

EFICIÊNCIA DOS MÉTODOS PARA ESTIMATIVA VOLUMÉTRICA DE *Eucalyptus camaldulensis*

Edmilson Jorge Franco¹, José Roberto S. Scolforo², José Marcio de Mello²,
Antônio Donizette de Oliveira²

RESUMO - O presente trabalho teve os seguintes objetivos: selecionar e testar a eficiência da equação de volume de dupla entrada, equação de volume de dupla entrada associada à relação hipsométrica, equação de volume de simples entrada, equação do povoamento, fator de forma e método dos dois diâmetros para estimativa do volume de um povoamento de *Eucalyptus camaldulensis*. Verificou-se ainda, a que altura da árvore deve-se tomar o diâmetro complementar ao DAP para tornar eficiente o método dos dois diâmetros e o ponto onde a espessura da casca é representativa para toda a árvore. Os dados foram coletados na fazenda Patagônia, município de João Pinheiro MG., pertencente à companhia MANNESMANN FLORESTAL Ltda. Foram amostradas 128 árvores distribuídas em diferentes classes de diâmetro com idades variando de 28 a 76 meses. Estatisticamente, nenhum dos métodos utilizados apresentou estimativas semelhantes aos valores paramétricos. No entanto, verificou-se um bom desempenho das equações de volume de dupla entrada e do modelo hipsométrico construídos por Scolforo, Mello e Franco (1997). Para o método dos dois diâmetros constatou-se que, medidas tomadas ao nível do DAP e a 3 metros de altura, foram as mais eficientes. Os pontos para medição da espessura de casca foram definidos em 2 situações: a 1,20m ou nas alturas de 0,3; 1,8 e 3,0 metros. A espessura tomada em qualquer destas 2 situações, representa a espessura média de casca da árvore.

Palavras-chave: Modelos volumétricos, espessura de casca, *Eucalyptus camaldulensis*.

¹MANNESMANN FLORESTAL LTDA 35790-000 Curvelo-MG.

²Departamento de Ciências Florestais, UFLA - CP. 37 - 37200-000 Lavras-MG.

EFFICIENCY OF METHODS FOR VOLUME ESTIMATION OF *Eucalyptus camaldulensis*

ABSTRACT - The present research work had the following objectives: to select and to test the efficiency of the double entry volume equation, double entry volume equation associated to the hypsometric relationship, simple entry volume equation, stand volume equation, form factor and the method of the two diameters to estimate the volume of an *Eucalyptus camaldulensis* stand. It was still verified at what height have to be measured complementary diameters to the DBH to make the two diameters method efficient and the point where the bark thickness is representative for the whole tree stem. The data were collected in the Patagônia farm, in the county of João Pinheiro, State of Minas Gerais, Brazil, belonging to MANNESMANN FLORESTAL LTDA Companhia. A total of 128 trees distributed in different diameter classes were sampled. The age variation of the sampled trees ranged from 28 to 76 months. It was verified that the models which used diameter and height as independent variables, gave better estimates than those ones constructed as a function of only DBH. The generic and the tradicional hypsometric models were equally efficient when associated with the double entry volume equation. The two diameters method has a simple and easy work methodology, but less efficient than the models of double entry. The form factor gave suitable estimates since the age, spacing and site is controlled.

Key Words: volumetric models, bark thickness, *Eucalyptus camaldulensis*.

1 INTRODUÇÃO

O conhecimento do estoque atual e futuro das florestas é imprescindível para o planejamento florestal. Através destes estoques, é possível planejar a colheita florestal, decidir sobre a venda ou compra de terras, e analisar o crescimento desta floresta ao longo dos anos, dentro dos diferentes sítios e diferentes regimes de desbaste.

Quando é desejado obter uma estimativa mais precisa do estoque florestal, pode-se fazer uso de vários procedimentos. Dentre estes, o uso da equação de volume de dupla entrada é o mais utilizado. Seu ajuste é geralmente obtido através do método dos mínimos quadrados, conforme encontrado em Campos, Leite e Souza (1990), Silva (1991), Souza e Jesus (1991), Paula Neto e Resende (1992), Scolforo (1993a), Leite, Guimarães e Campos (1995). No caso do povoamento florestal apresentar correlação diâmetro-altura tendendo a 1, podem-se utilizar equações volumétricas de simples entrada. O sucesso de uso destes procedimentos depende de uma amostragem representativa do maciço florestal, em que as árvores selecionadas para cubagem rigorosa representem adequadamente a variabilidade da amplitude em diâmetro e altura do povoamento, e a amostragem do inventário florestal deve retratar de forma clara a variabilidade da população sob estudo.

Uma das opções para reduzir custo no inventário florestal é o uso da relação hipsométrica. Esta relação pode ser a tradicional, em que a altura é estimada a partir da variável diâmetro. Neste caso, seu ajuste deve ser a "nível das parcelas" localizadas no talhão, no intuito de controlar variabilidade, como: espaçamento, idade e índice de sítio (Couto e Bastos, 1987; Cardoso, 1990; Lappi, 1991; Arabatzis e Burkhardt, 1992; Scolforo, 1993b; Machado et al. 1994).

Outra metodologia para estimativa do volume é o método dos dois diâmetros que tem como princípio a alta correlação positiva entre o volume de uma pequena porção da árvore, e o volume total da árvore pela qual se tem interesse. Este método foi testado por Silva e Borders (1993) e mostrou ser uma opção para redução dos custos do inventário florestal.

A equação do povoamento é outra maneira de estimar o volume. Neste caso, a estimativa é por unidade de área. Trabalhos desenvolvidos sobre este tema por Silva (1979); Rosot (1989) e Scolforo, Mello e Almeida (1994), estudando alternativas para estimar volume em *Eucalyptus* sp., em *Pinus taeda* e floresta nativa, comprovaram sua eficiência.

O uso de funções de forma ou afiletamento, funções splines cúbicas e razão de volume é recomendável quando se tem interesse em outras opções que não só volume total ou algum volume comercial. Este interesse complementar propicia quantificar o estoque dos múltiplos produtos da madeira ou os sortimentos.

Já o fator de forma é uma opção antiga que deve ser utilizada em situações em que não se tenha nenhuma informação, ou ainda quando se necessita de rapidez do trabalho de inventário.

Embora utilizados pelo setor florestal, existem dúvidas quanto ao procedimento mais adequado para estimar o volume do povoamento florestal. É comum em nome de uma maior

praticidade e redução de custos, eliminar o uso da altura ou ainda medir somente parte destas em cada parcela que compõe o inventário florestal. Para melhor esclarecer estas questões, e também para inferir sobre a eficiência dos métodos de estimar volume, é que foi desenvolvido este trabalho.

O objetivos específicos deste estudo, foram: selecionar e testar a eficiência da equação de volume de dupla entrada, dupla entrada associada à relação hipsométrica, de simples entrada, da equação do povoamento, do fator de forma e do método dos dois diâmetros para estimativa do volume de um povoamento de *Eucalyptus camaldulensis*; explicitar o método dos dois diâmetros, definindo a que altura da árvore deve-se tomar o diâmetro complementar ao DAP para tornar eficiente o método dos dois diâmetros e definir a altura de medição ao longo do fuste, onde a espessura da casca é representativa para toda a árvore.

2 MATERIAL E MÉTODO

2.1. Caracterização da Área

O estudo foi realizado em um maciço florestal de *Eucalyptus camaldulensis*, pertencente a MANNESMANN FLORESTAL Ltda, localizado na Fazenda Patagônia, no Município de João Pinheiro (MG), conforme se pode visualizar na Figura 1. De acordo com Golfari (1975), a cidade de João Pinheiro está localizada na região bioclimática 7, no setor oeste e norte da Serra do Espinhaço, a uma altitude entre 600m a 1000m, compreendendo chapadões baixos e colinas com relevo ondulado suave a ondulado forte. O clima subtropical é úmido e subúmido. A temperatura média anual varia de 19 a 22°C. A região apresenta evapotranspiração potencial anual entre 900 a 1100mm. Os solos são, predominantemente, luvissolos férricos, ferrassolos ácidos e arenossolos ferrálicos, e a vegetação original é de cerrado com diferentes tipologias.

