

Influência de três sistemas de amostragem na estimativa da relação hipsométrica e do volume de árvores em um fragmento de Mata Atlântica

Influence of three sampling systems on the height-diameter relationship and volume estimates for trees in an Atlantic forest fragment

¹Valdir Carlos Lima de Andrade; ²Sebastião Venâncio Martins;
³Natalino Calegario e ⁴José Franklin Chichorro

Resumo

A relação hipsométrica expressa o relacionamento entre a altura das árvores com algumas variáveis como idade, altura dominante, diâmetro médio, área basal e, principalmente *dap*, permitindo caracterizar o comportamento da altura das árvores nas quais não se mediu esta variável em diferentes locais ao longo do tempo. O objetivo deste trabalho foi avaliar as influências de três sistemas de amostragem em uma floresta ineqüiânea na predição da altura e do volume das árvores. Os dados utilizados foram obtidos em um fragmento de Mata Atlântica secundária. Foi selecionada uma equação que apresentou melhor estabilidade na predição da altura total e a que menos prejudicou a predição do volume. Também, pôde-se demonstrar que a equação selecionada deve ser estimada utilizando dados de *h*, *dap* e *hc* amostrados em cinco árvores por classe de diâmetro e por parcela, sendo que as informações podem ser agrupadas em um único lote de dados, independentemente da espécie.

Palavras-chave: Relação hipsométrica, Teste F, Inventário florestal, Mata Atlântica, Floresta ineqüiânea

Abstract

The height-diameter relationship expresses the relation between the tree height with other variables, such as age, dominant height, mean diameter, basal area, mostly DBH. This procedure allows estimating the tree height in different situations. The main purpose of this paper was to evaluate the influence of three sampling systems in an uneven-aged forest on predicting the tree height and volume. The database is from sampling of a Secondary Atlantic Forest fragment. The selected equation shows better stability in predicting the total height and volume. Also, it was showed that the equation must be estimated using data of height, DBH and canopy height taken in five trees by diameter class and sample unit. The data could be grouped in the same database, independently of the specie.

Keywords: Hipsometric relationship, Uneven-aged, Forest inventory, Atlantic forest, Uneven-aged

INTRODUÇÃO

O volume de madeira é uma informação essencial para balizar a tomada de decisões visando o uso racional e sustentável dos recursos madeireiros disponíveis nos povoamentos florestais. É fundamental, então, quantificá-lo com o melhor nível de acurácia possível, o que exige o emprego de equações volumétricas regionais porque expressam o volume das árvores em função do diâmetro situado a 1,3 metros do solo (*dap*) e da altura total (*h*).

Para o uso de equações volumétricas regio-

nais, utilizam-se valores de *dap* e *h* medidos em algumas árvores amostradas nas parcelas de inventário. Enquanto o *dap* é medido diretamente no tronco das árvores, empregando-se suta ou fita métrica, *h* é medida indiretamente empregando-se um hipsômetro que, se for utilizado em condições inadequadas de visibilidade da copa das árvores, sub-bosque e topografia, pode acarretar procedimentos demorados e de alto custo onerando o seu uso e apresentando erros graves de medição, o que proporciona considerável aumento do viés de um inventário realizado.

Para reduzir a ocorrência de erros e viabilizar

¹Bolsista CAPES. Doutorando em Engenharia Florestal na UFPA - Universidade Federal de Lavras - Caixa Postal 3037 - Lavras, MG - 37200-000 - E-mail: valdrade@mailcity.com

²Professor Adjunto do Departamento de Engenharia Florestal da UFV - Universidade Federal de Viçosa - Viçosa, MG - 36570-000 - E-mail: venancio@ufv.br

³Professor Adjunto do Departamento de Ciência Florestal da UFPA - Universidade Federal de Lavras - Caixa Postal 3037 - Lavras, MG - 37200-000 - E-mail: calega@ufpa.br

⁴Professor Adjunto do Departamento de Engenharia Florestal da UFMT - Universidade Federal do Mato Grosso - Cuiabá, MT - 78065-110 - E-mail: franklim@cpd.ufmt.br

o uso de um hipsômetro, h é medida em apenas parte das árvores amostradas no inventário florestal. A análise de regressão, feita nos dados de h obtidos pelo hipsômetro, gera uma equação hipsométrica para aplicar na parte restante das árvores a fim de se obter h destas. Essa técnica foi proposta por Ker e Smith (1950; citado por Batista *et al.*, 2001).

Desde a proposta de Ker e Smith, muitos estudos foram conduzidos envolvendo a avaliação de equações e de procedimentos para melhor amostrar a relação hipsométrica, cabendo citar: Curtis (1967), Machado (1972), Arabatzis e Burkhart (1992), Machado *et al.* (1994), García (1998), Huang *et al.* (2000), Eerikainen (2003), dentre outros.

