entre a idade técnica do segundo desbaste e a idade técnica do primeiro desbaste).

Diante dessas constatações, pode-se inferir que o sistema de equações proposto para redistribuir as distribuições diamétricas em povoamentos de teca está de acordo com a teoria, com a lógica e com os aspectos biológicos.

### 3.3. Simulação de desbastes

O sistema de equações proposto permite simular diferentes cenários envolvendo desbaste, por exemplo diferentes porcentagens de redução da área basal, locais com capacidade produtiva diferentes e desbaste em idades diferentes. Para exemplificar essa versatilidade do modelo de distribuição diamétrica, foram simulados desbastes, considerando-se a redução de 40% na área basal do povoamento, com a remoção de árvores somente nas classes inferiores. Os desbastes foram simulados aos 97 meses na classe de produtividade III e aos 87 meses na classe de produtividade I. As distribuições diamétricas aos 87 e 97 meses foram obtidas a partir da projeção da distribuição média observada na última medição antes do primeiro desbaste, nas respectivas classes de produtividade (classe I: 39 meses e classe III: 40 meses). As estimativas projetadas são apresentadas no Quadro 4.

**Quadro 4** – Estimativas obtidas nas idades técnicas de desbaste, a partir da distribuição observada aos 45 meses, considerando-se as classes de produtividade I e III

**Table 4** – Estimates obtained at the technical ages for thinning, from the distribution observed at 45 months, considering the sites class I and III

Idade (meses)	$d_{max}$ (cm)	$\beta$	$\gamma$	$N$	$d_{min}$ (cm)
Classe I - Site 14					
39*	17,0	10,903	3,932	1441	2,5
87	26,7	20,032	4,052	1437	4,1
Classe III - Site 7					
40*	12,0	6,319	3,354	1231	2,5
97	18,2	13,463	3,443	1228	4,3

\* Valores observados.



O desbaste consistiu em remover as árvores das menores classes de diâmetros. Assim, as áreas basais das árvores removidas foram contabilizadas e somadas até atingir a porcentagem de redução de área basal desejada. As produções desbastadas são apresentadas no Quadro 5.

Os resultados do Quadro 5 comprovam que o modelo de distribuição diamétrica proposto foi adequado para a realização de simulações de desbaste. Por exemplo, o modelo foi lógico e biologicamente correto, pois,

nos dois cenários, o índice de local maior proporcionou maior produção em volume total, remanescente e desbastado, do que o índice de local menor. Outro exemplo é o fato de que, enquanto muitas árvores desbastadas são aproveitadas para energia, poucas são aproveitadas para serraria. No Quadro 5, na classe de produtividade III se observa que nenhuma árvore foi aproveitada para serraria, o que era esperado, visto que na época do primeiro desbaste poucas árvores possuem dimensões apropriadas para essa finalidade.

**Quadro 5** – Estimativas de produção comercial obtidas com um desbaste seletivo de 40% da área basal aos 97 e 87 meses, nas classes de local III e I

**Table 5** – Commercial production estimates obtained with one selective thinning of 40% of the basal area at 97 and 87 months, in the sites class III and I