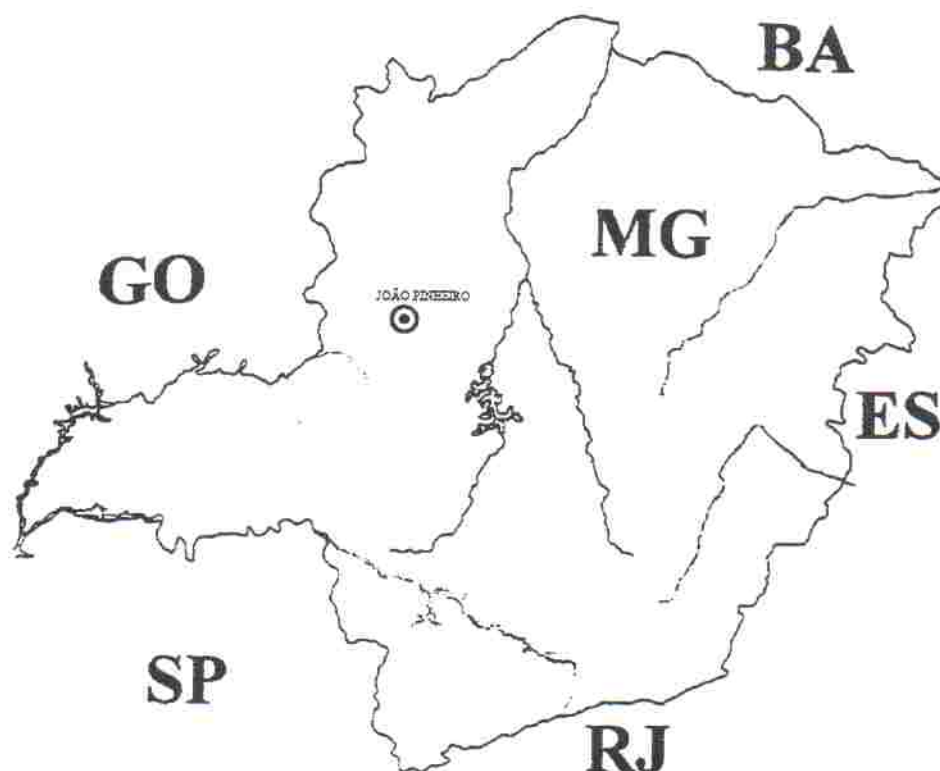


FIGURA 1 - Área de realização do estudo

2.2. Levantamento de Dados

Foram amostradas um total de 128 árvores distribuídas em diferentes classes de diâmetro e altura. O espaçamento por ocasião do plantio foi de 3 x 2,5m, e as idades amostradas variaram de 28 a 76 meses. Foram cubadas árvores sem qualquer problema fitossanitário e sem bifurcações. A distribuição das árvores amostradas por classe de diâmetro e altura está apresentada na Tabela 1.

TABELA 1 - Distribuição de frequência das árvores amostradas na cubagem rigorosa por classe de DAP e classe de altura.

Classe de DAP (cm)	Valor central das classes de altura total (m)							Total
	9	11	13	15	17	19	21	
5,0 — 7,5	05	08						13
7,5 — 10,0	02	20	11	02				35
10,0 — 12,5		02	02	07	16	02		29
12,5 — 15,0				02	19	14		35
15,0 — 17,5						09	04	13
17,5 — 20,0					01	01	01	03
Total	07	30	13	11	36	26	05	128

Abatidas as árvores, efetuou-se a cubagem rigorosa, medindo-se o diâmetro na base, a 0,30m do solo e de 0,30m em 0,30m até a altura de 3,00m. Logo após, mediu-se o diâmetro de metro em metro até um diâmetro mínimo de 3 cm com casca. Foi medido também o diâmetro a 1,30m (DAP) e a altura total de cada árvore. O instrumento utilizado para medir o diâmetro foi a suta de 50cm de diâmetro com aproximação de 0,1 cm. Em cada ponto de medição do diâmetro, tomou-se nos dois lados da árvore a espessura da casca utilizando para tal o medidor de espessura de casca. Os dados foram processados pelo programa VOLCOM.BAS, o qual propiciou as seguintes informações: Volume total com casca, DAP, altura total, volume até 3cm com casca e fator de forma; volume de cada torete, tendo sempre como um extremo o diâmetro em cada uma das pequenas secções de 0,30 m, e no outro extremo, o DAP.

Os ajustes de todos os modelos utilizados, assim como a construção de eventuais modelos volumétricos, foram efetivados através do “Software” Statgraphics, versão 6.1. A variável dependente assumiu o valor do volume total com casca e do volume até três centímetros de diâmetro com casca.

2.3. Equações de Volume

Para estimativa do volume individual das árvores foram utilizados os modelos de simples e dupla entrada, tradicionalmente citados na literatura florestal conforme se pode observar em Campos, Leite e Souza (1990), Silva, Borders e Bailey (1993), Scolforo (1993a) e Franco (1996). Nos modelos de simples entrada, a variável dependente foi o volume total com casca, enquanto o DAP foi a variável independente. Os modelos de dupla entrada tiveram como variável dependente o volume total com casca e como variável independente, o DAP e a altura total.

2.4. Método dos Dois Diâmetros

A questão central neste método é que o volume de qualquer porção da árvore é altamente correlacionado com o volume total ou mesmo com qualquer volume comercial da árvore. Desta maneira o interesse é saber qual porção da árvore de *Eucalyptus camaldulensis* é mais correlacionada com o volume total com casca e com o volume comercial com casca até um diâmetro de 3 cm com casca.

Buscando responder a esta pergunta, a cubagem rigorosa foi efetuada de 0,30m em 0,30m desde a base da árvore até a altura de 3,00m, conforme descrito no item 2.2. Pode-se então calcular o volume de várias seções, tendo sempre como uma das extremidades o diâmetro a 1,30m (DAP). Assim, calculou-se o volume de 0,00m - 1,30m; 0,30m - 1,30m; 0,60m - 1,30m; 0,90m - 1,30m; 1,20m - 1,30m; 1,30m - 1,50m; 1,30m - 1,80m; 1,30m - 2,10m; 1,30m - 2,40m; 1,30m - 2,70; 1,30m - 3,00m. O volume de cada torete (V_i) foi correlacionado ao volume total da árvore, visando detectar qual volume (V_i) apresentou maior correlação com o volume total da árvore com casca, e com o volume comercial com casca até um diâmetro mínimo de 3cm com casca, utilizando-se para tal modelos lineares.

O desenvolvimento do método de dois diâmetros e sua operacionalização é apresentado a seguir:

A equação da reta estabelece a relação entre o volume do torete e o volume da árvore:

$$V = \beta_0 + \beta_1 (V_i) \quad (1)$$

em que,

V = volume total da árvore

β_i = parâmetros a serem estimados

V_i = volume entre o DAP e o diâmetro na i ésima altura (h_i).

Como o volume de qualquer pequena seção pode ser obtido através da fórmula de Smalian, tem-se:

$$V_i = \frac{[(\pi \text{DAP}^2/40000) + (\pi \text{Di}^2/40000)] * \ell}{2} \quad (2)$$

Então substituindo-se (2) em (1), a equação ajustada pode assumir a forma:

$$V = \beta_0 + \beta_1 \frac{[(\pi \text{DAP}^2/40000) + (\pi \text{Di}^2/40000)] * \ell}{2}$$

$$V = \beta_0 + \beta_1 (\pi/80000) * \ell * (\text{DAP}^2 + \text{Di}^2)$$

Sendo $K = (\pi/80000) * \ell$, então

$$V = \beta_0 + \beta_1 * K * (\text{DAP}^2 + \text{Di}^2) \quad (3)$$

em que

DAP = diâmetro a 1,30m de altura

Di = diâmetro a i ésima altura

ℓ = comprimento da seção em relação ao DAP

β_i = parâmetro da equação

π = constante 3,1417.

A expressão (3) é a forma final de trabalho. Encontrado o volume do torete que mais se correlacionou ao volume total ou comercial da árvore, pode-se identificar o par de diâmetro

correspondente. Para propiciar maior praticidade ao método, utilizaram-se modelos lineares para estimar o diâmetro a qualquer altura em função do DAP, conforme apresentado na Tabela 2. Tal fato será ilustrado a partir da equação da linha reta.

$$D_i = \beta_2 + \beta_3 * DAP \quad (4)$$

Substituindo então (4) em (3) tem-se:

$$V = \beta_0 + \beta_1 * K * [DAP^2 + (\beta_2 + \beta_3 * DAP)^2]$$

TABELA 2 - Modelos matemáticos baseados no diâmetro nas alturas de 0,30m; 0,60m; 0,90m; 1,20m; 1,50m; 1,80m; 2,10m; 2,40m; 2,70m; 3,00m em relação ao DAP.