Em inventários de florestas ineqüiâneas brasileiras não é comum o emprego da técnica de Ker e Smith, sendo medida h em todas as árvores das parcelas do inventário, provavelmente porque neste ambiente existe uma alta diversidade de espécies, ocorrendo com particular participação na dinâmica de desenvolvimento das árvores, o que pode ocasionar alta heterogeneidade na relação hipsométrica e, por conseguinte, baixa acurácia das equações hipsométricas geradas.

Pressupondo ser possível caracterizar a relação hipsométrica de formações florestais ineqüiâneas, empregando-se a técnica de Ker e Smith, desenvolveu-se este estudo com o objetivo de avaliar a influência de três sistemas de amostragens da relação hipsométrica na predição do volume, tendo por base as seguintes hipóteses teóricas:

Hipótese 1: A predição do volume em floresta ineqüiânea, empregando-se equações volumétricas regionais utilizando a técnica de Ker e Smith, não difere da predição do volume utilizando alturas medidas em todas as árvores por meio de um hipsômetro;

Hipótese 2: Em floresta ineqüiânea, uma equação hipsométrica estimada em cada parcela e/ou classe de diâmetro, não difere da equação hipsométrica estimada empregando os dados agrupados em um único lote.

MATERIAL E MÉTODOS

Para avaliar as hipóteses 1 e 2, previamente formuladas, realizou-se um estudo de caso com dados coletados em um fragmento de Mata Atlântica secundária, localizada na região Norte do Estado do Rio de Janeiro e com área aproxi-

mada de 50 hectares. Nesta, distribuíram-se casualmente 11 parcelas com dimensões de 20 m x 50 m (1000 m²).

Em cada parcela de 1000 m² instalou-se uma sub-amostra de 20 m x 15 m (300 m²) onde, empregando-se uma fita métrica, mediu-se a circunferência a 1,3 m do solo (cap) dos indivíduos arbóreos com $cap \geq 15,7$ cm ($dap \geq 5,0$ cm). A altura total (h) e a altura referente à base da copa (hc) foram medidas empregando-se o hipsômetro Haga. Nos demais 700 m² mediu-se apenas o cap e hc das árvores dentro do mesmo critério de inclusão do dap .

Uma outra sub-amostra de 2 m x 5 m (10 m²) foi instalada para caracterizar a regeneração natural considerando os indivíduos com altura menor que 1,3 m e/ou $cap < 15,7$ cm ($dap < 5,0$ cm). Por fim, as árvores foram identificadas e analisadas de acordo com os critérios qualitativos: qualidade do fuste, da copa e nível de infestação de cipós (Souza, 2000).

Considerando que este trabalho, especificamente, visa inferir sobre a relação hipsométrica de floresta ineqüiânea, julgou-se não ser apropriado apresentar e nem inferir sobre a estrutura da sinúsia arbórea do fragmento. Assim, supondo conduzir um inventário florestal, medindo-se apenas 300 m² de 1000 m² das 11 parcelas, simularam-se três sistemas de amostragem para caracterizar a relação hipsométrica do fragmento ineqüiâneo inventariado.

Os três sistemas de amostragem foram simulados levando em conta que: enquanto determinadas espécies podem apresentar um padrão de distribuição espacial agregada, com muitos indivíduos ocorrendo em um mesmo local, como é o caso de *Callophyllum brasiliensis*, *Tabebuia umbellata* e *Protium heptaphyllum*, outras espécies, como *Cedrella fissilis*, *Astronium guaveolens*, *Cariniana legalis* e *Annona cacans*, apresentam distribuição ampla, com os indivíduos dispersos na floresta (Durigan *et al.*, 2000).

Diante disso, um primeiro sistema de amostragem foi simulado com o uso da altura das cinco primeiras árvores que ocorreram em cada classe de dap e em cada parcela, independentemente da espécie, sendo denominado: Amostragem com cinco árvores por classe diamétrica (A5ACD).

Um outro sistema de amostragem foi simulado com o uso da altura somente da primeira árvore de cada classe de dap e espécie ocorrente em cada parcela, sendo denominado: Amostragem com uma árvore por classe diamétrica e espécie (A1ACDsp).

Nos sistemas de amostragens A5ACD e A1ACDsp, adotaram-se as classes de diâmetro: $dap < 20$ cm; $20 \text{ cm} \leq dap < 35$ cm; $35 \text{ cm} \leq dap < 50$ cm; $50 \text{ cm} \leq dap < 65$ cm; $dap \geq 65$ cm. Por último, simulou-se um sistema de amostragem utilizando a altura de todas as árvores de 6 parcelas apenas, sendo denominado: Amostragem com n parcelas (AnPARC).