Idade (meses)	dap (cm)	N total (árv/ha)	B total (m <sup>2</sup> /ha)	Ht total (m)	V4cc total (m <sup>3</sup> /ha)	V4sc total (m <sup>3</sup> /ha)	N reman. (árv/ha)	B reman. (m <sup>2</sup> /ha)	V4cc reman. (m <sup>3</sup> /ha)	V4sc reman. (m <sup>3</sup> /ha)	N desb. (árv/ha)	B desb. (m <sup>2</sup> /ha)	V4cc desb. (m <sup>3</sup> /ha)	V4sc desb. (m <sup>3</sup> /ha)
Classe III - Site 7														
97	4,5	21	0,034	4,4	0,05	0,02					21	0,034	0,05	0,02
97	5,5	34	0,080	5,0	0,19	0,09					34	0,080	0,19	0,09
97	6,5	49	0,162	5,6	0,44	0,22					49	0,162	0,44	0,22
97	7,5	66	0,291	6,2	0,86	0,48					66	0,291	0,86	0,48
97	8,5	83	0,472	6,8	1,49	0,89					83	0,472	1,49	0,89
97	9,5	99	0,702	7,4	2,36	1,48					99	0,702	2,36	1,48
97	10,5	112	0,967	8,0	3,45	2,26					112	0,967	3,45	2,26
97	11,5	119	1,238	8,6	4,67	3,18					119	1,238	4,67	3,18
97	12,5	120	1,478	9,2	5,87	4,12					120	1,478	5,87	4,12
97	13,5	115	1,645	9,8	6,85	4,94	73	1,040	4,33	3,12	42	0,605	2,52	1,82
97	14,5	103	1,706	10,4	7,44	5,48	103	1,706	7,44	5,48				
97	15,5	87	1,646	11,0	7,49	5,63	87	1,646	7,49	5,63				
97	16,5	69	1,472	11,6	6,99	5,34	69	1,472	6,99	5,34				
97	17,5	51	1,219	12,2	6,02	4,67	51	1,219	6,02	4,67				
97	18,5	35	0,929	12,8	4,76	3,75	35	0,929	4,76	3,75				
97	19,5	22	0,650	13,4	3,46	2,76	22	0,650	3,46	2,76				
97	20,5	13	0,416	14,0	2,29	1,84	13	0,416	2,29	1,84				
Total		1197	15,1		64,68	47,14	452	9,1	42,78	32,59	746	6,0	21,90	14,54
Classe I - Site 14														
87	4,5	3	0,005	7,8	0,01	0,01					3	0,005	0,01	0,01
87	5,5	6	0,013	8,4	0,06	0,03					6	0,013	0,06	0,03
87	6,5	9	0,031	9,0	0,15	0,08					9	0,031	0,15	0,08
87	7,5	14	0,063	9,6	0,32	0,18					14	0,063	0,32	0,18
87	8,5	21	0,117	10,2	0,62	0,37					21	0,117	0,62	0,37
87	9,5	28	0,202	10,8	1,09	0,68					28	0,202	1,09	0,68
87	10,5	38	0,326	11,4	1,82	1,19					38	0,326	1,82	1,19
87	11,5	48	0,500	12,0	2,86	1,95					48	0,500	2,86	1,95
87	12,5	59	0,730	12,6	4,29	3,01					59	0,730	4,29	3,01
87	13,5	71	1,019	13,2	6,16	4,44					71	1,019	6,16	4,44
87	14,5	83	1,366	13,8	8,49	6,25					83	1,366	8,49	6,25
87	15,5	93	1,759	14,4	11,22	8,43					93	1,759	11,22	8,43
87	16,5	102	2,178	15,0	14,26	10,90					102	2,178	14,26	10,90

Continua ...  
Continued ...



