



Revista Árvore

ISSN: 0100-6762

r.arvore@ufv.br

Universidade Federal de Viçosa

Brasil

Leite Garcia, Helio; Andrade Lima de, Valdir Carlos
Uso do método da altura relativa em inventário florestal de um povoamento de pinus
Revista Árvore, vol. 28, núm. 6, novembro-dezembro, 2004, pp. 865-873
Universidade Federal de Viçosa
Viçosa, Brasil

Disponível em: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=48828611>

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

redalyc.org

Sistema de Informação Científica

Rede de Revistas Científicas da América Latina, Caribe, Espanha e Portugal
Projeto acadêmico sem fins lucrativos desenvolvido no âmbito da iniciativa Acesso Aberto

USO DO MÉTODO DA ALTURA RELATIVA EM INVENTÁRIO FLORESTAL DE UM POVOAMENTO DE PINUS¹

Helio Garcia Leite² e Valdir Carlos Lima de Andrade³

RESUMO – Neste trabalho é apresentado um teste do método Altura Relativa em povoamentos de pinus. No primeiro estudo de caso foram utilizados dados de 1.200 árvores cubadas do híbrido entre *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden e *Eucalyptus urophylla* S.T. Blake, para inferir sobre a acurácia proporcionada pelo método e desenvolver uma fórmula que permitisse eliminar ou reduzir o número de árvores-amostra em um inventário florestal. A fórmula desenvolvida foi $hr = \frac{(Ht - 2)}{2}$. Informações geradas por essa fórmula, juntamente com informações de dap e altura total, foram utilizadas para gerar equações de *taper* empregando-se procedimentos de geometria analítica. Em um segundo caso, testou-se o método Altura Relativa na condução de um inventário florestal de um povoamento de pinus. Esse mesmo povoamento foi inventariado, também, por um processo usual. Por meio das avaliações efetuadas, foi possível concluir que o método altura relativa resulta em estimativas precisas e não tendenciosas do *taper* e do volume sólido, podendo ser utilizado em substituição ao usual.

Palavras-chave: *Taper*, altura relativa, geometria analítica e inventário florestal.

USE OF THE RELATIVE HEIGHT METHOD IN PINUS STAND INVENTORY

ABSTRACT – A test of the relative height method in stands of pinus is presented in this work. The first study of case presented utilized data of 1200 trees scaling from *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden and *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake hybrid to make inferences about the accuracy provided by the method, to develop one formula allowing the elimination and/or reduction the number of sample-trees in a forest inventory. The formula developed was $hr = (Ht - 2)/2$, where diameter together with dap and total height (Ht) were used to generate taper equations using procedures of analytical geometry. In a second case, the relative height method was tested in a forest inventory of a pinus stand. This same stand was inventoried by the usual method. According to these evaluations it was possible to conclude that the relative height method results in precise, now-based taper and solid volume estimates and trees be used instead of the usual method.

Key-words: *Taper*, relative height, analytical geometry and forest inventory.

1. INTRODUÇÃO

O método altura relativa foi idealizado com o propósito de modelar o *taper* de árvores de povoamentos eqüíâneos e ineqüíâneos. A proposta inicial, que usou dados de eucalipto e de mata primária, consistia em medir o diâmetro em cinco posições no tronco das árvores e,

por meio de geometria analítica, gerar o perfil do fuste de cada árvore. O volume era obtido por meio do método de Smalian, adotando-se uma cubagem gerada pelo método altura relativa. Nesse caso, além de medir cinco diâmetros, era necessário abater e cubar algumas árvores-amostra (ANDRADE e LEITE, 1997).

¹ Recebido em 05.02.2003 e aceito para publicação em 10.08.2004.

² Dep. de Eng. Florestal da UFV, 36571-000 Viçosa, MG. <hgleite@ufv.br>.

³ Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal da UFLA, Cx. p. 37, 37200-000 Lavras, MG. <vclandrade@hotmail.com>.

Posteriormente, o método foi modificado, sendo utilizados apenas os diâmetros medidos a 1,3 m e em uma altura intermediária, denominada altura relativa (hr), entre 1,3 m e a altura total da árvore. Essa mudança deu origem oficialmente ao método altura relativa, conforme relatos de Andrade e Leite (2001). O procedimento matemático adotado pelos autores, para gerar o *taper*, consistiu em calcular a declividade ou o coeficiente angular da reta que passa entre 1,3 e hr (intervalo I) e entre hr e Ht (intervalo II), empregando-

se as expressões: $\mu_I = \frac{1,3 - hr}{(dap - dhr)/2}$ (1) e $\mu_{II} = \frac{hr - Ht}{(dhr - 0)/2}$ (2), em que μ_I e μ_{II} são os coeficientes angulares das retas formadas, respectivamente, nos intervalos I e II.