NOME DO MODELO	MODELOS
RETA	$D_i = \beta_0 + \beta_1 DAP + e_i$
HIPÉRBOLE	$D_i = \beta_0 + \beta_1 (1/DAP) + e_i$
RETA (logaritimizada)	$\text{Log}D_i = \beta_0 + \beta_1 \text{Log}DAP + \text{Log} e_i$

em que:

D_i : é o i ésimo diâmetro da outra extremidade da tora

DAP: diâmetro a altura do peito (1,30 m)

Log: logaritmo natural

e_i : erro de estimativa

2.5. Fator de Forma Absoluto

Para as 128 árvores amostradas foram calculados o fator de forma com casca para a árvore toda e o fator de forma com casca da árvore até o diâmetro com casca igual a 3 cm. Foi obtido também o fator de forma médio por idade. Através destes fatores de forma médios por idade, foi

possível estimar o volume total com casca, e o volume com casca até o diâmetro de 3 cm com casca de cada árvore.

2.6. Equação do Povoamento

Neste caso utilizaram-se as medidas de diâmetro e altura coletadas em 182 parcelas na mesma região de estudo. Com estas variáveis obteve-se o volume cilíndrico de cada árvore. A somatória destes volumes propiciou o volume cilíndrico por parcela, que foi extrapolado para o hectare. Pode-se, então, estabelecer relação entre esta variável e a área basal, ou a área basal e a altura média aritmética, ou ainda a área basal e a altura média das árvores dominantes, e mesmo combinações entre estas, principalmente na forma de produto cruzado. Os modelos testados foram apresentados por Scolforo (1993a) e Franco (1996), dentre outros. A obtenção do volume sólido foi através do produto volume cilíndrico pelo fator de forma médio por idade, obtido das 128 árvores da cubagem rigorosa.

2.7. Associação da Relação Hipsométrica à Equação de Volume de Dupla Entrada

Consideraram-se duas opções de uso das relações hipsométricas, conforme detalhe encontrado em Scolforo, Melo e Franco (1997).

a) Relação hipsométrica típica associada à equação de volume de dupla entrada.

Os modelos hipsométricos testados são apresentados na Tabela 3 e serão ajustados para cada um dos cinco talhões que contêm as 15 parcelas que compõem o teste de aplicabilidade a ser desenvolvido neste trabalho.

TABELA 3 - Modelos hipsométricos típicos.

AUTORES	MODELOS
TROREY	$H = \beta_0 + \beta_1 D + \beta_2 D^2 + e_i$
STOFEL	$\text{Log}H = \beta_0 + \beta_1 \text{Log}D + \text{Log} e_i$
PETTERSON	$H = 1 / (\beta_0 + \beta_1/D)^{1,5} + e_i$
PRODAN	$H = [(D^2) / (\beta_0 + \beta_1 D + \beta_2 D^2)] + 1,3 + e_i$

em que:

H = altura da *i*ésima árvore da parcela

D = diâmetro da *i*ésima árvore da parcela

Log = logaritmo natural

β_{is} = parâmetros a serem estimados

e_i = erro de estimativa.

Cada relação hipsométrica propiciará a estimativa da altura de cada árvore na parcela. Deve-se tomar cuidado para utilizar a equação correspondente às parcelas que estão locadas no mesmo talhão. A altura estimada pela equação será utilizada nos modelos de dupla entrada selecionados para estimar o volume total com casca; e o volume comercial com casca até 3 cm de diâmetro com casca.

b) Equação hipsométrica genérica associada à equação de volume de dupla entrada

Neste caso foi utilizado o modelo construído por Scolforo, Mello e Franco (1997), $\text{Ln}(H) = \beta_0 + \beta_1 (Hd) + \beta_2 (DG/D) + \beta_3 (I) + \beta_4 (D) + e_i$, para a mesma região e espécie onde foi desenvolvido este estudo. A altura da árvore é função de seu diâmetro a 1,30 m (D); da densidade do povoamento expressa pelo diâmetro médio quadrático (DG); da produtividade do sítio expressa pela altura média das árvores dominante (Hd) e da idade em meses (I).

2.8. Critérios para Seleção dos Modelos

Para selecionar as equações que tiveram melhor desempenho na estimativa, foram avaliadas as seguintes medidas de precisão: coeficiente de determinação corrigido (R^2), erro padrão residual em percentagem ($Syx\%$) na escala original da variável dependente e a distribuição gráfica dos resíduos.

O critério usado para seleção foi selecionar o modelo que melhor estimou a variável de interesse entre os aritméticos, e o mesmo procedimento foi feito para os logarítmicos. Após ter sido escolhido o modelo logarítmico, para compará-lo com o aritmético, fez-se a transformação dos resíduos para obter uma nova soma dos quadrados para este modelo, o que permitiu a obtenção de novo erro padrão residual na escala original da variável dependente. Então, desta maneira, podem-se comparar os dois modelos.

2.9. Aplicabilidade do Modelo

Para o teste de aplicabilidade, foram utilizadas quinze (15) parcelas de 100 m² (10 x 10 m) cada uma, distribuídas aleatoriamente em 5 talhões na área de estudo, nas quais procedeu-se à medida do DAP e altura de todas as árvores. Foi utilizada para obtenção destas medidas, respectivamente, suta graduada em milímetro (mm) e Blume Leiss. Posteriormente, efetuou-se a cubagem rigorosa de todas as árvores de cada parcela, utilizando-se o método de Smalian. Obteve-se o volume real total com casca, exclusive do toco, e também o volume real com casca até um diâmetro 3 cm com casca, exclusive do toco.

A eficiência da estimativa dos volumes de cada método avaliado foi realizada através de uma análise de variância em blocos casualizados (DBC), em que as 15 parcelas constituíram os blocos, e os tratamentos foram:

T1 = Testemunha (volume real médio da parcela)

T2 = Média aritmética dos volumes estimados pela equação de volume de simples entrada

T3 = Média aritmética dos volumes estimados pela equação de volume de dupla entrada

T4 = Média aritmética dos volumes estimados pelo método dos dois diâmetros

T5 = Média aritmética dos volumes estimados pela equação do povoamento

T6 = Média aritmética dos volumes estimados pelo fator de forma

T7 = Média aritmética dos volumes estimados através da associação da relação hipsométrica típica e a equação de volume de dupla entrada

T8 = Média aritmética dos volumes estimados através da associação da relação hipsométrica genérica e a equação de volume de dupla entrada

Os dados foram submetidos ao teste de Normalidade de Bartlett, a fim de verificar se os dados têm distribuição normal ou não.

O teste de média Scott-Knott permitiu verificar as diferenças entre as médias dos tratamentos, conforme Scott e Knott (1974), considerando nível de significância $\alpha = 0,05$.

2.10. Identificação do Ponto Médio na Árvore para tomar Espessura de Casca

Foi obtida a espessura de casca das 128 árvores da cubagem rigorosa medindo-as de 0,30m em 0,30m até a altura de 3,00m, e depois de metro em metro até o diâmetro mínimo de 3cm com casca. Utilizou-se, para tal, medidor de espessura de casca com precisão de 1mm. A espessura da casca coletada na íesima altura que se apresentou mais correlacionada com a espessura de casca média da árvore foi a escolhida para representar o ponto de amostragem da espessura de casca para *Eucalyptus camaldulensis*. Foram utilizados modelos lineares, conforme apresentado na Tabela 4, para viabilizar a estimativa da espessura da casca média da árvore em relação à íesima altura onde esta foi obtida. O ajuste foi realizado a nível de árvore considerando medidas até 9 m de altura, em virtude da cubagem rigorosa ter sido realizada de forma absoluta. Assim, algumas árvores, já a esta altura, apresentaram diâmetro com casca igual a 3 cm.

TABELA 4 - Modelos para expressar o ponto de amostragem da espessura de casca para *Eucalyptus camaldulensis*

CARACTERÍSTICA DE INTERESSE	MODELOS
Espessura de casca (cm)	$EC = \beta_0 + \beta_1 (Ec_i) + e_i$ $EC = \beta_0 + \beta_1 1/Ec_i + e_i$ $\text{Log } EC = \beta_0 + \beta_1 \text{Log}(Ec_i) + \text{Log } e_i$

em que:

EC = espessura média de casca da árvore

Ec_i = espessura de casca na i ésima altura

Log = logaritmo natural

e_i = erro de estimativa

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Métodos de estimativa de volume

3.1.1. Estimativa do volume através da equação de simples entrada

Na Tabela 5 estão apresentadas as equações selecionadas, assim como suas medidas de precisão. A Figura 2 apresenta as distribuições gráficas dos resíduos para as equações selecionadas.

TABELA 5 - Parâmetros estimados e medidas de precisão das equações de volume de simples entrada.