Após simular os três sistemas de amostragens, considerando 300 m² em cada uma das 11 parcelas, utilizaram-se os dados obtidos na estimativa de equações hipsométricas tendo as formas funcionais lineares e não-lineares apresentadas a seguir:

- Equações da forma: $h=f(\beta_i's, dap)$
 - (1) $Ln(h) = \hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 Ln(dap) + Ln(\varepsilon)$,
 - (2) $Ln(h) = \hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 (dap)^{-1} + \varepsilon$,
 - (3) $h = \hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 Ln(dap) + \varepsilon$,
 - (4) $h = 1,3 + (dap)^2 / [\hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 (dap) + \hat{\beta}_2 (dap)^2] + \varepsilon$,
 - (5) $h = \hat{\beta}_0 / [1 + 1 / \hat{\beta}_1 (dap)^{\hat{\beta}_2}] + \varepsilon$,
 - (6) $h = 1,3 + \hat{\beta}_0 [1 - e^{\hat{\beta}_1 (dap)}] + \varepsilon$,
 - (7) $h = 1,3 + [\hat{\beta}_0 (dap) / (dap) + 1] + \hat{\beta}_1 (dap) + \varepsilon$, e
 - (8) $h = 1,3 + \hat{\beta}_0 (dap)^{\hat{\beta}_1} e^{-\hat{\beta}_2 (dap)} + \varepsilon$.
- Equações da forma: $h=f(\beta_i's, dap, hc)$
 - (9) $Ln(h) = \hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 Ln(hc) + \hat{\beta}_2 Ln(dap) + \varepsilon$,
 - (10) $h = \hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 Ln(hc) + \hat{\beta}_2 Ln(dap)^{-1} + \hat{\beta}_3 Ln(dap) + \varepsilon$,
 - (11) $h = \hat{\beta}_0 Ln(hc) [1 - \hat{\beta}_1 + e^{\hat{\beta}_2 (dap)^{-1}}] + \varepsilon$,
 - (12) $h = 1,3 + \hat{\beta}_0 (dap)^{\hat{\beta}_1} [1 - e^{\hat{\beta}_2 (hc)^{\hat{\beta}_3}}] + \varepsilon$,
 - (13) $h = 1,3 + \hat{\beta}_0 (dap)^{\hat{\beta}_1} (hc)^{\hat{\beta}_2} + \varepsilon$,
 - (14) $h = 1,3 + (dap)^{\hat{\beta}_0} [1 - e^{\hat{\beta}_1 (dap/hc)^{\hat{\beta}_2}}] + \varepsilon$,
 - (15) $h = \hat{\beta}_0 / \{1 + 1 / \hat{\beta}_1 (dap)^{\hat{\beta}_2} (hc)^{\hat{\beta}_3}\} + \varepsilon$; e
 - (16) $h = 1,3 + \hat{\beta}_0 (dap) / [1 + \hat{\beta}_1 e^{\hat{\beta}_2 + \hat{\beta}_3 (dap) + \hat{\beta}_4 Ln(hc)}] + \varepsilon$.
- Equações da forma: $h=f(\beta_i's, dap, hc, dq_p)$
 - (17) $Ln(h) = \hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 Ln(dap) + \hat{\beta}_2 Ln(hc) + \hat{\beta}_3 Ln(dq_p) + \varepsilon$,
 - (18) $h = \hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 (dap) + \hat{\beta}_2 (hc) + \hat{\beta}_3 (dq_p) + \varepsilon$,
 - (19) $h = \hat{\beta}_0 (dap)^{\hat{\beta}_1} (hc)^{\hat{\beta}_2} [1 - \hat{\beta}_3 e^{-\hat{\beta}_4 (dq_p)}] + \varepsilon$,
 - (20) $h = \hat{\beta}_0 (dap)^{\hat{\beta}_1} (hc)^{\hat{\beta}_2} [1 - \hat{\beta}_3 e^{-\hat{\beta}_4 (dq_p)}]^{\hat{\beta}_3} + \varepsilon$,
 - (21) $h = \hat{\beta}_0 [1 - e^{-\hat{\beta}_1 (dap/dq_p)^{\hat{\beta}_2} (hc)^{\hat{\beta}_3}}]^{\hat{\beta}_4} + \varepsilon$; e
 - (22) $h = \hat{\beta}_0 [1 + \hat{\beta}_1 e^{-\hat{\beta}_2 (dap/dq_p)^{\hat{\beta}_3} (hc)^{\hat{\beta}_4}}] + \varepsilon$.
- Equações da forma: $h=f(\beta_i's, dap, hc, dq_p, dq_{sp})$
 - (23) $h = \hat{\beta}_0 (dap)^{\hat{\beta}_1} (hc)^{\hat{\beta}_2} [1 - e^{-\hat{\beta}_3 (dq_{sp}/dq_p)}] + \varepsilon$,
 - (24) $h = \hat{\beta}_0 (dap)^{\hat{\beta}_1} (hc)^{\hat{\beta}_2} (dq_{sp}/dq_p)^{\hat{\beta}_3} + \varepsilon$,
 - (25) $h = \hat{\beta}_0 (dap/dq_p)^{\hat{\beta}_1} (hc)^{\hat{\beta}_2} [1 + e^{-\hat{\beta}_3 (dq_{sp}/dq_p)}]^{\hat{\beta}_4} + \varepsilon$,
 - (26) $h = \hat{\beta}_0 / [\hat{\beta}_1 + \hat{\beta}_2 e^{-\hat{\beta}_3 (dap/dq_p)^{\hat{\beta}_4} (hc)^{\hat{\beta}_5}}] - e^{-\hat{\beta}_6 (dq_{sp}/dq_p)} + \varepsilon$, e