**Quadro 5** – Cont.  
**Table 5** – Cont.

<i>Idade</i> (meses)	<i>dap</i> (cm)	<i>N</i> total (árv/ha)	<i>B</i> total (m <sup>2</sup> /ha)	<i>Ht</i> total (m)	<i>V4cc</i> total (m <sup>3</sup> /ha)	<i>V4sc</i> total (m <sup>3</sup> /ha)	<i>N</i> <i>reman.</i> (árv/ha)	<i>B</i> <i>reman.</i> (m <sup>2</sup> /ha)	<i>V4cc</i> <i>reman.</i> (m <sup>3</sup> /ha)	<i>V4sc</i> <i>reman.</i> (m <sup>3</sup> /ha)	<i>N</i> <i>desb.</i> (árv/ha)	<i>B</i> <i>desb.</i> (m <sup>2</sup> /ha)	<i>V4cc</i> <i>desb.</i> (m <sup>3</sup> /ha)	<i>V4sc</i> <i>desb.</i> (m <sup>3</sup> /ha)
Classe I - Site 14														
87	17,5	108	2,593	15,6	17,41	13,52					108	2,593	17,41	13,52
87	18,5	110	2,966	16,2	20,42	16,07					110	2,966	20,42	16,07
87	19,5	109	3,257	16,8	22,98	18,31	52	1,548	10,92	8,70	57	1,710	12,06	9,61
87	20,5	104	3,429	17,4	24,77	19,96	104	3,429	24,77	19,96				
87	21,5	95	3,453	18,0	25,54	20,78	95	3,453	25,54	20,78				
87	22,5	83	3,320	18,6	25,12	20,63	83	3,320	25,12	20,63				
87	23,5	70	3,039	19,2	23,51	19,47	70	3,039	23,51	19,47				
87	24,5	56	2,642	19,8	20,89	17,43	56	2,642	20,89	17,43				
87	25,5	43	2,175	20,4	17,56	14,76	43	2,175	17,56	14,76				
87	26,5	31	1,689	21,0	13,93	11,78	31	1,689	13,93	11,78				
87	27,5	21	1,233	21,6	10,38	8,83	21	1,233	10,38	8,83				
87	28,5	13	0,844	22,2	7,24	6,20	13	0,844	7,24	6,20				
Total		1419	38,9		281,11	225,27	568	23,4	179,86	148,56	851	15,6	101,25	76,71
<i>Idade</i> (meses)	<i>dap</i> (cm)	<i>N</i> total (árv/ha)	<i>B</i> total (m <sup>2</sup> /ha)	<i>Ht</i> total (m)	<i>V15cc</i> total (m <sup>3</sup> /ha)	<i>V15sc</i> total (m <sup>3</sup> /ha)	<i>N</i> <i>reman.</i> (árv/ha)	<i>B</i> <i>reman.</i> (m <sup>2</sup> /ha)	<i>V15cc</i> <i>reman.</i> (m <sup>3</sup> /ha)	<i>V15sc</i> <i>reman.</i> (m <sup>3</sup> /ha)	<i>N</i> <i>desb.</i> (árv/ha)	<i>B</i> <i>desb.</i> (m <sup>2</sup> /ha)	<i>V15cc</i> <i>desb.</i> (m <sup>3</sup> /ha)	<i>V15sc</i> <i>desb.</i> (m <sup>3</sup> /ha)
Classe III - Site 7														
97	4,5	21	0,034	4,4	0,00	0,00					21	0,034	0,00	0,00
97	5,5	34	0,080	5,0	0,00	0,00					34	0,080	0,00	0,00
97	6,5	49	0,162	5,6	0,00	0,00					49	0,162	0,00	0,00
97	7,5	66	0,291	6,2	0,00	0,00					66	0,291	0,00	0,00
97	8,5	83	0,472	6,8	0,00	0,00					83	0,472	0,00	0,00
97	9,5	99	0,702	7,4	0,00	0,00					99	0,702	0,00	0,00
97	10,5	112	0,967	8,0	0,00	0,00					112	0,967	0,00	0,00
97	11,5	119	1,238	8,6	0,00	0,00					119	1,238	0,00	0,00
97	12,5	120	1,478	9,2	0,00	0,00					120	1,478	0,00	0,00
97	13,5	115	1,645	9,8	0,00	0,00	73	1,040	0,00	0,00	42	0,605	0,00	0,00
97	14,5	103	1,706	10,4	0,00	0,00	103	1,706	0,00	0,00				
97	15,5	87	1,646	11,0	4,54	3,41	87	1,646	4,54	3,41				
97	16,5	69	1,472	11,6	6,52	4,99	69	1,472	6,52	4,99				
97	17,5	51	1,219	12,2	5,94	4,61	51	1,219	5,94	4,61				
97	18,5	35	0,929	12,8	4,75	3,74	35	0,929	4,75	3,74				
97	19,5	22	0,650	13,4	3,46	2,75	22	0,650	3,46	2,75				
97	20,5	13	0,416	14,0	2,29	1,84	13	0,416	2,29	1,84				
Total		1197	15,1		27,50	21,34	452	9,1	27,50	21,34	746	6,0	0,00	0,00
Classe I - Site 14														
87	4,5	3	0,005	7,8	0,00	0,00					3	0,005	0,00	0,00
87	5,5	6	0,013	8,4	0,00	0,00					6	0,013	0,00	0,00
87	6,5	9	0,031	9,0	0,00	0,00					9	0,031	0,00	0,00
87	7,5	14	0,063	9,6	0,00	0,00					14	0,063	0,00	0,00
87	8,5	21	0,117	10,2	0,00	0,00					21	0,117	0,00	0,00
87	9,5	28	0,202	10,8	0,00	0,00					28	0,202	0,00	0,00
87	10,5	38	0,326	11,4	0,00	0,00					38	0,326	0,00	0,00
87	11,5	48	0,500	12,0	0,00	0,00					48	0,500	0,00	0,00
87	12,5	59	0,730	12,6	0,00	0,00					59	0,730	0,00	0,00
87	13,5	71	1,019	13,2	0,00	0,00					71	1,019	0,00	0,00
87	14,5	83	1,366	13,8	0,00	0,00					83	1,366	0,00	0,00
87	15,5	93	1,759	14,4	6,80	5,11					93	1,759	6,80	5,11

Continua ...  
Continued ...