CARACTERÍSTICAS DE INTERESSE	EQUAÇÕES SELECIONADAS	R ²	Syx	Syx(%)
VOLUME EM (m ³)	$\text{LogVtc/c} = - 8.92650 + 2.57819\text{LogD}$	0.979	0.00903	11.23
	$\text{LogV3c/c} = - 9.11804 + 2.64558\text{LogD}$	0.977	0.00923	11.68

Log = logaritmo neperiano

Vtc/c = volume total com casca

V3c/c = volume com casca até diâmetro mínimo de três (3) centímetros com casca

D = diâmetro tomado a 1,30 m

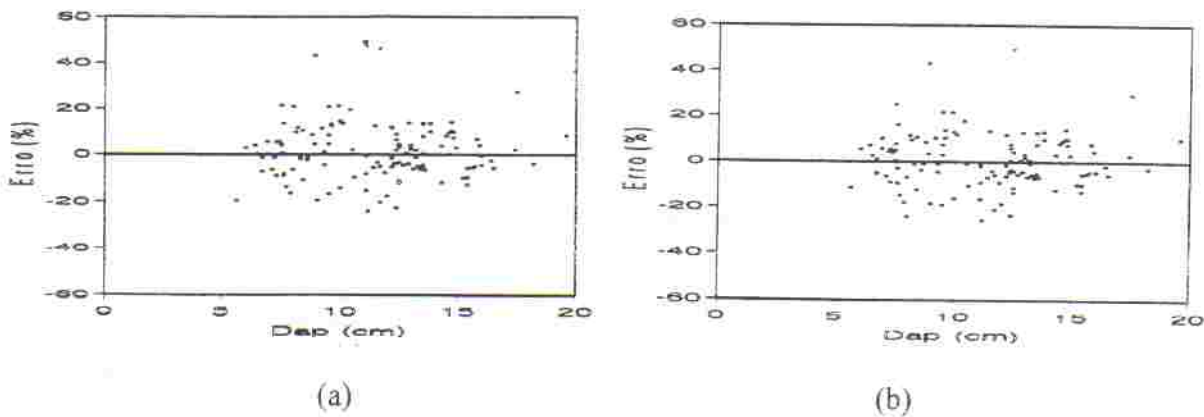


FIGURA 2 - Distribuição gráfica dos resíduos, para a equação de volume total com casca (a) e o volume com casca até 3 cm de diâmetro com casca (b).

As equações selecionadas para estimar o volume total com casca e o volume com casca até um diâmetro de 3 cm com casca apresentaram valores de coeficiente de determinação superiores a 97% e erro padrão residual abaixo de 11,7%. Estes valores são aceitáveis, portanto, as equações são possíveis de serem utilizadas. A distribuição dos erros percentuais entre os volumes observados e estimados pela equação de regressão está apresentada na Figura 2. De acordo com as estatísticas da distribuição e o gráfico dos erros, verificou-se que as estimativas dos volumes, para qualquer classe de tamanho do espectro amostral do trabalho, foi satisfatória. Resultados semelhantes foram encontrados por Alfaro, Paula Neto, Rezende e Bandeira (1986), testando modelos aritméticos e logarítmicos em estudos com eucaliptais incentivados em Minas Gerais.

3.1.2. Estimativa do volume através da equação de dupla entrada

Na Tabela 6 são apresentadas as equações selecionadas e suas medidas de precisão para estimar o volume total com casca, e o volume com casca até o diâmetro de 3 cm com casca, tendo como variáveis independente DAP (diâmetro a 1,30 m de altura) e a altura da árvore. A Figura 3 mostra as distribuições gráficas de resíduos para as equações selecionadas.

TABELA 6 - Parâmetros estimados e as medidas de precisão das equações de volume de dupla entrada.

CARACTERÍSTICAS DE INTERESSE	EQUAÇÕES SELECIONADAS	R ²	Syx	Syx(%)
VOLUME EM (m ³)	$\text{LogVtc/c} = -9.91649 + 0.94884\text{LogD}^2\text{H}$	0,994	0,00625	7,77
	$\text{LogV3c/c} = -10.13102 + 0.97323\text{LogD}^2\text{H}$	0,990	0,00905	11,46

H = altura total da árvore

Log, Vtc/c, V3c/c, D = já foram definidos anteriormente

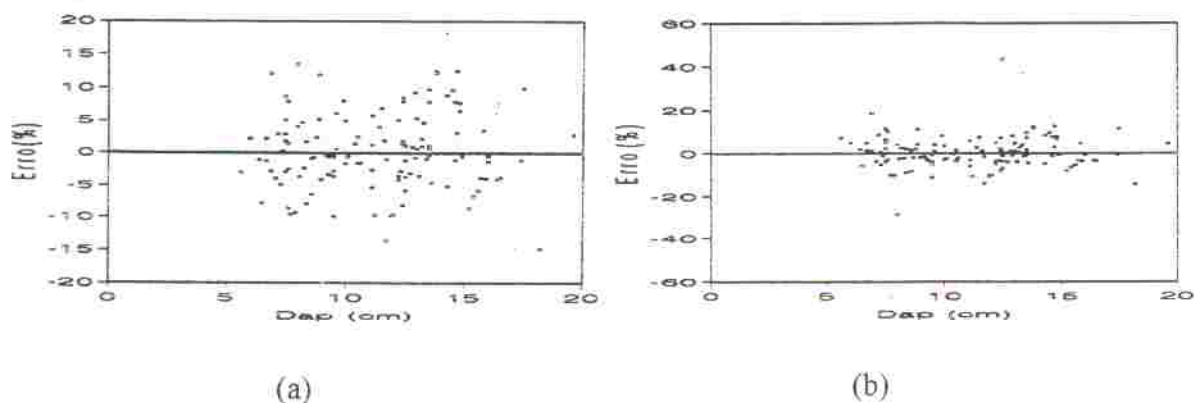


FIGURA 3 - Distribuição gráfica dos resíduos para a equação de volume total com casca (a) e volume com casca até 3 cm de diâmetro com casca (b).

Como pode ser visto na Tabela 6, o modelo da variável combinada logaritimizado apresentou valores superiores a 99% de coeficiente de determinação e erro padrão residual entre 7,77% e 11,46%. Estes valores são acentuadamente diferentes daqueles obtidos para equações de simples entrada. Este fato será explorado com detalhes no item análise de variância. Na Figura 3, observa-se a distribuição gráfica dos erros em percentagem entre o volume observado e o estimado pelas equações selecionadas. Nos trabalhos de Campos, Trevizol Júnior e Paula Neto (1985) e Campos, Leite e Oliveira (1993), selecionando equações de volume, também observaram que o modelo de Spurr ou variável combinada foi o mais apropriado, quando comparado a outros modelos de dupla entrada.

3.1.3 Estimativa do volume através do método dos dois diâmetros

A partir do estudo da correlação (R), do erro da estimativa em m^3 (Syx) e do erro da estimativa em percentagem ($Syx\%$) entre o volume dos toretes e o volume da árvore, pôde detectar o volume de torete mais correlacionado com o volume da árvore com casca. Verificou-se que o torete mais correlacionado foi delimitado pelo DAP e o diâmetro tomado a 3,0 m de altura, conforme pode ser visualizado na Tabela 7.

A correlação entre o volume do torete e o volume da árvore será maior quanto maior o tamanho do torete. Se o tamanho do torete é igual à altura da árvore, a correlação será 1. No entanto, para fins de maior praticidade do método dos dois diâmetros, não é interessante medir dois diâmetros, o que se faz é correlacionar o diâmetro a determinada altura com o DAP (D) e estimá-lo. Assim, quanto mais distante do DAP, menor será a correlação entre eles, o que influirá negativamente em sua estimativa. Por este motivo, tentou-se conciliar as duas situações, alta correlação entre volume do torete e volume da árvore e diâmetro a determinada altura e DAP.

TABELA 7 - Correlação entre volumes das seções e volume da árvore.

EXTREMO DAS SEÇÕES	R	Syx (m^3)	Syx (%)
0,3 — 1,3	0,982	0,00991	12,32
0,6 — 1,3	0,984	0,00931	11,58
0,9 — 1,3	0,986	0,00893	11,11
1,2 — 1,3	0,984	0,00928	11,54
1,3 — 1,5	0,987	0,00854	10,62
1,3 — 1,8	0,988	0,00829	10,29
1,3 — 2,1	0,988	0,00808	10,05
1,3 — 2,4	0,989	0,00755	9,38
1,3 — 2,7	0,989	0,00750	9,33
1,3 — 3,0	0,991	0,00696	8,65

Definido este limite, pôde então estruturar a função dos dois diâmetros, como segue:

$$V = \beta_0 + \beta_1 \text{Log}[K (DAP^2 + D_{3m}^2)] + \beta_2 / \text{Log}[K (DAP^2 + D_{3m}^2)]$$

O ajuste desta função considerando como variável dependente o volume total com casca e o volume com casca até 3 cm de diâmetro com casca, assim como as suas medidas de precisão, são mostradas na Tabela 8.

TABELA 8 - Parâmetros estimados e as medidas de precisão das equações entre os diâmetros 1,30m e 3,00m.

