

AVALIAÇÃO DE UM POVOAMENTO FLORESTAL CONSIDERANDO O CONCEITO DE MÚLTIPLOS USOS

Reinaldo Frederico de Siqueira Montalvão²; Marya Eduarda Feliciano⁵; Laís Almeida Araújo¹; Cássio Augusto Ussi Monti³; Lucas Rezende Gomide⁴

⁽¹⁾ Eng. Florestal, Mestrando em Ciências Florestais, Universidade Federal de Lavras, Caixa Postal 3037, CEP 37.200-000, Lavras (MG), la_sal@hotmail.com. ⁽²⁾ Eng. Florestal, Universidade Federal de Lavras, Caixa Postal 3037, CEP 37.200-000, Lavras (MG), reinaldomontalvao@hotmail.com. ⁽³⁾ Eng. Florestal, Mestre em Manejo Florestal, Universidade Federal de Lavras, Caixa Postal 3037, CEP 37.200-000, Lavras (MG), maryaeduardafeliciano@hotmail.com. ⁽⁴⁾ Eng. Florestal, Doutorando em Ciências Florestais, Universidade Federal de Lavras, Caixa Postal 3037, CEP 37.200-000, Lavras (MG), cassioaumonti@yahoo.com. ⁽⁵⁾ Eng. Florestal, Dr., Professor do Departamento de Ciências Florestais, Universidade Federal de Lavras, Caixa Postal 3037, CEP 37.200-000, Lavras (MG), lucasgomide@ufla.br.

Identificação do evento: Apresentado no IV Congresso Brasileiro de Eucalipto – 07 a 08 de agosto de 2019, Salvador/BA.

RESUMO: Este trabalho teve como objetivo avaliar o uso múltiplo da madeira em um povoamento de eucalipto, através de funções de afilamento. Para tal, foi realizada a medição do diâmetro a 1,30 m em 259 árvores e cubagem de 47 árvores em diferentes classes de diâmetro. Utilizou-se os modelos Chapman - Richards, Curtis, Prodan, Parabólico e Stofel para ajuste de modelos hipsométricos e para afilamento foram ajustados os modelos de Polinômio do 5º Grau, Hradetzky e Kozak. A partir das estimativas de altura e dos múltiplos produtos por árvore foi avaliada a receita estocada no povoamento. O melhor modelo hipsométrico verificado foi o de Prodan e para a função de afilamento o melhor foi o polinômio do 5º grau. Conclui-se que a utilização e o manejo intensivo da floresta para geração de multiprodutos se configura como uma alternativa rentável para os produtores florestais.

Palavras-chave: Sortimento florestal, Hipsometria, Função de afilamento.

INTRODUÇÃO

A situação atual do setor florestal é marcada por um mercado cada vez mais exigente, onde a demanda por produtos florestais de diversas especificações tem crescido, fazendo com que empresas e pequenos produtores invistam em tecnologias capazes de atender estas exigências. Dessa forma, uma das estratégias empregadas é a utilização de múltiplos produtos, aumentando a participação no mercado evitando assim maior risco financeiro sobre a venda da madeira. Por outro lado, os lucros podem ser maximizados ao diminuir os desperdícios devido à falta de conhecimento do povoamento (ASSIS, 2000).

Para tal análise é necessário o inventário florestal a fim de coletar informações precisas de diâmetro a altura do peito (DAP) e altura total, sendo ainda necessária a cubagem rigorosa para se obter diâmetros ao longo do fuste da árvore, e com isso conhecer o padrão de afilamento das plantas.

Atualmente, estudos relevantes sobre a forma das árvores têm demonstrado a sua importância, uma vez que as diferentes formas, além de afetarem o volume total, influenciam na qualidade e quantidade dos produtos extraídos do povoamento (SCOLFORO, 2005). Assim, um dos procedimentos empregados para explicar matematicamente a forma do fuste é o uso da função de afilamento. Essa função é uma ferramenta estatística de grande importância, pois permite o usuário estimar o diâmetro em qualquer ponto do fuste.

A utilização de equações de afilamento no inventário florestal como suporte ao planejamento fornece informações sobre a quantidade de toras vinculadas às dimensões mínimas de cada produto a ser obtido do povoamento. Portanto, este trabalho teve como objetivo estudar a relação hipsométrica, a forma e perfil das árvores de *Eucalyptus* spp. a partir de modelos não segmentados (Hradetzky, Kozak e Polinômio do 5º grau), além de quantificar a receita gerada pelo uso de multiprodutos.