$$(27) h = \hat{\beta}_0 / [\hat{\beta}_1 + \hat{\beta}_2 e^{\hat{\beta}_3 (1/dap)^{\hat{\beta}_4} (dap/dq_p)^{\hat{\beta}_5}}]^{[1 - \hat{\beta}_6 Ln(hc)(dq_{sp}/dq_p)^{\hat{\beta}_7}] + \varepsilon}$$

em que:

Ln = logaritmo neperiano, e = base do logaritmo neperiano, dq_p = diâmetro médio quadrático de cada parcela, dq_{sp} = diâmetro médio quadrático de cada espécie em cada parcela, β_i 's = parâmetros de regressão a serem estimados, ε = erro aleatório obtido pelo uso da equação.

As equações 1, 2, 3 e 4 referem-se às equações de Stoffel e Van Soest, Michailoff, Henricksen e de Prodan, respectivamente (Curtis, 1967; Loetsch *et al.*, 1973). A equação 5 foi estudada por Huang *et al.* (2000), enquanto as demais foram propostas neste estudo, destacando-se as equações que foram desenvolvidas com base nas formas biomatemáticas monomolecular (equações 6, 11, 12, 14, 19 e 23), logística (equações 16, 22 e 25) e de Chapman e Richards (equações 20 e 21).

Na decisão da equação mais adequada, de cada forma funcional e em cada sistema de amostragem, realizou-se a análise de resíduos por meio de gráficos e das estatísticas: Média dos Desvios Percentuais (MD), Bias, Precisão (P), Correlação linear (r_{yy}) e Erro Padrão da Estimativa (s_{yy}). Estas foram agrupadas em um único percentual médio (PM) obtido por: $PM = [|MD| + |Bias| + (100 - r_{yy}) + s_{yy} + P] / 5$.

A análise de resíduos foi feita com os resultados obtidos por meio de um teste de aplicação, feito com os dados não utilizados na estimativa das equações de cada sistema de amostragem, nas seguintes fórmulas estatísticas:

$$MD = \left[\left(\frac{1}{n} \right) \sum_{i=1}^n \left(\frac{\hat{Y}_i - Y_i}{Y_i} \right) \right] 100,$$

$$Bias = \left[\left(\frac{\sum_{i=1}^n \hat{Y}_i - \sum_{i=1}^n Y_i}{\sum_{i=1}^n Y_i} \right) \right] 100,$$

$$s_{yy} = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2 / (n-2)}}{\bar{Y}} 100,$$

$$r_{yy} = \frac{\sum_{i=1}^n Y_i \hat{Y}_i - \frac{(\sum_{i=1}^n Y_i)(\sum_{i=1}^n \hat{Y}_i)}{n}}{\sqrt{[\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2] [\sum_{i=1}^n (\hat{Y}_i - \bar{Y})^2]}} 100, e$$

$$P = \sqrt{\frac{(196^2)}{\chi^2_n} \sum_{i=1}^n \left(\frac{Y_i - \hat{Y}_i}{Y_i} \right)}$$

em que:
 \hat{Y}_i e Y_i = h predita e observada usando as equações 1 a 27 e o hipsômetro Haga, respectivamente, na

i-ésima árvore;

n = número de pares de \hat{Y}_i e Y_i ;

\bar{Y} = média de h observada pelo Haga;

P = exatidão obtida conforme Paula Neto *et al.* (1983), e

χ^2_n = estatística tabelada do teste de qui-quadrado para n graus de liberdade com significância de 5%.