CARACTERÍSTICAS DE INTERESSE	EQUAÇÕES SELECIONADAS	R ²	Syx	Syx(%)
VOLUME EM (m ³)	LogVtc/c=2,76989+1,267051Log[k(DAP ² +D ² _{3m})] + 0,40604/Log[k . (DAP ² + D ² _{3m})]	0,986	0,00719	8,94
	LogV3c/c=3,60608+1,38331Log[k(DAP ² +D ² _{3m})] + 1,95515/Log[k . (DAP ² + D ² _{3m})]	0,983	0,00756	9,57

em que:

$$D_{3m} = - 0,81459 + 0,92588DAP$$

$$K = (3.1416/80.000)*1,7$$

Log, Vtc/c, V3c/c, DAP = já foram definidos anteriormente

A estimativa do diâmetro a 3 metros em função do DAP foi efetuada através da equação: $D_{3m} = - 0,8146 + 0,9259*DAP$, a qual apresentou coeficiente de determinação (R²) igual a 98,42%, erro padrão da estimativa em percentagem (Syx%) igual a 3,75%.

A distribuição gráfica dos resíduos para as equações dos dois diâmetros, pode ser observada conforme se vê na Figura 4.

Observaram-se, para as equações que estimam o volume total com casca e o volume com casca até um diâmetro mínimo de 3 cm com casca, estatísticas superiores às equações de simples entrada (Tabela 5).

Silva et al (1993) testaram esta metodologia em relação ao modelo de Schumacher e Hall e da variável combinada, encontrando medidas de precisão semelhantes para os três modelos, ao estimar volume com e sem casca para *Pinus elliottii* no litoral de Santa Catarina. Também Silva e Borders (1993) utilizaram-se desta metodologia para estimativa de volume de *Pinus taeda* em floresta nos E.U.A.

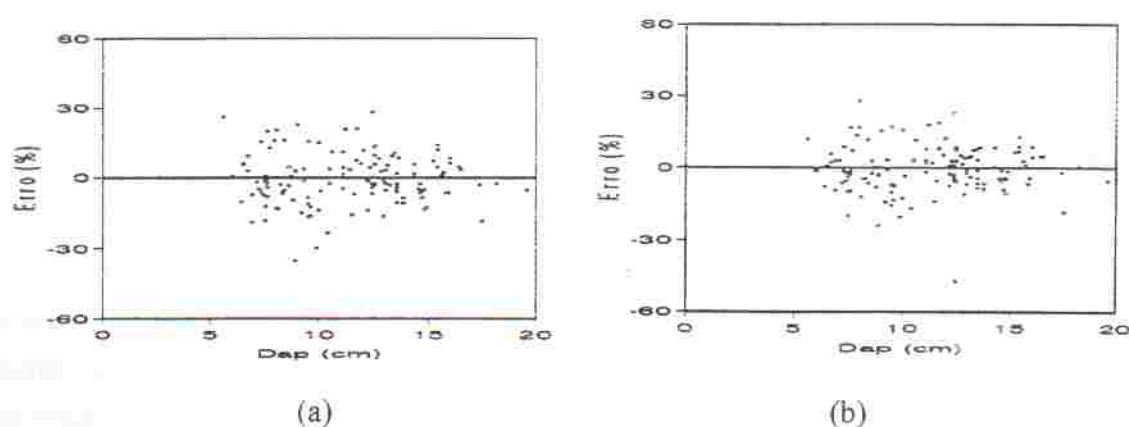


FIGURA 4 - Distribuição gráfica dos resíduos para a equação de volume total com casca (a) e volume com casca até 3 cm de diâmetro com casca (b).

3.1.4 Estimativa do volume através da equação do povoamento

A equação selecionada para estimar o volume cilíndrico para *Eucalyptus camaldulensis* é apresentada a seguir com suas respectivas medidas de precisão:

$$\text{Log } V_{\text{cil}} = 0,03761 + 1,00373\text{Log}(\overline{GH})$$

$$R^2 = 99,99\%$$

$$\text{Syx}\% = 3,09\%$$

Na Figura 5 está ilustrada a distribuição gráfica de resíduo para a equação do povoamento.

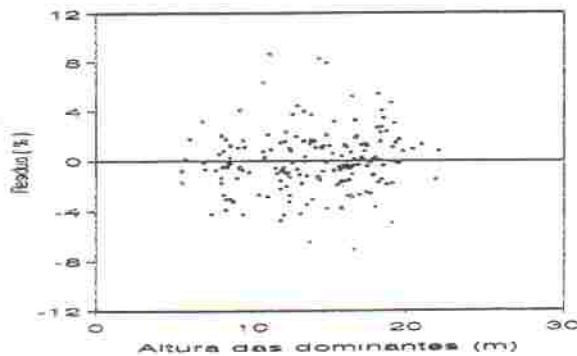


FIGURA 5 - Distribuição gráfica dos resíduos para a equação do povoamento

3.1.5. Estimativa do volume através do fator de forma

Na Tabela 9, encontram-se os valores médios dos fatores de forma para estimativa do volume total com casca, e o volume com casca até diâmetro de 3 cm com casca. Valores semelhantes de fator de forma foram encontrados por Campos, Leite e Oliveira (1993), em estudo com clones de eucalipto em duas regiões no Espírito Santo. Deve-se ressaltar que o volume do cilindro obtido a partir do DAP foi o mesmo para os dois fatores. Apenas a cubagem rigorosa foi que variou, uma considerando a árvore toda, e outra até 3 cm de diâmetro.

TABELA 9 - Valores médios dos fatores de forma para estimativa de volume.

Ff c/c	Ff3 c/c
0,4285	0,4152

Ff c/c = fator de forma para volume total com casca

Ff3 c/c = fator de forma para volume com casca até diâmetro mínimo de três (3) centímetros com casca

3.1.6. Relação hipsométrica associada à equação de volume de dupla entrada

a) Relação hipsométrica típica

Para a associação da relação hipsométrica típica com as quatro categorias volumétricas consideradas neste trabalho, selecionaram-se as equações apresentadas na Tabela 10, a nível de talhão.

TABELA 10 - Equações hipsométricas e suas medidas de precisão.

Talhão	Parcelas	Equações selecionadas	R ²	Syx	Syx%
1	1, 2, 3	$H = ((D^2)/(1,90341 + 0,04353 D + 0,04464D^2)) + 1,3$	0,82	1,10720	9,00
2	1, 2, 3	$H = ((D^2)/(0,51504 + 0,02834 D + 0,03768D^2)) + 1,3$	0,92	0,84781	8,70
3	1, 2, 3	$H = ((D^2)/(3,65091 - 0,25591 D + 0,05193D^2)) + 1,3$	0,85	1,12861	9,38
4	1, 2, 3	$H = ((D^2)/(0,17818 + 0,35234D + 0,028442D^2)) + 1,3$	0,81	1,49178	10,45
5	1, 2, 3	$H = ((D^2)/(0,63294 + 0,31582D + 0,02545D^2)) + 1,3$	0,87	1,41283	9,59

Os ajustes foram bastante satisfatórios, apresentando medidas de precisão conforme aquelas encontradas em Cardoso (1990).

b) Relação hipsométrica genérica

Neste caso utilizou-se a equação desenvolvida por Scolforo, Mello e Franco (1997),

$$\text{Log}H = -0,83159 + 0,17281Hd + 0,14796(DG/D) + 0,22048I + 0,63253D$$

$$R^2 = 0,89$$

$$S_{yx} = 0,29741 \text{ Log}(m)$$

em que:

Log = logaritmo natural

A altura estimada será utilizada nos modelos de dupla entrada selecionados para estimar o volume total com casca e o volume comercial com casca até 3 cm de diâmetro com casca.

3.2. Teste de Aplicabilidade

Nas Tabelas 11 e 12 são apresentados os valores médios dos volumes reais com casca e os volumes reais com casca até diâmetro de 3 cm com casca, para cada uma das 15 parcelas cujas árvores foram cubadas rigorosamente, e também os volumes médios estimados a partir dos sete métodos para estimativa dos volumes, apresentadas anteriormente. Em todas as situações foi efetuado o teste de normalidade de Bartlett, conforme apresentado por Gomes (1984), e, para as duas situações estudadas, constatou-se a normalidade dos dados a nível de significância $\alpha = 0,05$.

TABELA 11 - Volume real médio com casca, e volumes médios estimados pelos sete métodos sob estudo (experimento I).