As expressões 1 e 2, conforme Andrade e Leite (2001), representam uma expressão de *taper*. A média dos coeficientes angulares das retas de todas as árvores mensuradas, por exemplo, em uma parcela, resulta nas

expressões de *taper*: $d_I = \frac{2h - 2,6}{\bar{\mu}_I} + dap$ (3) e

$d_{II} = \frac{2h - 2Ht}{\bar{\mu}_{II}}$ (4), em que d_I e d_{II} são os diâmetros

na altura comercial desejada h , $\bar{\mu}_j = \frac{1}{n} \sum_{i=1, j=I}^{n, II} \mu_{j_i}$ e n é o número de árvores.

Para obter hr , foi gerada a equação: $hr = Ht + \gamma dap + \varepsilon$, $\gamma < 0$. Já, em Leite e Andrade (2002), foi utilizada a equação $hr = Ht - Ht^2 \gamma_1 dap^{\gamma_2}$. Essas equações foram determinadas previamente com dados de árvores-amostra abatidas e cubadas em seções de 1,0 m.

Nos estudos iniciais sempre foram utilizados dados de plantações de eucalipto. O objetivo do presente estudo foi de apresentar um refinamento no método da altura relativa e avaliar a eficiência do método em inventário de povoamento de pinus. Resultados obtidos pelo método da altura relativa foram comparados com os conseguidos por processo usual.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Inicialmente foram utilizados dados de cubagem de 1.200 árvores-amostra de um híbrido de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*, visando encontrar

a melhor posição para medir o diâmetro dhr e inferir sobre a exatidão do método altura relativa. Essas árvores foram abatidas em povoamentos localizados na região norte do Estado da Bahia, Brasil, implantados no espaçamento inicial de 3,0 x 2,0 m, em regime de alto fuste, com idades atuais entre cinco e oito anos. Com esses dados, foram testadas algumas posições de medição da variável hr , necessária para uso do método altura relativa, dentre elas $hr = kHt/2$, $hr = kHt$, para $k = 0,3, 0,4, 0,5, 0,6, 0,7$, e $0,8$ e $hr = (ht - k)/k$. As estimativas de *taper* e volume obtidas com cada uma dessas posições foram comparadas com os correspondentes valores observados, por meio de análise dos resíduos, sendo selecionada a expressão $hr = (Ht - 2)/2$.

2.1. Estudo de caso 1

Os dados das árvores-amostra cubadas em povoamentos de eucalipto foram obtidos com seções de 1,0 m até a altura correspondente a um diâmetro comercial de aproximadamente 4,0 cm com casca. Os diâmetros máximo e mínimo, observados nessa amostra, foram de 4,0 e 38,0 cm, e a altura total variou entre 8,0 e 36,5 m. Essas árvores foram separadas em duas subamostras de 600 árvores. Na primeira, utilizou-se como dhr o diâmetro medido na posição $hr = (Ht - 2)/2$. Quando não houve coincidência de hr com uma seção cubada na árvore, foi adotada uma interpolação simples para obter o hr e o correspondente dhr .

Os valores de hr e dhr foram utilizados para determinar os coeficientes angulares, empregando-se as expressões 1 e 2 em cada árvore. Com os dados resultantes foram ajustados os seguintes modelos, com, $j = I$ e II :

$$\mu_j = \beta_0 dap^{\beta_1} Ht^{\beta_2} \varepsilon \quad (5)$$

$$\mu_j = \frac{1}{a} dap^2 Ht \left[1 + \beta e^{(-\gamma dap)} \right] \varepsilon \quad (6)$$

As equações selecionadas foram substituídas nas expressões 3 e 4, resultando nas expressões do *taper*, conforme Leite e Andrade (2002). Em seguida foram estimados o *taper* e o volume comercial por árvore, sendo, então, comparadas as estimativas geradas com os correspondentes valores reais, mediante o emprego da análise gráfica dos resíduos e do teste F , seguindo-se as recomendações de Guimarães (1994). As

comparações foram efetuadas com os dados da segunda amostra de 600 árvores, ou seja, com dados independentes. A precisão das estimativas foi verificada, ainda, por meio das estatísticas erro médio porcentual (*EMP*), raiz quadrada do erro médio (\sqrt{EM}) e *bias*, sendo:

$$EMP = \frac{1}{m} \cdot \sum_{i=1}^m \left[\left(\frac{\hat{Y}_i - Y_i}{Y_i} \right) \cdot 100 \right], \quad \sqrt{EM} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^m (\hat{Y}_i - Y_i)^2}{m}} \quad \text{e} \quad Bias = \frac{1}{m} \left(\sum_{i=1}^m \hat{Y}_i - \sum_{i=1}^m Y_i \right)$$

em que \hat{Y}_i e Y_i são os valores estimados e reais da variável avaliada (volume ou *taper*); m = número de unidades de amostra utilizado para obter as estatísticas.