Após a decisão pelas equações hipsométricas de cada forma funcional e em cada sistema de amostragem, realizou-se a predição do volume aplicando as seguintes equações regionais, recomendadas para Mata Atlântica secundária (CE-TEC, 1995):

$$V_{icc} = V_{gcc} + V_{fcc} \quad (29),$$

$$V_{gcc} = 0,000061976 \text{ dap}^{1,799730} h^{0,538642}, \text{ com } R^2 = 65,2\% \quad (30),$$

$$V_{fcc} = 0,000038857 \text{ dap}^{1,707640} h^{1,320320}, \text{ com } R^2 = 98,9\% \quad (31) \text{ e}$$

$$V_{fsc} = 0,000023996 \text{ dap}^{1,575082} h^{1,582642}, \text{ com } R^2 = 98,6\% \quad (32).$$

em que:

v_{icc} , v_{fcc} e v_{gcc} são o volume com casca total, do fuste e de galhos, respectivamente, e v_{fsc} é o volume de fuste sem casca.

Os volumes v_{icc} , v_{fcc} , v_{gcc} e v_{fsc} preditos pelas equações 29, 30, 31 e 32, aplicadas em 300 m² de cada uma das 11 parcelas e utilizando 100% das h's observadas pelo hipsômetro Haga, foram considerados como Método Padrão. Denominaram-se métodos A, B, e C quando os volumes foram obtidos utilizando parte de h's observadas pelo Haga e parte preditas por equações hipsométricas estimadas, respectivamente, pelos sistemas de amostragem A5ACD, A1ACDsp e AnPARC.

Após ser obtido o volume em m³ha⁻¹, calculou-se a estatística qui-quadrado para se testar a hipótese 1 com nível de 5% de significância, aplicando-se a seguinte fórmula:

$$\chi^2_c = \left(\frac{196}{5}\right)^2 \sum_{j=1}^3 \sum_{k=1}^{11} \left(\frac{V_{pk} - V_{Tjk}}{V_{pk}}\right)^2;$$

em que:

V_{pk} e V_{Tjk} = volume em m³ha⁻¹ obtido pelo método padrão e pelos j-ésimos métodos testados, respectivamente, na k-ésima parcela.

Pelo resultado da estatística χ^2_c pôde-se, também, fazer inferências acerca da influência do sistema de amostragem da relação hipsométrica na predição do volume das árvores, auxiliando-se na decisão do sistema de amostragem com sua equação mais adequada para caracterizar a relação hipsométrica no fragmento inequidâneo considerado.

Visando complementar as análises, computaram-se as estatísticas do inventário florestal apenas para o volume vtcc empregando a equação hipsométrica selecionada. Assim, obtiveram-se as seguintes estatísticas:

$$\bar{h} = \left(\frac{1}{n}\right) \sum_{i=1}^n h_i$$

$$\bar{V}_{icc} = \sum_{k=1}^{11} (V_{icc_k} / 11),$$

$$CV_h = (S_h / \bar{h}) 100,$$

$$CV_{v_{icc}} = (S_{v_{icc}} / \bar{v}_{icc}) 100,$$

$$\varepsilon_{\%} = [(t_{Tab} S_{v_{icc}}) / \bar{v}_{icc}] 100, \text{ e}$$

$$(IC)_{90\%} = \bar{v}_{icc} \pm (t_{Tab} S_{v_{icc}}).$$

em que:

\bar{h} e \bar{v}_{icc} = média aritmética de h e de v_{icc} , respectivamente;

CV = coeficiente de variação,

$\varepsilon_{\%}$ = erro de amostragem; e

IC = intervalo de confiança com 90% de probabilidade.

Selecionada a equação e o sistema de amostragem da relação hipsométrica, realizou-se uma análise de variância para se testar a hipótese 2. Neste caso, empregou-se o teste F com nível de 5% de significância, calculando a estatística:

$$F(H_0) = \left[\frac{\text{Redução } (H_0)}{(H-1)p} \right] \left[\frac{SQRes(c)}{N-Hp} \right]^{-1}$$

conhecida como teste de identidade de Graybill (REGAZZI, 1996).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As estatísticas obtidas, somente para as equações hipsométricas selecionadas dentro de cada sistema de amostragem são apresentadas na Tabela 1. Nesta, pode-se verificar expressiva redução de PM% quando se incluiu hc, dq_p e dq_{sp}, o que evidencia serem variáveis importantes na caracterização da relação hipsométrica de uma floresta inequidânea incluindo o dap, pois, independentemente do sistema de amostragem, obtiveram-se de forma expressiva as piores estatísticas para a equação 7.

Para o uso das variáveis independentes hc, dq_p e dq_{sp}, obtiveram-se equações hipsométricas estimadas com, aproximadamente, o mesmo comportamento nos três sistemas de amostragens testados (R² > 80%). No entanto, ao se verificar a estatística PM ≈ 13,8%, nota-se uma redução de seu valor do sistema de amostragem A5ACD e A1ACDsp para o sistema de amostragem AnPARC, principalmente nas equações hipsométricas 21 e 25.