MATERIAIS E MÉTODOS

O conjunto de dados utilizados neste estudo são provenientes de um povoamento florestal de *Eucalyptus* spp. com idade de aproximadamente 7 anos e espaçamento 3 x 2 m, localizados no sul de Minas Gerais. Na área foram mensurados o DAP de todas as árvores (Censo), totalizando 259 medições. Foram cubadas 47 árvores, as quais foram alocadas em 8 classes de diâmetro, considerando amplitude de 3 cm entre classes, em que para cada classe foram selecionadas em torno de 6 árvores, totalizando 47 indivíduos.

Os indivíduos selecionados foram submetidos a cubagem destrutiva onde foram coletados a altura total, o diâmetro a altura do peito, e a circunferência a 0,1m; 0,7m; 1,3m; 2,3m e, a partir daí, de um em um metro até a circunferência mínima de 15,7 cm, ou seja, diâmetro de aproximadamente 5 cm.

Visando os múltiplos produtos da floresta foram ajustados os modelos hipsométricos apresentados na Tabela 1, para a estimativas da altura total das outras árvores do povoamento.

Tabela 1. Modelos hipsométricos testados para a estimativa da altura total.

Modelos	FORMA DE AJUSTE
Parabólico ou de Näslund (1929)	$HT = \beta_0 + \beta_1 DAP + \beta_2 DAP^2 + e_i$
Stofel (1950)	$Log(HT) = \beta_0 + \beta_1 \log(DAP) + e_i$
Curtis	$Ln(HT) = \beta_0 + \beta_1 \left(\frac{1}{DAP}\right) + e_i$
Chapman – Richards	$HT = \beta_0(1 - e^{-\beta_1 DAP})^{\beta_2} + e_i$
Prodan (1951)	$(HT - 1,3) = \frac{DAP^2}{\beta_0 + \beta_1 DAP + \beta_2 DAP^2} + e_i$

Onde: HT = Altura total; DAP = Diâmetro a 1,30m do solo; β_{is} = parâmetros a serem estimados; Ln = Logaritmo natural; Log = Logaritmo na base 10.

O método utilizado para o ajuste dos modelos consistiu na minimização da soma dos quadrados dos desvios, pelo método dos mínimos quadrados ordinais. Logo após, foram calculadas as estatísticas clássicas para comparação dos modelos: coeficiente de determinação, erro padrão dos resíduos transformado, e análise gráfica dos resíduos. O ajuste dos modelos foi através do software Statgraphics Centurion XVI.

Para obtenção do perfil da árvore ao longo do fuste, foram avaliados os modelos de afilamento de Schöepfer (1966), Hradetzky (1976) e Kozak et al. (1969) (Equações 1, 2 e 3, respectivamente). No modelo de Hradetzky, testou-se os seguintes expoentes 0,00001; 0,00005; 0,0009; 0,0007; 0,0006; 0,0004; 0,0002; 0,0001; 0,009; 0,008; 0,007; 0,006; 0,005; 0,004; 0,09; 0,08; 0,07; 0,06; 0,05; 0,04; 0,03; 0,02; 0,01; 0,9; 0,8; 0,7; 0,6; 0,5; 0,4; 0,3; 0,2; 0,1; 1; 2; 3; 4; 5; 10; 15; 20; 25; 30; 35; 40; 45; 50; 55; 60; 65; 70; 75; 80; 85; 90 e 95.

$$\frac{d_i}{DAP} = \beta_0 + \beta_1 \left(\frac{h_i}{HT}\right) + \beta_2 \left(\frac{h_i}{HT}\right)^2 + \beta_3 \left(\frac{h_i}{HT}\right)^3 + \beta_4 \left(\frac{h_i}{HT}\right)^4 + \beta_5 \left(\frac{h_i}{HT}\right)^5 + e_i \quad (1)$$

$$\frac{d_i}{DAP} = \beta_0 + \beta_1 \left(\frac{h_i}{HT}\right)^{p_1} + \beta_2 \left(\frac{h_i}{HT}\right)^{p_2} + \dots + \beta_n \left(\frac{h_i}{HT}\right)^{p_n} + e_i \quad (2)$$

$$\left(\frac{d_i}{DAP}\right)^2 = \beta_0 + \beta_1 \left(\frac{h_i}{HT}\right) + \beta_2 \left(\frac{h_i}{HT}\right)^2 + e_i \quad (3)$$

A precisão do ajuste foi verificada através da análise das medidas de precisão da regressão, como o coeficiente de determinação corrigido (R^2), o erro padrão da estimativa transformado (Syx) e o erro padrão transformado em porcentagem (Syx%). Já a acurácia do modelo foi obtida da diferença entre o valor real e o valor estimado dos diâmetros (resíduo). Assim, para a obtenção da acurácia foram calculadas estatísticas as quais permitem uma análise mais detalhada do desempenho das estimativas ao longo do fuste.