2.2. Estudo de caso 2

Neste segundo estudo foram utilizados dados de um povoamento não desbastado de pinus com 15 anos de idade, plantado no espaçamento inicial de 3,0 x 2,0 m. Nesse povoamento foram lançadas 31 parcelas com área variando entre 225,45 e 343,00 m². Nessas parcelas foram medidos o *dap* de todas as árvores, a altura total (*Ht*) das 10 primeiras árvores e a altura total de cinco árvores dominantes em cada parcela (*Hd*). De posse desses dados foi ajustado o modelo

$$\ln Ht = \beta_0 + \beta_1 \left(\frac{1}{dap} \right) + \beta_2 \ln(Hd) + \varepsilon.$$

O volume por árvore foi obtido pelo emprego de uma equação oriunda do ajuste do modelo volumétrico de Schumacher e Hall (1933). Para ajuste desse modelo, esse procedimento foi denominado usual, pela sigla IFMU.

As mesmas 31 parcelas foram também mensuradas seguindo o método altura relativa, que consistiu em obter os *daps* de todas as árvores e o par (*hr*, *dhr*), além da altura total das cinco primeiras árvores de cada parcela. O diâmetro *dhr*, na altura *hr*, foi medido utilizando um pentaprisma, com um Suunto a ele acoplado, não sendo cubada nenhuma árvore em pé. De posse dos dados, foram obtidos μ_I e μ_{II} para cada árvore, utilizando-se as expressões 1 e 2, e em seguida foram ajustados os modelos 5 e 6.

A seleção do melhor modelo foi feita com base no coeficiente de correlação múltipla e na análise gráfica dos resíduos. Com as equações resultantes, foram geradas as estimativas dos coeficientes angulares (μ_j) de cada árvore de cada parcela, com exceção das cinco primeiras árvores, para as quais foram considerados os valores reais de μ_j . Em seguida, através de transformações

matemáticas, derivaram-se as expressões de *taper*, as quais foram utilizadas para estimar, em cada árvore, os diâmetros a cada metro a partir de 0,1 m (altura do toco remanescente após o corte). Com essas estimativas, aplicou-se a fórmula de Smalian, obtendo os volumes com casca até os diâmetros de 4 e 6 cm. Tal procedimento foi denominado IFMAR.

As estimativas de volume comercial até um diâmetro de 6,0 cm com casca, obtidas pelos dois métodos (IFMU e IFMAR), foram comparadas por meio do procedimento estatístico proposto por Leite e Oliveira (2002) e das principais estatísticas obtidas ao se utilizar o formulário da amostragem casual simples.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Estudo de caso 1

A expressão selecionada para determinar a posição relativa foi $hr = (Ht - 2)/2$ (7). Com essa expressão, foram determinadas as posições *hr* em cada árvore cubada. Nessa posição, foi obtido o par *hr*, *dhr* para todas as 600 árvores-amostra. Em seguida, ajustaram-se os modelos para os coeficientes angulares, sendo selecionadas as seguintes equações:

$$\hat{\mu}_I = 2,683816 \ dap^{-1,444777} \ Ht^{1,397189} (8), \quad \bar{R}^2 = 0,748 \text{ e}$$

$$\hat{\mu}_{II} = 1,499521 \ dap^{-0,847236} \ Ht^{0,876086} (9), \quad \bar{R}^2 = 0,913.$$

Para comprovar a eficiência dos modelos selecionados, ajustou-se o modelo $\mu_j = \beta_0 dap^{\beta_1} Ht^{\beta_2}$ e também a dados de 1.705 árvores abatidas e cubadas em um povoamento de *Eucalyptus grandis*, em regime de talhadia, com idade entre cinco e oito anos de idade, implantado no espaçamento inicial de 3,0 x 2,0 m, localizado na região oeste do Estado de Minas Gerais. As distribuições dos resíduos obtidos são apresentadas na Figura 1, confirmando a eficiência da relação funcional adotada.

É possível obter as equações de *taper* ao substituir a equação 8 na expressão 1. Assim, considerando-se as variáveis *d*, *h* no lugar de *dhr* e *hr*, resulta em

$$\hat{\mu}_I = 2,683816 \ dap^{-1,444777} \ Ht^{1,397189} = 2 \left[(1,3 - h) (dap - d_I)^{-1} \right]$$

Nessa equação, ao isolar *dI* obtém-se:

$$d_I = dap^{1,444777} \ Ht^{-1,397189} (0,968769 - 0,745207 \ h) + dap \ (10).$$