**Quadro 5 – Cont.**  
**Table 5 – Cont.**

<i>Idade</i> (meses)	<i>dap</i> (cm)	<i>N</i> total (árvo/ha)	<i>B</i> total (m <sup>2</sup> /ha)	<i>Ht</i> total (m)	<i>V15cc</i> total (m <sup>3</sup> /ha)	<i>V15sc</i> total (m <sup>3</sup> /ha)	<i>N</i> <i>reman.</i> (árvo/ha)	<i>B</i> <i>reman.</i> (m <sup>2</sup> /ha)	<i>V15cc</i> <i>reman.</i> (m <sup>3</sup> /ha)	<i>V15sc</i> <i>reman.</i> (m <sup>3</sup> /ha)	<i>N</i> <i>desb.</i> (árvo/ha)	<i>B</i> <i>desb.</i> (m <sup>2</sup> /ha)	<i>V15cc</i> <i>desb.</i> (m <sup>3</sup> /ha)	<i>V15sc</i> <i>desb.</i> (m <sup>3</sup> /ha)
87	16,5	102	2,178	15,0	13,31	10,17					102	2,178	13,31	10,17
87	17,5	108	2,593	15,6	17,19	13,35					108	2,593	17,19	13,35
87	18,5	110	2,966	16,2	20,37	16,03					110	2,966	20,37	16,03
Classe I - Site 14														
87	19,5	109	3,257	16,8	22,97	18,30	52	1,548	10,91	8,70	57	1,710	12,06	9,61
87	20,5	104	3,429	17,4	24,77	19,96	104	3,429	24,77	19,96				
87	21,5	95	3,453	18,0	25,54	20,78	95	3,453	25,54	20,78				
87	22,5	83	3,320	18,6	25,12	20,63	83	3,320	25,12	20,63				
87	23,5	70	3,039	19,2	23,51	19,47	70	3,039	23,51	19,47				
87	24,5	56	2,642	19,8	20,89	17,43	56	2,642	20,89	17,43				
87	25,5	43	2,175	20,4	17,56	14,76	43	2,175	17,56	14,76				
87	26,5	31	1,689	21,0	13,93	11,78	31	1,689	13,93	11,78				
87	27,5	21	1,233	21,6	10,38	8,83	21	1,233	10,38	8,83				
87	28,5	13	0,844	22,2	7,24	6,20	13	0,844	7,24	6,20				
Total		1419	38,9		249,57	202,81	568	23,4	179,85	148,55	851	15,6	69,72	54,27

*V4cc* e *V4sc* = volumes com e sem casca até um limite superior de 4,0 cm de diâmetro; *V15cc* e *V15sc* = volumes com e sem casca até um limite superior de 4,0 cm de diâmetro; *Reman.* = Remanescente; e *Desb.* = Desbastado.

#### 4. CONCLUSÕES

A avaliação qualitativa do modelo de distribuição diamétrica aplicado em povoamentos de teca permitiu a conclusão de que:

\* O sistema de equações proposto proporciona estimativas que seguem uma tendência lógica do ponto de vista biológico.

\* O método dos ingressos percentuais é adequado para determinar a idade técnica do primeiro e do segundo desbaste.

#### 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AHRENS, S. A Seleção simultânea do ótimo regime de desbastes e da idade de rotação, para povoamentos de *Pinus taeda* L., através de um modelo de programação dinâmica. 1992. 199 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1992.
- 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.; LEITE, H. G. **Mensuração Florestal: perguntas e respostas**. Viçosa, MG: Editora UFV, 2002. 407 p.
- DAVIS, L. S.; JOHNSON, K. N. **Forest management**. 3. ed. New York: McGraw-Hill Book Company, 1987. 790 p.
- DEAN, T. J.; BALDWIN JUNIOR, V. C. **Using a density-management diagram to develop thinning schedules for loblolly pine plantations**. New Orleans: USDA, 1993. 7 p. (Research Paper, SO-275)
- 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.
- FINGER, C. A. G.; SCHNEIDER, P. R. Determinação do peso do desbaste para florestas de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden, com base no índice de espaçamento relativo. **Ciência Florestal**, v. 9, n. 1, p. 79-87, 1999.

GARCIA, S. L. R. **Ingresso percentual:** teoria e aplicações em ciência florestal. Viçosa, MG: [1999]. 20 p. Trabalho não publicado.

HILEY, W. E. **Conifers:** South African methods of cultivation. London: Faber and Faber, 1959. 123 p.

KRAJICEK, J. E.; BRINKMAN, K. A.; GINGRICH, S. F. Crown competition - a measure of density. **Forest Science**, v. 7, n. 1, p. 35-42, 1961.

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.

OLIVEIRA, J. R. V. **Sistema para cálculo de balanço nutricional e recomendação de calagem e adubação de povoamentos de teca - Nutriteca.** 2003. 93 f. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2003.

ROLLINSON, T. J. D. **Thinning control.** 3. ed. London: Her Majesty's Stationery Office, 1988. 56 p.

SCOLFORO, J. R. S. **Sistema integrado para predição e análise presente e futura do crescimento e produção, com otimização de remuneração de capitais, para *Pinus caribaea* var. *hondurensis*.** 1990. 308 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1990.

SOARES, P.; TOMÉ, M.; SKOVSGAARD, J. P.; VANCLAY, J. K. Evaluation a growth model for forest management using continuous forest inventory data. **Forest Ecology and Management**, v. 71, p. 251-265, 1995.

VALE, A. B.; OLIVEIRA, A. D.; FELFILI, J. M.; QUINTAES, P. C. G. Desbastes florestais. **Brasil Florestal**, v. 13, n. 59, p. 45-57, 1984.

VEIGA, A. A. **Curso de atualização florestal.** [S. L.]: Instituto Florestal - Secretaria da Agricultura, 1972. 346 p.

WYKOFF, W. R.; CROOKSTON, N. L.; STAGE, A. R. **User's guide to the stand prognosis model.** Washington: USDA, 1982. 112 p. (General Technical Report, INT-133).