Parcela	Tratamentos							
	1	2	3	4	5	6	7	8
1	0,05406	0,04642	0,05234	0,04641	0,04580	0,05298	0,05420	0,05693
2	0,07215	0,06349	0,07037	0,06353	0,06456	0,07213	0,07063	0,07342
3	0,04524	0,04037	0,04517	0,04030	0,03930	0,04548	0,04531	0,04692
4	0,05241	0,04526	0,04917	0,04537	0,04547	0,04916	0,04881	0,04507
5	0,05326	0,05059	0,05195	0,05070	0,04869	0,05217	0,05298	0,04978
6	0,06907	0,06329	0,06726	0,06352	0,06786	0,06802	0,06625	0,06339
7	0,02972	0,02532	0,02676	0,02520	0,02372	0,02602	0,02669	0,02620
8	0,03792	0,03381	0,03488	0,03378	0,03162	0,03436	0,03505	0,03501
9	0,02074	0,01826	0,01886	0,01805	0,01670	0,01796	0,01963	0,01881
10	0,07149	0,06115	0,06749	0,06134	0,06608	0,06843	0,06884	0,06661
11	0,09601	0,08160	0,09050	0,08167	0,08964	0,08179	0,08875	0,09012
12	0,07840	0,06650	0,07411	0,06664	0,07556	0,07542	0,07396	0,07287
13	0,05934	0,05228	0,05577	0,05229	0,04969	0,05661	0,05630	0,05843
14	0,06661	0,05396	0,05965	0,05397	0,05621	0,06051	0,05826	0,06111
15	0,08456	0,07144	0,07626	0,07154	0,07744	0,07785	0,07638	0,07969

T1 = Testemunha (volume real médio da parcela)

T2 = Média aritmética dos volumes com casca estimados pela equação de volume de simples entrada

T3 = Média aritmética dos volumes com casca estimados pela equação de volume de dupla entrada

T4 = Média aritmética dos volumes com casca estimados pelo método dos dois diâmetros

T5 = Média aritmética dos volumes com casca estimados pela equação do povoamento

T6 = Média aritmética dos volumes com casca estimados pelo fator de forma

T7 = Média aritmética dos volumes com casca estimados através da associação da relação hipsométrica típica e a equação de volume de dupla entrada

T8 = Média aritmética dos volumes com casca estimados através da associação da relação hipsométrica genérica e a equação de volume de dupla entrada

TABELA 12 - Volume real médio com casca, até 3 cm de diâmetro com casca e os estimados pelos sete métodos sob estudo (experimento II).

Parcela	Tratamentos							
	1	2	3	4	5	6	7	8
1	0,05523	0,04688	0,05302	0,04694	0,04615	0,05338	0,05277	0,05504
2	0,07117	0,06208	0,06895	0,06216	0,06255	0,06988	0,06921	0,07197
3	0,04406	0,03913	0,04388	0,03907	0,03808	0,04406	0,04404	0,04559
4	0,05147	0,04373	0,04760	0,04406	0,04406	0,04763	0,04653	0,04405
5	0,05230	0,04909	0,05041	0,04938	0,04717	0,05055	0,05145	0,03734
6	0,06810	0,06154	0,06549	0,06209	0,06575	0,06590	0,06448	0,06162
7	0,02873	0,02416	0,02557	0,02403	0,02298	0,02521	0,02549	0,02500
8	0,03688	0,03250	0,03353	0,03253	0,03064	0,03329	0,03370	0,03365
9	0,01958	0,01725	0,01784	0,01696	0,01617	0,01740	0,01859	0,01778
10	0,07057	0,05947	0,06579	0,05993	0,06403	0,06630	0,06714	0,06482
11	0,09511	0,08006	0,08898	0,08012	0,08685	0,07925	0,08721	0,08856
12	0,07738	0,06482	0,07237	0,06512	0,07321	0,07308	0,07225	0,07113
13	0,05845	0,05092	0,05439	0,05102	0,04814	0,05485	0,05490	0,05700
14	0,06565	0,05251	0,05816	0,05257	0,05446	0,05863	0,05676	0,05960
15	0,08373	0,06981	0,07458	0,06998	0,07504	0,07543	0,07471	0,07803

em que:

T1, T2, T3, T4, T5, T6, T7, T8 = já definidos anteriormente. Considerar a média aritmética dos volumes com casca até um diâmetro mínimo de 3 cm com casca

3.3. Eficiência dos Métodos sob Estudo

A partir dos valores apresentados na Tabela 11, pode-se comparar, através de um delineamento de bloco ao acaso (DBC), o volume paramétrico médio obtido por parcelas (bloco), com os volumes estimados pelas 7 opções de estimar volume total com casca das árvores de *Eucalyptus camaldulensis*.

Os resultados da análise de variância e do teste de médias são apresentados nas Tabelas 13 e 14, respectivamente.

TABELA 13 - Análise de variância do volume total com casca.

Fonte de variação	Grau de liberdade	Soma de quadrado	Quadrado Médio	Valor de F	Significância. $\alpha = 0,05$
TRAT	7	0,0007524514	0,0001074931	23,864	0.0000
BLC	14	0,0407375400	0,0029098240	645,995	0.0000
RESÍDUO	98	0,0004414320	0,0000045044		
TOTAL	119				

CV% = 3,9

TRAT = tratamento

BLC = bloco

TABELA 14 - Resultado das comparações pelo Teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade, para volume total com casca.

TRAT	Dados	Médias	Comparações
1	15	0,0595	A
8	15	0,0562	B
3	15	0,0562	B
7	15	0,0561	B
6	15	0,0561	B
5	15	0,0533	C
4	15	0,0517	D
2	15	0,0517	D

Médias seguidas de mesma letra são estatisticamente semelhantes ao nível de 5% de probabilidade.

Pode-se observar na Tabela 14 que nenhum dos métodos para estimar volume foi estatisticamente semelhante ao valor paramétrico para o teste utilizado. No entanto, as equações de volume de dupla entrada (T3) e a relação hipsométrica genérica (T8) apresentaram estimativas que diferiram 5,5% em relação à média paramétrica, e a relação hipsométrica típica associada à equação de volume (T7) e a o fator de forma (T6) apresentaram erro de 5,7% em relação a mesma média. Este fato induz a concluir que para a espécie em questão, nos Sítios em estudo, a correlação altura diâmetro não é forte, o que implica na necessidade de uso do DAP e altura total das árvores como elementos básicos para estimativa do volume. Este fato é reforçado pela magnitude do erro (13,1%) dos métodos para estimar volume que se baseiam apenas na variável diâmetro.

A partir dos valores apresentados na Tabela 12, pode-se comparar o volume paramétrico obtido das 15 parcelas com os volumes comercial com casca das árvores de *Eucalyptus camaldulensis*, estimados pelas 7 metodologias consideradas neste estudo.

Os resultados da análise de variância e do teste de médias são apresentados na Tabela 15 e 16, respectivamente.

TABELA 15 - Análise de variância do volume comercial com casca até diâmetro mínimo de três (3) centímetros com casca.

Fonte de variação	Grau de liberdade	Soma de quadrado	Quadrado Médio	Valor de F	Signif. $\alpha = 0,05$
TRAT	7	0,000789972	0,0001128531	18,815	0.0000
BLC	14	0,0398001300	0,0028428660	473,967	0.0000
RESÍDUO	98	0,0005878061	0,0000059980		
TOTAL	119				

CV% = 4,6

Trat = tratamento

BLC = bloco

TABELA 16 - Comparações pelo Teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade, para volume com casca até diâmetro de 3 cm com casca.

TRAT	Dados	Médias	Comparações
1	15	0,0586	A
3	15	0,0547	B
7	15	0,0546	B
6	15	0,0543	B
8	15	0,0541	B
5	15	0,0517	C
4	15	0,0504	C
2	15	0,0503	C

Médias seguidas de mesma letra são estatisticamente semelhantes ao nível de 5% de probabilidade.

Pode-se observar na Tabela 16 que nenhum dos métodos para estimar volume foi estatisticamente semelhante ao valor paramétrico para o teste utilizado. No entanto, as equações de volume de dupla entrada (T3), o fator de forma (T6), a relação hipsométrica típica associada à equação de volume (T7) e a relação hipsométrica genérica (T8) apresentaram estimativas que diferiram 6,6%, 7,3%, 6,8% e 7,7%, respectivamente, em relação à média paramétrica. Este fato induz a concluir que para a espécie em questão, nos Sítios em estudo, a correlação altura-diâmetro não é forte, o que implica na necessidade de uso do DAP e altura total das árvores como elementos básicos para estimativa do volume. Este fato é reforçado pela magnitude do erro (14,0%) em relação à média paramétrica dos métodos para estimar volume que se baseiam apenas na variável diâmetro.