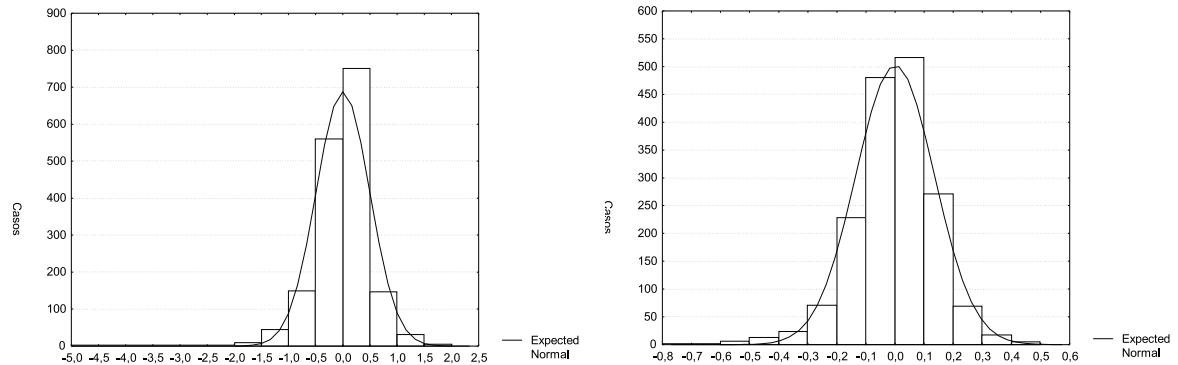


Figura 1 – Distribuição dos resíduos referentes ao modelo $\mu_j = \beta_0dap^{\beta_1}Ht^{\beta_2}\varepsilon$, $j=I$ e II , ajustado a dados de 1705 árvores independentes.

Figure 1 – Distribution of residues relative to model $\mu_j = \beta_0dap^{\beta_1}Ht^{\beta_2}\varepsilon$, $j=I$ e II , adjusted to data of 1705 independent trees.

Procedimento similar foi feito com a equação 9, resultando em $d_{\text{II}} = dap^{0,847236} Ht^{-0,876086}$ ($3,333759 Ht - 1,333759 h$) (11), em que d e h são os valores desejados de diâmetro e altura ao longo do tronco de uma árvore em pé.

A equação 10 é utilizada para determinar o diâmetro ao longo do tronco entre 0,0 m e $h1$. Para posições entre $h1$ e Ht , utiliza-se a média entre as equações 10 e 11. O limite $h1$, isto é, o ponto que delimita o emprego das equações 10 e 11, foi estimado pelo ajuste do modelo $\mu_j = \beta_0dap^{\beta_1}Ht^{\beta_2}\varepsilon$, em que foram considerados os valores hr calculados pela expressão 7, como valores observados de $h1$. A equação obtida foi $\hat{h1} = 0,313549 dap^{0,005661} Ht^{1,113820}$ (12), $\bar{R}^2 = 0,999$.

As equações 10, 11 e 12, que foram obtidas a partir das expressões 1, 2 e 7, constituem o método Altura Relativa. Para estimar o volume foram utilizados os diâmetros estimados por uma cubagem simulada e pela integral das expressões de *taper* geradas.

3.1.1. Volume estimado usando cubagem simulada

Para obter o volume empregando fórmulas usuais de cubagem, deve-se obter $h1$ empregando a equação 12. Em seguida, usando-se as equações 10 e 11, são gerados os diâmetros ao longo do tronco, a cada seção. Aplicando a fórmula de Smalian, obtém-se o volume

da árvore, sendo $V = \sum_{k=1}^{ns} \left[\left(\frac{\pi}{80000} \right) \ell_k \left(\hat{d}_{a_k}^2 + \hat{d}_{b_k}^2 \right) \right]$ (13).

em que:

V = volume real ou estimado; d_a e d_b = diâmetros reais ou estimados pelo método altura relativa nas extremidades da k -ésima seção cubada; ℓ = comprimento da k -ésima seção cubada e ns = número de seções da cubagem simulada até o diâmetro desejado.

3.1.2. Volume estimado pela integral das equações de *taper*

Inicialmente, o procedimento consiste em obter a altura $h1$ empregando-se a equação 12 e depois o diâmetro que ocorre nessa altura, aplicando-se a equação 10. Então, substituindo na equação 10 d e h por d_{h1}

e $\hat{h1}$, tem-se a equação:

$$d_{h1} = dap^{1,444777} Ht^{-1,397189} \left(0,968769 - 0,745207 \hat{h1} \right) + dap \quad (14).$$

Caso o valor d_{h1} , calculado pela equação 14, seja menor que o valor do diâmetro comercial especificado

(d), então, para o cálculo do volume, utiliza-se $\hat{V} = V_I$, em que V_I é a integral da equação 10. Considerando que o volume do tronco de uma árvore até d seja obtido pela integral da expressão da área seccional entre a

altura da cepa (h_c) e a altura em que ocorre d (h_d), sendo h_d menor que \hat{h}_1 , segue-se que:

$$V_I = \frac{\pi}{40000} \int_{h_c}^{h_d} [f(d_I)]^2 dh = \frac{\pi}{40000} \int_{h_c}^{h_d} \left[dap^{1.444777} Ht^{-1.397189} (0.968769 - 0.745207 h) + dap \right]^2 Dh.$$

Fazendo, $a = dap^{1.444777} Ht^{-1.397189} 0.968769 + dap$ e

$b = dap^{1.444777} Ht^{-1.397189} (-0.745209)$, tem-se que:

$$V_I = \frac{\pi}{40000} \int_{h_c}^{h_d} [a + bh]^2 dh = \frac{\pi}{40000} \int_{h_c}^{h_d} a^2 + 2abh + b^2 h^2$$

Finalmente, considerando-se uma altura qualquer entre h_c e \hat{h}_1 , o volume de qualquer seção do tronco é dado por:

$$V_I = \frac{\pi}{40000} \left[a^2 h_i + abh_i^2 + \frac{b^2 h_i^3}{3} \right] \quad (15); \text{ sendo:}$$

$$h_i = h_d - h_c.$$

Para o uso da equação 15, adotou-se $h_c = 0,1\text{ m}$, e h_d foi obtido pela manipulação algébrica da equação 10, com a qual, na forma de que $d_I + a + b \cdot h$ e substituindo

h por h_d e d_I por d , obteve-se que $h_d = \frac{a-d}{b}$.