Um *ranking* foi elaborado para expressar o desempenho de cada modelo de afilamento testado para estimar o diâmetro ao longo do fuste. Neste *ranking*, foi atribuída a nota 1 (maior qualidade) à equação que apresentou maior acurácia em cada posição de medida e, assim, sucessivamente até a equação que apresentou a menor acurácia, sendo que para mesmos valores, as equações receberam a mesma nota. As estatísticas utilizadas para avaliação das estimativas dos diâmetros foram o desvio, o desvio padrão das diferenças, a soma do quadrado do resíduo relativo e a porcentagem dos resíduos. O ajuste dos modelos foi através do software Statgraphics Centurion XVI.

A partir da seleção do melhor modelo hipsométrico, bem como a melhor função de afilamento, foram estimadas a altura de todas as árvores do povoamento, e quantificado os múltiplos produtos, considerando as especificações apresentadas na Tabela 2. Os valores de mercado obtidos em metro estéreo (st) foram convertidos em m^3 através do fator de empilhamento de 0,66.

Tabela 2. Especificações e valores de mercado em $R\$/m^3$ dos produtos de madeira analisados.

PRODUTOS	DIÂMETRO DE PONTA (cm)	COMPRIMENTO (m)	PREÇO (R\$/St)	PREÇO (R\$/ m^3)
Serraria	25	4,0	169,62	257,00
Celulose	15	2,2	64,68	98,00
Carvão	10	2,0	44,88	68,00

Lenha	3	1,5	34,98	53,00
--------------	---	-----	-------	-------

Fonte: Do autor (Valores simulados).

Após esta etapa, comparou-se a receita obtida pela comercialização da madeira considerando os seguintes cenários: venda da madeira para lenha e venda de madeira para múltiplos produtos, de acordo com situação real solicitada. Os cálculos realizados para essas estimativas foram realizados no Excel.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os ajustes das equações hipsométricas são apresentadas na Tabela 3. O modelo de Prodan apresentou melhor relação altura e diâmetro para as árvores do povoamento, com $R^2_{aj} = 80,958\%$; $S_{xy} = 1,947m$ e $S_{yx} = 10,277\%$. Os demais modelos, apesar de mostrarem boas medidas de precisão não superaram o modelo de Prodan.

Tabela 3. Modelos hipsométricos ajustados e suas respectivas medidas de precisão.

Modelo	Parâmetros	R^2_{aj}	$S_{yx}(m)$	$S_{yx}(\%)$
1	$\beta_0 = 22,4287$ $\beta_1 = 0,195086$ $\beta_2 = 2,0882$	78,1	2,089	11,021
2	$\beta_0 = 3,33909$ $\beta_1 = 5,73102$	75,435	2,213	11,618
3	$\beta_0 = 3,67613$ $\beta_1 = 0,220576$ $\beta_2 = 0,0513615$	80,958	1,948	10,277
4	$\beta_0 = -0,368179$ $\beta_1 = 2,10959$ $\beta_2 = 0,0488424$	80,599	1,966	10,374
5	$\beta_0 = 0,721624$ $\beta_1 = 0,460209$	80,626	1,964	10,366

Onde: 1 = Chapman - Richards; 2 = Curtis; 3 = Prodan; 4 = Parabólico; 5 = Stofel.

Em relação as funções de afilamento, de acordo com a Tabela 4, o melhor modelo foi o Polinômio de 5º Grau conforme as medidas de precisão. Entretanto, segundo Assis (2000), as estatísticas tradicionais, como as medidas de precisão, não retratam o desempenho das funções de afilamento. Sendo assim servem apenas com um indicativo da correlação existente entre as variáveis envolvidas nos modelos testados. Nota-se que os modelos ajustados apresentam alto valor de erro ($S_{yx}\%$), nesse sentido seria necessário o ajuste por classes diamétricas, o qual não foi possível devido ao reduzido número de árvores por classe. A estratificação em classes de DAP foi utilizada e sugerida por Ferreira (1999), em estudos com *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus cloeziana*; e por Müller (2004), utilizando dados de árvores de grandes dimensões de *Eucalyptus grandis*.

Tabela 4. Modelos polinomiais não segmentados ajustados e as suas respectivas medidas de precisão.