Verificou-se, para as duas variáveis dependentes avaliadas, que sempre as equações de dupla entrada e relação hipsométrica se aproximaram do volume real. Mesmo apresentando erros maiores em algumas situações, a equação hipsométrica ainda é uma excelente alternativa para estimar volume total e comercial com casca. Exceção é notada para o método da equação de simples entrada (T2). Observou-se também que o fator de forma teve um ótimo desempenho na estimativa do volume. Este fato é explicado porque o fator de forma foi obtido e aplicado num

povoamento onde a idade, sitio e espaçamento foram controlados. Pode-se, portanto, fazer uso do fator de forma com segurança, quando o mesmo for obtido por idade e por sitio.

3.4. Espessura de Casca

Após se ajustarem diferentes modelos na tentativa de expressar a espessura de casca da árvore, através da espessura de casca medida na iésima altura nesta mesma árvore, selecionaram-se as equações listadas na Tabela 17 como as que apresentaram maior correlação entre as variáveis em questão. A distribuição gráfica de seus resíduos pode ser observada na Figura 6. Pode-se ver aí que a espessura de casca coletada a 1,20 m de altura, apresentou a maior correlação com a espessura média da árvore, apresentando uma distribuição gráfica de resíduo bastante satisfatória.

Na Tabela 18 é apresentada a mesma situação mostrada na Tabela 17, só que considerando mais de uma altura em que foi medida a espessura de casca em relação à média da árvore. As relações foram construídas através de "stepwise" e pôde-se detectar que, se esta medida for tomada a 0,30m, DAP, a 1,8m e a 3,0m, a relação com a espessura média da casca das árvores será explicada em 77% de suas variações. A distribuição gráfica de seus resíduos pode ser observada na Figura 7.

TABELA 17 - Equações que melhor estimam a espessura de casca de *Eucalyptus camaldulensis*, em relação a uma posição de coleta ao longo do fuste da árvore.

Característica de interesse	Equações	R ² (%)	Syx	Syx (%)
Espessura de casca	$EC = 0,3324 + 0,3844 * Ec_{0,6m}$	0,62	0,124 250	13.63
	$EC = 0,3526 + 0,4172 * Ec_{0,9m}$	0,61	0,125606	13.77
	$EC = 0,3605 + 0,4531 * Ec_{1,2m}$	0,68	0,114502	12.55
	$EC = 0,3308 + 0,4840 * Ec_{1,3m}$	0,67	0,116209	12.74
	$EC = 0,3593 + 0,4809 * Ec_{1,5m}$	0,67	0,115984	12.72
	$EC = 0,3694 + 0,5019 * Ec_{1,8m}$	0,65	0,119440	13.10
	$LogEC = -0,2083 + 0,6125 * LogEc_{1,2m}$	0,72	0,113450	12.45

em que:

EC : espessura de casca média das árvores

Ec_i : espessura de casca medida na iésima altura

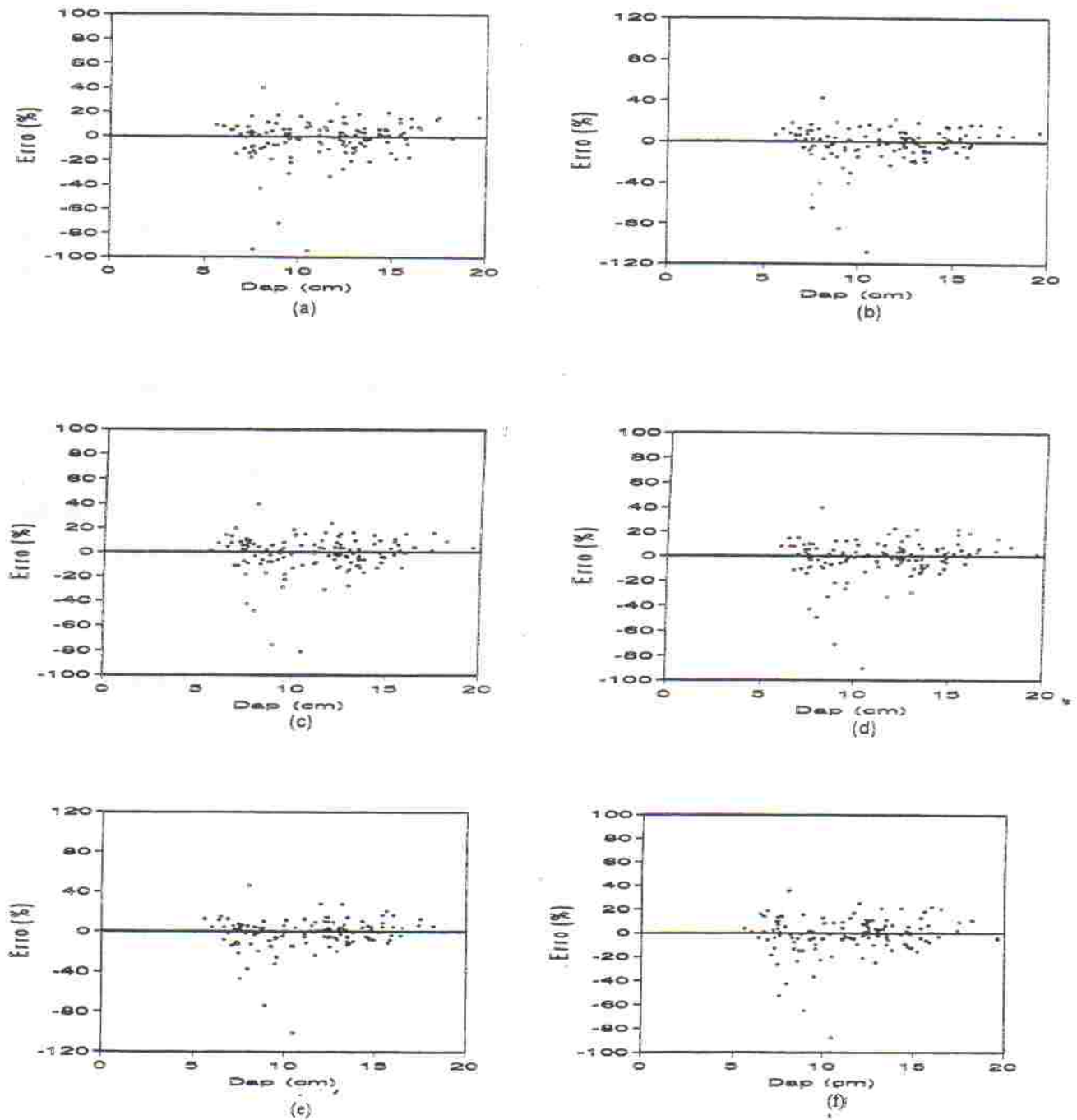


FIGURA 6 - Distribuição gráfica dos resíduos para a equação de espessura de casca, nas alturas 0,60 m (a); 0,90 m (b); 1,20 m (c), 1,30 m (d), 1,50 m(e) e 1,80 m (f).

TABELA 21 - Equações para estimativa da espessura de casca de *Eucalyptus camaldulensis*, em relação a mais de uma posição de coleta ao longo do fuste da árvore

Característica de interesse	Equações	R ² (%)	S _{yx}	S _{yx} (%)
Espessura de casca	$EC = 0,2081 - 0,1241*Ec0,3m + 0,1276*Ec1,3m - 0,1774*Ec1,8m + 0,1525*Ec3,0m$	0,77	0,097612	10,71
	$EC = 0,5869 + 0,3809*Ec1,5m - 0,1089*Ec1,8m$	0,70	0,109883	11,94

EC, Ec = definidas anteriormente.

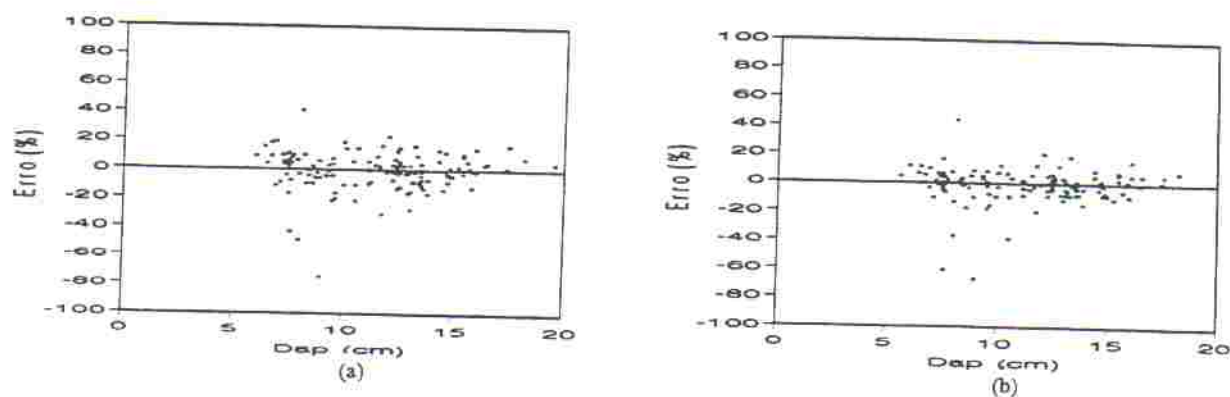


FIGURA 7 - Distribuição gráfica dos resíduos para a equação de espessura de casca, nas alturas 0,3 m, 1,3 m, 1,8 m e 3,0 m (a); 1,5 m e 1,8 m (b).