Caso o valor d_{II} , calculado pela equação 14, seja maior que d , então para o cálculo do volume utiliza-

-se $V = V_I + V_{II}$, em que V_I é a equação 15 e V_{II} a integral da equação média entre 10 e 11, ou seja, $d = (d_I + d_{II})/2$, que resulta na equação:

$$d = \frac{\left[dap^{1.444777} Ht^{-1.397189} (0.968769 - 0.745207 h) + dap \right]_0^{0.847236} Ht^{-0.876086} (0.333759 Ht - 1.333759 h)}{2}$$

Para simplificar essa equação, tem-se que $d = a' + b' \cdot h$ (16), sendo:

$$a' = dap^{1.444777} Ht^{-1.397189} 0.484384 + dap^{0.847236} Ht^{-0.876086} 0.666879 Ht + \frac{dap}{2}$$

e

$$b' = dap^{1.444777} Ht^{-1.397189} (-0.372603) + dap^{0.847236} Ht^{-0.876086} (-0.666879)$$

Conforme já apresentado, o volume do tronco de uma árvore até d é obtido pela integral da expressão da área seccional. Nesse caso, considerando a equação

16, a qual se aplica para uma altura h maior que é inferior ou igual a Ht , tem-se que, para qualquer seção do tronco nesse intervalo:

$$V_{II} = \frac{\pi}{40000} \left[d'^2 h_i + a'b'h_i^2 + \frac{b'^2 h_i^3}{3} \right] \quad (17);$$

$$\text{com } h_i = h_d - \hat{h}_1.$$

Para o uso da equação 17, adota-se a equação

12 para obter \hat{h}_1 e $hd = (a' - d)/b'$. Assim, no método altura relativa, quando o volume é estimado pela integral das equações de taper geradas, utiliza-se: $\hat{V} = V_I + V_{II}$

$$(18), \text{ em que } V_{II} \text{ é zero se } h_d \leq \hat{h}_1.$$

3.2. Análise das estimativas do taper e do volume

A análise gráfica da estimativa do taper é mostrada na Figura 2. Traçando uma reta com 45° , observa-se uma distribuição uniforme das estimativas, não sendo verificada nenhuma tendência indesejável. Verifica-se que o uso do método altura relativa forneceu, em média, estimativa precisa e confiável do taper para qualquer posição na árvore.

As estimativas de EMP , \sqrt{EM} , $Bias$, $Emin.$ e $Emax$ são apresentadas no Quadro 1, em que se observa a "alta" precisão do método para estimar o volume sólido.

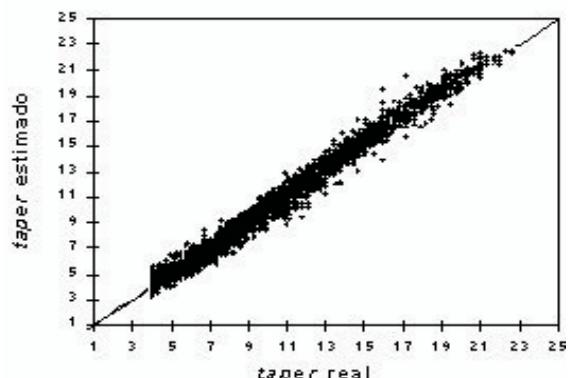


Figura 2 – Taper estimado pelo método Altura Relativa em relação ao taper real.

Figure 2 – Taper estimation by the method relative height in relation to the true taper.

Quadro 1 – Valores de EMP , \sqrt{EM} , $Bias$, $Emin$. e $Emax$. obtidos para volume estimado pelo método Altura Relativa até o diâmetro de 4 cm com casca

Table 1 – Values of EMP , \sqrt{EM} , $Bias$, $EMin$ and $EMax$ obtained for volume estimated by the relative height method up to 4 cm diameter outside bark

Equação	EMP (%)	\sqrt{EM} (m^3)	$BIAS$ (m^3)	$Emin.$ (%)	$Emax.$ (%)
13	1,8572	0,0128	0,0042	-37,1	24,16
18	2,8547	0,0128	0,0048	-19,5	22,65

Pela análise de resíduos na Figura 3, feita para detectar tendências nos valores residuais em relação ao dap , pode-se comprovar que o uso do método altura relativa, equação 13 (utilizando cubagem simulada com fórmula de Smalian) ou equação 18 (utilizando a integral das equações de *taper*), resultou em estimativas precisas e não-tendenciosas para quaisquer valores de dap . A maioria dos erros oscilou em $\pm 20\%$.