Modelo	Equação	R^2_{aj}	$S_{yx}(cm)$	$S_{yx}(\%)$
1	$\beta_0 = 1,32599$ $\beta_1 = 5,67586$ $\beta_2 = 24,5683$ $\beta_3 = 53,2835$ $\beta_4 = 51,9761$ $\beta_5 = 18,9169$	92,33	2,008	16,307
2	$\beta_0 = 12832,9$ $\beta_1 = 12832,2*(hi/HT)^{00001}$ $\beta_2 = 0,577532*(hi/HT)^2$ $\beta_3 = 0,0934683*(hi/HT)^{10}$	88,26	2,537	20,605
3	$\beta_0 = 1,36687$ $\beta_1 = 2,90549$ $\beta_2 = 1,63886$	82,73	2,212	17,961

Onde: 1 = Polinômio do 5º grau; 2 = Modelo de Hradetzky; 3 = Modelo de Kozak.

O polinômio do 5º Grau foi o que apresentou melhores estimativas, seguido do Modelo de Hradetzky, e por último o modelo de Kozak. O polinômio de 5º Grau também apresentou as melhores medidas de acurácia o que resultou na primeira colocação no ranking sobre os desempenhos dos modelos.

A partir das estimativas de altura total das árvores pelo modelo de Prodan, e somado ao uso da melhor função de afilamento encontrada (polinômio do 5º grau), foi estimado os múltiplos produtos da madeira para o povoamento em estudo, bem como o seu volume, conforme Tabela 5.

Tabela 5. Número de toras por produto, volume em m³ por produto, volume do toco, volume do resíduo e total de toras e volume total

Produto	Diâmetro mínimo (cm)	Comprimento (m)	Número de toras	Volume (m ³)
Serraria	25	4,0	-	0,000
Celulose	15	2,2	250	17,241
Carvão	10	2,0	765	22,253
Lenha	3	1,5	1.356	10,036
Resíduo	-	-	-	1,246
Toco	-	-	-	0,979
Total*	-	-	2.371	51,715

Onde: *sem toco

Ao comparar as receitas geradas para os dois cenários utilizados, foi encontrado o valor de R\$3.734,74 para o povoamento ao aplicar o uso múltiplo da madeira e o valor de R\$2.740,92 para o povoamento para apenas um único produto (lenha). A partir dessas informações é possível perceber que o uso desta metodologia permite um maior entendimento da produção, auxiliando no seu planejamento. De posse dessas informações estratégicas, o proprietário da área terá como negociar melhor seus produtos, aumentando sua receita, uma vez que o uso de funções de afilamento nos permite um ganho maior de possibilidades na quantificação florestal.

CONCLUSÕES

O Modelo de Prodan apresentou melhores medidas de precisão. De igual modo, na avaliação dos resíduos, este modelo é o de melhor desempenho. O Polinômio do 5º Grau foi o melhor modelo na estimativa dos diâmetros de maneira geral, seguido do Modelo de Hradetzky e do Modelo de Kozak. O Modelo de Hradetzky também apresentou boa acurácia na estimativa dos diâmetros, entretanto seu desempenho é inferior ao Polinômio do 5º Grau.

A avaliação econômica da floresta considerando a opção de quantificação do uso múltiplo da madeira é uma opção estratégica, pois permite visualizar melhor os diferentes produtos que podem ser aproveitados, uma vez que apresenta receitas maiores, quando comparado com a venda única de lenha para este povoamento analisado.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSIS, A. L. **Avaliação de modelos polinomiais segmentados e não segmentados na estimativa de diâmetros e volumes comerciais de *Pinus taeda***. 2000. 193 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Lavras, UFLA, Lavras, 2000.

FERREIRA, S. O. *Estudo da forma do fuste de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus cloeziana**. 1999. 132 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Lavras, UFLA, Lavras, 1999.

HRADETZKY, J. Analyse und interpretation statistischer abränger keiten. (Biometrische Beiträge zu aktuellen forschungs projekten). Baden: Württemberg Mitteilungen der FVA, 1976. 146p. (Abt. Biometric und Informatik, 21).

KOZAK, A; MUNRO, D. D; SMITH, J. H. G. Taper functions and their application in Forest inventory. **Forestry Chronicle**, v.45, n.4, p.278-283, 1969.

MÜLLER, I. **Forma de fuste e sortimentos de madeira para *Eucalyptus grandis* hill ex maiden., manejado em alto fuste, na região sudeste do estado do Rio Grande do Sul**. 2004. 165 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, UFSM, Santa Maria, 2004.

SCOLFORO, J. R. S. **Biometria Florestal: Parte I: Modelos de regressão linear e não linear; Parte II: Modelos para relação hipsométrica, volume, afilamento, e peso de matéria seca**. Lavras: UFLA/FAEPE, 2005.