4 CONCLUSÃO

- Os modelos volumétricos, que se baseiam na estimativa do volume através da variável diâmetro e altura se mostraram superiores àqueles que se baseiam somente no diâmetro.
- Os modelos hipsométricos genérico e tradicional mostraram-se igualmente eficientes quando conjugados à equação de volume de dupla entrada.
- As equações hipsométricas constituem-se numa ótima alternativa para fins do inventário florestal, já que propiciam em parceria com a equação de dupla entrada estimativas tão eficientes quanto os demais métodos que se baseiam no diâmetro e na altura, além de propiciarem menor custo de medição nas parcelas.
- As equações hipsométricas devem ser ajustadas de maneira que sejam controladas as variáveis idade, sítio, e densidade do povoamento florestal.
- Os modelos volumétricos que se baseiam somente na variável diâmetro, sistematicamente levaram a uma maior subestimativa da variável volume.
- Para a situação de estudo, as metodologias utilizadas para estimar volumes, propiciaram erros mínimos de 5% em relação ao valor paramétrico e erros máximos de 14,16% também em relação aos mesmos valores.
- O método dos dois diâmetros mostrou ser uma metodologia fácil de trabalho, no entanto, menos eficiente que as metodologias que se baseiam nas variáveis diâmetro e altura, exceto no caso de volume total com casca.
- O fator de forma forneceu estimativas de volume confiáveis, desde que se controle idade, espaçamento e sítio.
- A espessura de casca da árvore pode ser estimada através da espessura da casca coletada a 1,20 m para coleta em um único ponto, ou, quando se deseja maior precisão, podem tomar medidas a 0,30m, DAP, 1,80m e 3,0m de altura.

5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALFARO, L.G.J.; PAULA NETO, F. de; REZENDE, J.L.P. de; BANDEIRA, H. de L. Curvas de crescimento dos eucaliptais incentivados em Minas Gerais. **Revista Árvore**, Viçosa, v.10, n.2, p.135-150, jul - dez 1986.
- ARABATZIS, A.A.; BURKHART, H.E. An evaluation of sampling methods and model forms for estimating height-diameter relationships in *lobbolly Pine* plantations. **Forest Science**, Washington, v.38, n.1, p.192-198, feb. 1992.
- CAMPOS, J.C.C.; TREVIZOL JÚNIOR, T.; PAULA NETO, F. de. Ainda, sobre a seleção de equações de volume. **Revista Árvore**, Viçosa, v.9, n.2, p.115-126, jul - dez 1985.
- CAMPOS, J.C.C.; LEITE, H.G.; SOUZA, R.N. de. Relações entre espaçamento, volume e peso da madeira em plantações de eucalipto. **Revista Árvore**, Viçosa, v.14, n.2, p.119-133, jul - dez 1990.
- CAMPOS, J.C.C.; LEITE, H.G.; OLIVEIRA, I.A. Variação da forma e do volume do tronco de clones de eucalipto em duas regiões. In: CONGRESSO FLORESTAL PANAMERICANO,1, e CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO,7, Curitiba, 1993. **Anais...** : Curitiba: SBS-SBEF, 1993. p. 559-564.
- CARDOSO, D.J. **Avaliação da influência dos fatores sítio, idade, densidade e posição sociológica na relação hipsométrica para *Pinus taeda* nas regiões central e sudoeste do Estado do Paraná.** Curitiba : UFR, 1990. 118p. (Dissertação de Mestrado).
- COUTO, H.T.Z. do; BASTOS, N.L.M. Modelos de equações de volume e relações hipsométricas para plantações de *Eucalyptus* no Estado de São Paulo. **IPEF**, Piracicaba, n.37, p.33-39, dezembro 1987.
- CERNE, V.3, N.1, p.082-116, 1997

- FILHO, A.F.; OLIVEIRA, C.G. de; MOURA, J.B.; CUNHA, U.S. da. Conversão de equações de volume em equações de forma compatíveis para *Pinus elliottii*. In: CONGRESSO FLORESTAL PANAMERICANO,1, e CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO,7, Curitiba, 1993. **Anais...** : Curitiba: SBS-SBEF, 1993. p. 501-504.
- FRANCO, E.J. **Estudo dos métodos estimativos de volume, biomassa e níveis de produtividade para *Eucalyptus camaldulensis***. Lavras. UFLA, 1996, 100p. (Dissertação de Mestrado).
- GOLFARI, L. **Zoneamento ecológico do Estado de Minas Gerais para reflorestamento**. PRODEPEF, 1975. p. 65 (Série Técnica, 3).
- GOMES, F.P. **Curso de estatística experimental**. 13ª ed, Piracicaba, Nobel, 1984. 468p.
- LAPPI, J. Calibration of height and volume equations with random parameters. **Forest Science**, Washington, v. 37, n. 3, p. 781-801, aug. 1991.
- LEITE, H.; GUIMARÃES, D.P.; CAMPOS, J.C. C. Descrição e emprego de um modelo para estimar múltiplos volumes de árvores. **Revista Árvore**, Viçosa, v.19, n.1, p.65-79, jan - mar 1995.
- MACHADO, S. do A.; BAILEY, R.L.; BASSO, S.F.; BEVILACQUA JÚNIOR, V.G. Análise do comportamento da relação hipsométrica com respeito a idade para plantações de *Pinus elliottii* no Estado do Paraná. **Cerne**. Lavras, v.1, n.1, p.5-12, 1994.
- PAULA NETO, F. de; REZENDE, A.V. Equações de fatores de empilhamento e tabelas de volume em metros estere para árvores individuais. **Revista Árvore**, Viçosa, v.16, n.1, p.72-87, jan - abr. 1992.
- ROSOT, M.A.D. **Estudo comparativo de método para a avaliação volumétrica por unidade de área em um povoamento de *Pinus taeda* L.** Curitiba : UFPr, 1989. 55p.. (Dissertação de Mestrado).
- CERNE, V.3, N.1, p.082-116, 1997

- SCOLFORO, J.R.S.; MELLO, J.M. de; ALMEIDA LIMA, C.S. de. Obtenção de relações quantitativas para estimativa de volume do fuste em floresta estacional semidecídua montana. **Cerne**, Lavras, v.1, n.1, p.123-134, 1994.
- SCOLFORO, J.R.S. Mensuração florestal 2- Volumetria. Lavras:ESAL/FAEPE, 1993a. 126p.
- SCOLFORO, J.R.S. **Inventário florestal**. Lavras: ESAL/FAEPE,1993b. 228p.
- SCOLFORO, J.R.S.; MELLO, J.M. de; FRANCO, E.J. Eficiência da relação hipsométrica tradicional versus a relação hipsométrica genérica. **Cerne**, Lavras, 15p., 1997 (submetido).
- SCOTT, A. J.; KNOTT, M. A cluster analysis method for grouping means in the analysis of variance. **Biometrics**, Woshington, v.30, p.505-512, Sept. 1974.
- SILVA, J.A. **Estimativa do volume por hectare e sua composição em povoamento de *Eucalyptus spp* nos cerrados em Minas Gerais e Mato Grosso do Sul**. Curitiba : UFPr, 1979. 101p. (Tese de Mestrado).
- SILVA, J.A.A. da **Estimativas de volume do tronco e da copa, densidade básica, fator de empilhamento de madeira serrada de eucalipto**. Viçosa : UFV, 1991. 93p. (Dissertação de Mestrado).
- SILVA, J.A. A. da; MACHADO, S. do A.; BORDERS, B.E.; BAILEY, R.L. Uma nova metodologia para construção de tabelas volumétricas. In: CONGRESSO FLORESTAL PANAMERICANO,1, e CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 7, Curitiba, 1993. **Anais...** : Curitiba: SBS-SBEF, 1993. p.557-559.
- SILVA, J.A.A. da; BORDERS, B.E. A tree volume equation based on two lower stem diameters for loblolly Pine in the southeastern United States. **Southern. Journal of applied forestry**. v.17, n.4, p.160-162, nov. 1993.

SOUZA, A.L. de; JESUS, R.M. de Equações de volume comercial e fator de forma para espécies da Mata Atlântica ocorrentes na Reserva Florestal da Companhia Vale do Rio Doce, Linhares, ES. **Revista Árvore**, Viçosa, v.15, n.3, p.257-273. set - dez 1991.