O teste $C' \beta$ foi aplicado com o propósito de comparar o volume real com as estimativas volumétricas geradas pelas equações 13 e 18. Nesse teste, a estatística F , conforme proposto por Graybill (1976), foi utilizada para testar a hipótese, $H_0: \beta_0 = 0$ e $\beta_1 = 1$, com $V_{real} = \beta_0 + \beta_1 V_{estimado} + \epsilon$. Os resultados são mostrados no Quadro 2.

Ao efetuar o teste F , obteve-se significância em nível de 1% de probabilidade, porém com “baixo” erro médio porcentual (Quadro 1) e “alta” correlação (Quadro 2) entre os valores observados e estimados devido ao pequeno valor da variância residual (QM_{Res}). Essa situação classifica a comparação no *caso 5* (GUIMARÃES, 1994), que é uma situação aceitável e, portanto, adequada de estimativa.

Os resultados do teste $C' \beta$, feito para verificar a igualdade entre as equações 13 e 18, são apresentados no Quadro 3.

Os resultados mostrados no Quadro 3 são coincidentes com aqueles mostrados no Quadro 2, caracterizando uma situação aceitável e, portanto, adequada de estimativa. Pode-se, então, utilizar qualquer uma das equações para estimar o volume sólido pelo método da altura relativa.

Apesar de, neste estudo de caso, serem utilizados dados de uma cubagem feita em árvores-amostra abatidas, é importante ressaltar que a aplicação da metodologia em um inventário florestal faz-se por meio de medições na árvore em pé, simultaneamente com as demais medições e em apenas parte dos indivíduos das parcelas (LEITE e ANDRADE, 2002). Utiliza-se, para medir o dhr , qualquer instrumento que se preste à medição de diâmetros em diferentes alturas no tronco das árvores em pé, como o pentaprisma. O ponto hr é obtido pela equação 7. Assim, exclui-se completamente o abate de árvores-amostra ou o uso de dados de cubagem de árvores em pé.

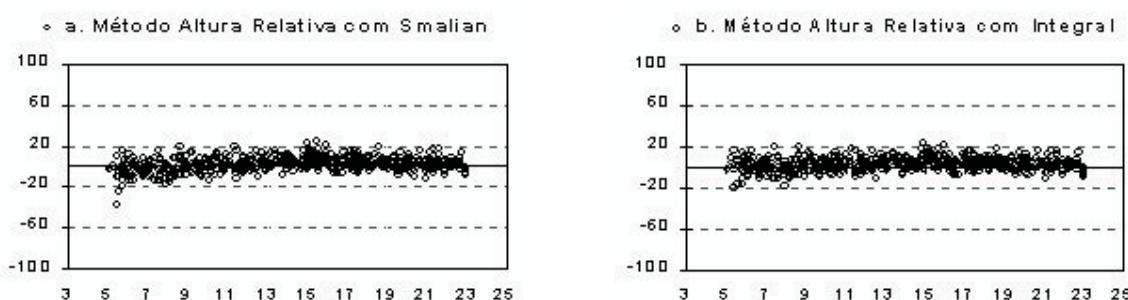


Figura 3 – Resíduos porcentuais da estimativa volumétrica em relação ao dap .
Figure 3 – Percentage residuals of the volumetric estimate in relation to dbh.

Quadro 2 – Resultados do teste *F* aplicado na comparação do volume real com o volume estimado, até 4 cm de diâmetro com casca, utilizando-se as equações 13 e 18

Table 2 – Results of the test F applied to a comparison of the true volume with the estimated volume, up to 4 cm diameter outside bark using equations 13 and 18

Equação	$\hat{\beta}_0$	$\hat{\beta}_1$	\bar{R}^2	QMres	CV _%	F	r_{yy}
13	-0,000675	0,979687	0,9918	0,000139	7,19	51,54*	0,9959
18	-0,001108	0,978361	0,9922	0,000132	7,01	70,02*	0,9961

* Significativo a 1% de probabilidade.

Quadro 3 – Resultados do teste *F* aplicado para comparar o volume estimado pela equação 13 com a equação 18 até 4 cm de diâmetro com casca

Table 3 – The results of the F test used to compare the estimated volume by equation 13 with the equation 18 up to 4 cm diameter outside bark

$\hat{\beta}_0$	$\hat{\beta}_1$	\bar{R}^2	QMres	CV _%	F	r_{yy}	EMP (%)
-0,000377	0,998263	0,9997	0,000006	1,46	24,84*	0,9998	1,05

3.3. Estudo de caso 2

No Quadro 4 constam os resultados obtidos pelos dois métodos (IFMU e IFMAR) para diâmetro comercial de 6 cm, com as estimativas por parcela. As estimativas de volume no IFMU foram obtidas empregando-se as seguintes equações:

$$Ht = e^{1.39291 - 6.40804 \left(\frac{1}{dap} \right) + 0.61944 \ln(Ht)}, R^2=0.886 \text{ e}$$

$$V = e^{-10.49276072 + 1.985912196 \ln(dap) + 1.08788968 \ln(Ht)}, R^2=0.993.$$

No método altura relativa, é possível computar o volume para qualquer diâmetro comercial, o que foi feito até os diâmetros comerciais de 4,0 e 6,0 cm (V4CC e V6CC). O volume até 4,0 cm de diâmetro foi estimado apenas para demonstrar a consistência do IFMAR ao estimar volumes para diferentes diâmetros.