Tabela 1. Estatísticas obtidas para as equações hipsométricas avaliadas em que: R^2 = coeficiente de determinação ajustado, 1=sistema utilizado para amostrar h e 2=equação hipsométrica selecionada. (Statistics obtained for the hipsometric equations appraised, where: R^2 = adjusted determination coefficient, 1 = used system to sampling h and 2 = selected hipsometric equation)

1	2	$\hat{\beta}_0$	$\hat{\beta}_1$	$\hat{\beta}_2$	$\hat{\beta}_3$	$\hat{\beta}_4$	R^2	PM
A	7	8,12202	0,22891				0,614	31,219
5	13	2,94859	0,24070	0,37948			0,840	17,218
A	21	0,43825	0,23381	-0,15265	-0,24060	-1,68427	0,838	18,077
C								
D	25	6,63663	0,18296	0,36073	2,86740	-0,71631	0,846	17,154
A	7	7,40519	0,24502				0,652	26,159
1	12	1297,43514	0,24258	-0,00230	0,37148		0,848	17,359
A	21	6,57282	9,27740	-4,19113	-6,93786	-0,05677	0,851	18,233
C								
D								
sp	25	0,04278	0,23367	0,36640	-0,00306	7,15014	0,848	17,163
A	7	4,50196	0,30286				0,745	19,903
n	13	1,97056	0,33271	0,37454			0,848	14,110
P	21	6,16888	3,03790	-5,34647	-7,56773	-0,05099	0,848	13,799
A								
R								
C	25	0,01082	0,31503	0,341650	0,00648	9,25970	0,845	13,777

Demonstra-se, então, haver superioridade do sistema de amostragem AnPARC em relação aos demais e que o nível de acurácia das equações hipsométricas é sensivelmente influenciado pelo sistema de amostragem adotado para se caracterizar a relação hipsométrica em uma floresta inequívoca.

Os resultados obtidos para a estatística χ^2_c (Tabela 2), evidenciaram uma predição volumétrica adotando-se o método B significativamente influenciada pela equação hipsométrica utilizada ($\chi^2_c^*$). O citado método empregou as equações volumétricas de 29 a 32 tendo parte de h sido medida pelo Haga e parte predita pelas equações 7, 12, 21 e 25, as quais foram obtidas com dados amostrados pelo sistema A1ACDsp.

Para o método C, os volumes v_{tcc} e v_{fcc} não foram influenciados significativamente quando se fez a predição de h das árvores, empregando as equações 21 e 25.

Por outro lado, no método A obteve-se $\chi^2_c^{ns}$ na predição do volume quando foram utilizadas as equações hipsométricas 13, 21 e 25 tendo, estatisticamente, os mesmos volumes v_{tcc} , v_{fcc} e v_{fsc} quando se empregou o hipsômetro Haga em todas as árvores das parcelas.

Diante destes resultados, para caracterizar a relação hipsométrica em uma floresta inequívoca não se deve utilizar o sistema de amostragem A1ACDsp. Já, o sistema de amostragem AnPARC, só pode ser utilizado para estimar

equações hipsométricas representadas pelas equações 21 e 25 ($\chi^2_c^{ns}$), sem quantificar volume sem casca porque se obteve neste um $\chi^2_c^*$.

Tabela 2. Resultado do teste de qui-quadrado aplicado nos métodos A, B e C utilizando-se a estimativa do volume VTCC, VFCC e VFSC das 11 parcelas com 300 m² cada; em que: *=significativo e ns=não-significativo ao nível de 5% de probabilidade. (Result of the applied chi-square test in the methods A, B and C being used the estimate of the volume VTCC, VFCC and VFSC of the 11 plots with 300 m² each; where: *=significant and ns=no significant at probability level 5%)

Volume (m ³ *ha ⁻¹)	Equações Hipsométricas Selecionadas											
	Método A				Método B				Método C			
	7	13	21	25	7	12	21	25	7	12	21	25
VTCC	ns	ns	ns	ns	*	*	*	*	*	*	ns	ns
VFCC	*	ns	ns	ns	*	*	*	*	*	*	ns	ns
VFSC	*	ns	ns	ns	*	*	*	*	*	*	*	*

Independentemente da espécie, utilizar h medida em apenas cinco árvores de cada classe de *dap* por parcela, é um sistema de amostragem adequado para se caracterizar a relação hipsométrica de povoamentos inequívocos, desde que não se estimem equações tendo somente o *dap* como variável independente. Deve-se preferir a equação 25 para predição da altura do restante das árvores das parcelas (menor PM%).

Na Tabela 3, as estatísticas foram obtidas para os três sistemas de amostragem da relação hipsométrica, empregando-se somente a equação 25 para estimar h das árvores em que se mediu apenas o *dap* e hc. Nota-se que as estatísticas \bar{h} ,

$CV_{h'} \overline{v_{tcc}} \varepsilon_{\%}$ e $CV_{v_{tcc}}$ foram as mais próximas das obtidas pelo método padrão somente quando se utilizou o método A, o qual representa o uso do sistema de amostragem A5ACD para caracterizar a relação hipsométrica.