Como as árvores das 31 parcelas não foram cubadas, não foi possível avaliar a exatidão dos métodos IFMAR e IFMU. No entanto, considerando que existe um intervalo de confiança nas estimativas geradas pelos métodos comparados, cabe comparar os limites de confiança

obtidos nos dois tipos de inventário (Figura 4). Constatou-se que a média estimada pelo IFMAR (V6CC) está dentro do intervalo de confiança estimado pelo IFMU (V_Usual até 6 cm cc).

Os volumes médios estimados pelo IFMAR e pelo IFMU, para 6 cm com casca, foram, respectivamente, 337,61 m³ha⁻¹ e 332,47 m³ha⁻¹, com desvios-padrão de 45,64 m³ha⁻¹ e 49,45 m³ha⁻¹. Considerando a área do projeto de 335,52 hectares, os estoques de madeira estimados foram: 113.274,91 m³ e 111.550,33 m³, ou seja, uma diferença de 1.724,57 m³, ou 1,5%. Além de essa diferença ser insignificante, cabe ressaltar que os intervalos de confiança estimados foram 321,54 ≤ V6CC ≥ 353,68 com o IFMAR e 315,06 ≤ V_usual ≥ 349,88 com o IFMU, ou seja, ambos contêm as duas médias (337,61 e 332,47).

Embora não tenha sido avaliada a exatidão dos dois tipos de inventário, uma vez que nenhuma parcela teve suas árvores abatidas e cubadas, ao se admitir que o resultado do método usual é aceitável, é possível inferir que o resultado do método altura relativa também é aceitável para propósito de inventário florestal.

Quadro 4 – Estimativas obtidas por parcela utilizando IFMU e IFMAR
Table 4 – Estimations obtained per plot utilizing IFMU and IFMAR

Parcela	Altura Dominante (m)	Altura Total (m)	Diâmetro Médio (cm)	Área Basal (m^2*ha^{-1})	Fustes por Hectare	Volume ¹ (m^3*ha^{-1}) V_{IFMU}	Volume ¹ (m^3*ha^{-1}) V_{IFMAR}	Diferença Porcentual ²
1	20,0	17,8	18,1	43,345	1.686	386,44	374,05	-3,21
2	19,4	17,0	17,2	41,222	1.774	289,36	287,86	-0,52
3	20,6	17,8	17,1	33,633	1.464	455,98	426,49	-6,47
4	21,1	19,1	20,0	37,641	1.153	232,73	227,66	-2,18
5	22,2	18,6	20,2	33,993	1.065	319,23	321,95	0,85
6	20,9	17,3	17,5	39,585	1.641	349,24	345,65	-1,03
7	23,4	18,1	18,7	42,657	1.552	317,78	349,16	9,87
8	19,5	16,5	17,1	38,522	1.552	271,47	301,77	11,16
9	21,0	17,5	17,4	42,316	1.774	317,03	332,26	4,80
10	20,2	16,7	17,0	43,459	1.907	315,76	403,36	27,74
11	21,4	18,3	17,8	46,201	1.863	237,61	250,67	5,50
12	19,2	17,2	18,4	44,902	1.686	290,49	302,28	4,06
13	19,0	17,0	17,4	49,585	2.085	318,74	329,86	3,49
14	21,3	18,3	18,2	48,200	1.863	350,67	371,86	6,04
15	20,0	17,3	17,2	47,439	2.040	381,16	389,19	2,11
16	22,5	20,0	19,1	44,403	1.552	404,76	398,64	-1,51
18	17,9	15,4	15,7	41,961	2.173	374,91	377,79	0,77
18	18,2	15,6	16,0	44,687	2.173	345,44	351,98	1,89
19	17,6	16,0	17,9	44,888	1.774	385,15	379,10	-1,57
20	17,6	15,9	17,6	37,921	1.552	400,67	385,72	-3,73
21	18,4	15,9	16,5	43,785	2.040	306,92	322,87	5,20
22	16,5	14,8	18,3	44,209	1.686	327,52	333,44	1,81
23	17,6	15,0	15,9	34,302	1.641	291,28	285,41	-2,01
24	16,9	14,8	17,7	42,796	1.730	345,13	354,66	2,76
25	18,3	16,6	17,5	40,414	1.552	320,79	328,76	2,49
26	18,6	16,2	17,8	45,086	1.819	273,63	270,39	-1,18
27	17,5	15,1	15,8	40,009	2.040	324,76	331,45	2,06
28	18,0	16,4	17,8	32,186	1.286	303,00	296,48	-2,15
29	22,1	21,3	23,4	39,907	931	332,28	328,80	-1,05
30	22,6	16,3	16,2	28,191	1.375	385,14	363,50	-5,62
31	22,6	21,0	22,1	30,738	798	351,52	342,76	-2,49
Mínimo						232,73	227,66	-6,47
Média						332,47	337,61	1,87
Máximo						455,98	426,49	27,74
Desvio-padrão						49,45	45,64	
Erro-padrão da média						8,88	8,20	
Erro de amostragem (%)						5,2	4,8	
Intervalo de confiança (95% de probabilidade)						315,06 a 349,88	321,54 a 353,68	

¹ Volume cc até um diâmetro superior comercial de 6,0 cm.

² Diferença porcentual = $(V_{IFMAR} - V_{IFMU}) / V_{IFMU} \times 100$.

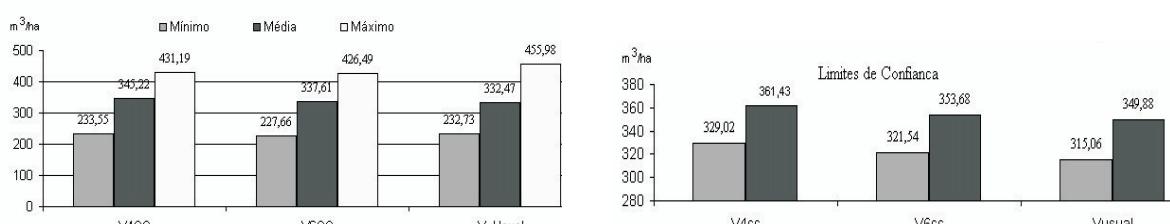


Figura 4 – Volumes mínimo, médio e máximo estimados e respectivos intervalos de confiança, obtidos pelo método de inventário usual e pelo método da Altura Relativa.

Figure 4 – Minimum; medium and maximum volume estimated and respective confidence intervals, obtained by usual inventory method and by relative height method.

Como vantagens do método altura relativa pode ser mencionado o que se segue:

- Redução do número de alturas totais medidas por parcela.
- Viabiliza a medição dos dados para gerar equações de *taper*, por meio de geometria analítica, simultaneamente com as demais informações medidas nas parcelas.
- Uso de uma expressão de *taper* específica para cada árvore de cada parcela.
- Não demanda abate de árvores (cubagem).
- Não demanda o ajuste de modelos volumétricos e, ou, de *taper*.
- Permite quantificar multiprodutos da madeira.
- Pode ser utilizado para totalizar parcelas de delineamentos experimentais (testes de procedências e testes clonais).
- Com um método simples e barato quando comparado ao método usual de inventário.

Entretanto, é importante salientar a necessidade de treinamento para uso do método, em especial sobre o uso do pentaprisma e do desenvolvimento de um aplicativo ou software específico para processamento de dados de inventário pelo método altura relativa. Além disso, é importante ressaltar que o método se presta para quantificar apenas o volume com casca. Fica, ainda, a sugestão de testar a metodologia proposta para outros materiais genéticos e regimes de manejo.

4. CONCLUSÕES

A partir dos resultados, conclui-se que o método altura relativa é eficiente para condução de inventários florestais também em plantações de pinus, gerando estimativas precisas e não-tendenciosas do *taper* e dos volumes de árvores individuais.

A quantificação do volume pelo método da altura relativa pode ser feita utilizando fórmulas aproximativas de cubagem ou a integral das equações de *taper* geradas pelo próprio método.

A expressão $hr=(Ht-2)/2$, definida originalmente para plantações de eucalipto, é recomendável para obtenção da posição relativa (*hr*), em pinus, sem ser necessário o abate de árvores-amostra e, ou, uso prévio de dados de cubagem de árvores abatidas e, ou, em pé.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRADE, V.C.L.; LEITE, H.G. **Análise do perfil do tronco de árvores utilizando geometria analítica**. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 1997. 35p. Não publicado.

ANDRADE, V.C.L.; LEITE, H.G. Uso da geometria analítica para quantificação do volume de árvores individuais. **Revista Árvore**, v.24, n.4, p.481-486, 2001.

GUIMARÃES, D.P. **Desenvolvimento de um modelo de distribuição diamétrica de passo invariante para prognose e projeção da estrutura de povoamentos de eucalipto**. 1994. 160f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1994.

GRAYBILL, F.A. **Theory and application of the linear model**. Massachusetts: Duxbury Press, 1976. 704p.

LEITE, H.G.; ANDRADE, V.C.L. Um método para condução de inventários florestais sem o uso de equações volumétricas. **Revista Árvore**, v.26, n.3, p.321-328, 2002.

LEITE, H.G.; OLIVEIRA, F.L.T. Statistical procedure to test the identity of analytical methods. **Communications in soil science and plant analysis**, v.33, p.1105-1118, 2002.

SCHUMACHER, F.X.; HALLI, F.S. Logarithmic expression of the timber volume. **Journal of Agriculture Research**, v. 47, n. 9, p.719-734, 1933.