O intervalo de confiança obtido pelo método padrão, com 90% de probabilidade, indica que o parâmetro $\overline{v_{tcc}}$ está entre 288,5 m³ha⁻¹ e 431,5 m³ha⁻¹, em cujos limites encontram-se somente os valores definidos pelo método A. Além disso, para caracterizar a relação hipsométrica, são mensuradas menos árvores que os demais sistemas (n1), cerca de 46% do total de 486 árvores pertencentes aos 300 m² das 11 parcelas.

Diante destes resultados, se aceita a hipótese 1 com a ressalva de que: empregar equações volumétricas regionais em povoamentos inequívocos, utilizando parte de h medida por hipsômetros e parte predita por equações, depende do sistema adotado para amostrar a relação hipsométrica e em não se utilizar equações que tenham somente a forma funcional: $h=f(\beta_i, s, dap)$.

Evidenciada a superioridade do sistema de amostragem A5ACD, adotando-se a equação hipsométrica 25, ainda, é importante saber se esta equação deve ser estimada para cada parcela e classe de *dap*, ou, se uma única equação pode ser estimada com todos os dados agrupados.

Pela estatística $F_{(H_0)}$ ^{ns} (Tabela 4), pôde-se acei-

tar a hipótese 2 como sendo verdadeira, o que implica em ser adequado estimar a equação hipsométrica 25 tendo todas as parcelas e classes de *dap* em um único lote de dados amostrados pelo sistema A5ACD.

É importante ressaltar que, em uma floresta inequívoca, utilizar a equação selecionada 25 sendo estimada pelos dados obtidos por meio do sistema de amostragem AnPARC, não seria apropriado porque ficariam parcelas sem nenhuma árvore amostrada e, com isto, seria propiciada maior fonte de bias do inventário volumétrico.

Também, considerando que as árvores de um povoamento inequívoco encontram-se dispersas na área, o que, operacionalmente, irá dificultar uma amostragem da relação hipsométrica pelo sistema A5ACD, pode-se pressupor para estudos posteriores que seria mais apropriado delimitar uma sub-amostra tendo de 30% a 35% da área da amostra maior, tomando-se cuidado para o tamanho da amostra e a área de cada parcela.

Ainda, pelo fato da altura também ser utilizada para inferir sobre a estrutura vertical de uma floresta inequívoca, ressalta-se a grande importância em estudar outros sistemas de amostragem para se caracterizar a relação hipsométrica, objetivando o melhor nível de acurácia possível na predição tanto de altura da parte restante das árvores, quanto do volume do tronco desejado.

Tabela 3. Estatísticas do inventário florestal para VTCC empregando-se os métodos A, B e C com o modelo hipsométrico 25 e método Padrão que utilizou 100% das h's; em que: n1 = número total de árvores amostradas nas parcelas para estimar equações hipsométricas, n2 = número total de árvores em que não sejam necessários medir h, LI e LS = respectivamente, limites inferior e superior do intervalo de confiança com 90% de probabilidade. (Statistics of the forest inventory for VTCC being used the methods A, B and C with the hipsometric model 25 and Standard method that it used 100% of the h's; where: n1 = total number of trees sampled in the plots to esteem hipsometric equations, n2 = total number of trees in that aren't necessary to measure h, LI and LS = respectively, limits inferior and superior of the trust interval with 90% of probability)

Método	n1	n2	\overline{h}	CV_h	\overline{VTCC}	LI	LS	$\varepsilon_{\%}$	CV_{VTCC}
A	137	349	10,052	42,205	360,144	291,037	429,251	19,189	35,229
B	200	286	10,142	41,238	362,289	283,816	440,762	21,660	39,767
C	262	224	9,976	42,983	360,814	286,590	435,039	20,571	37,768
Padrão	000	486	10,058	42,960	360,045	288,536	431,554	19,861	36,464

Tabela 4. Teste de identidade para testar a hipótese sobre a estimação da equação 25 empregando todos os dados de *dap*, h e Hc obtidos nas 11 parcelas e nas classes de *dap*. (Identity test to test the hypothesis about the estimate of the equation 25 using all the *dap* data, h and Hc obtained in the 11 plots and in the *dap* classes)

Identidade	SQPar(c)	SQPar(r)	SQ Re d(H ₀)	SQ Re s	SQTot	F(H ₀)
11 Parcelas	27919,8	27671,3	248,6	293,9	28213,8	1,387 ^{ns}
GL	55	5	50	80	137	
Classes Dap	27739,6	27671,3	68,4	474,1	28213,8	1,125 ^{ns}
GL	20	5	15	117	137	

Observação: a última classe de *dap* considerou > 50 cm.

CONCLUSÕES

Tomando-se como base os resultados obtidos com o estudo de caso, utilizando-se uma área de 3300 m² de 11 parcelas instaladas em um fragmento de mata Atlântica secundária, pôde-se aceitar as hipóteses 1 e 2. Também, pode-se concluir que:

- O sistema de amostragem empregado para se caracterizar a altura total de parte das árvores existentes nas parcelas de um inventário florestal, influencia as equações hipsométricas e posterior uso em equações volumétricas regionais;
- É mais adequado utilizar equações hipsométricas que tenham as variáveis independentes: dap, hc, dq_p e dq_{sp} e que sejam estimadas utilizando dados amostrados em cinco árvores por classe diamétrica de todas as parcelas, agrupados em um único lote de dados;
- Não se deve usar equações hipsométricas que tenham somente o dap como variável independente.
- Não se deve utilizar alturas totais de árvores amostradas como única em cada classe de diâmetro e espécie por parcela.

• A Equação hipsométrica: $h = \hat{\beta}_0 (dap/dp_q)^{\hat{\beta}_1} (hc)^{\hat{\beta}_2} [1 + e^{\hat{\beta}_3 (dq_{sp}/dq_p)}]^{\hat{\beta}_4} + \varepsilon$, derivada da forma biomatemática logística com três parâmetros, foi a mais adequada para caracterizar a relação hipsométrica em uma floresta inequiana dentre um total de 27 equações testadas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARABATZIS, A.A.; BURKHART, H.E. An evaluation of sampling methods and model forms for estimating height-diameter relationships in Loblolly Pine plantations. *Forest Science*, Bethesda, v.38, n.1, p.192-198, 1992.

BATISTA, J.L.F.; COUTO, H.T.Z.; MARQUESINI, M. Desempenho de modelos de relações hipsométricas: estudo em três tipos de floresta. *Scientia Forestalis*, Piracicaba, n.60, p.149-163, 2001.

CETEC – FUNDAÇÃO CENTRO TECNOLÓGICO DE MINAS GERAIS. *Determinação de equações volumétricas aplicáveis ao manejo sustentado de florestas nativas no estado de Minas Gerais e outras regiões do país*. Belo Horizonte: CETEC, 1995. 295 p.

Recebido em 03/11/2004

Aceito para publicação em 22/02/2006

CURTIS, R.O. Height-diameter and height-diameter-age equations for second-growth Douglas-fir. *Forest Science*, Bethesda, v.13, n.4, p.365-375, 1967.

DURIGAN, G.; RODRIGUES, R.R.; SCHIAVINI, I. A heterogeneidade ambiental definindo a metodologia de amostragem da floresta ciliar. In: RODRIGUES, R.R.; LEITÃO FILHO, H.F. (Ed). *Matas ciliares: conservação e recuperação*. São Paulo: EDUSP; FAPESP, 2000. p.159-167.

EERIKAINEN, K. Predicting the height-diameter pattern of planted *Pinus kesiya* stands in Zambia and Zimbabwe. *Forest Ecology and Management*, Amsterdam, v.175, p.355-366, 2003.

GARCÍA, O. Estimating top height with variable plot size. *Canadian Journal of Forest Research*, Ottawa, v.28, p.1509-1517, 1998.

HUANG, S.; PRICE, D.; TITUS, S.J. Development of ecoregion-based height-diameter models for white spruce in boreal forests. *Forest Ecology and Management*, Amsterdam, v.129, p.125-141, 2000.

LOETSCH, F.; ZOHRER, F.; HALLER, K.E. *Forest inventory*. Munchen: BLV, Verlagsgesellschaft, 1973. v.2, 469 p.

MACHADO, S.A. *Estudo comparativo de métodos de medição num bosque secundário tropical*. 1972. 86p. 1972. Dissertação (Mestrado) - Instituto Interamericano de Ciências Agrícolas, Organização dos Estados Americanos, Turrialba, 1972.

MACHADO, S.A.; BAILEY, R.L.; BASSO, S.F.; BEVILACQUA, 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.; SOUZA, A.L.; QUINTAES, P.C.G.; SOARES, V.P. Análise de equações volumétricas para *Eucalyptus* spp, segundo o método de regeneração na região de José de Melo. *Revista árvore*, Viçosa, v.7, n.1, p.56-70, 1983.

REGAZZI, A.J. Teste para verificar a identidade de modelos de regressão. *Pesquisa agropecuária brasileira*, Brasília, v.31, n.1, p.1-17, 1996.

SOUZA, A.L. *Análise estrutural de floresta inequiana e metodologia de campo para inventário florestal*. Viçosa: UFV, 2000. 66 p.

