

VOLUMETRIA DE UM HÍBRIDO DE *Eucalyptus grandis* X *E. urophylla* NO CERRADO: SIMILARIDADE DE ESTIMATIVAS

Fábio Venturoli¹, Marina Moura Morales²

¹UFG - Universidade Federal de Goiás, Escola de Agronomia, Campus Samambaia, Caixa Postal 131, 74690-900, Goiânia, Goiás, Brasil. fabioventuroli@gmail.com. ²EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Estrada MT-222, km 2,5, 78550-970 - Sinop, Mato Grosso, Brasil. marina.morales@embrapa.br

A compreensão do crescimento de uma floresta é importante para as tomadas de decisões de manejo florestal, para conhecer a produtividade, o custo produtivo, assim como para as estimativas do estoque de carbono frente às contribuições da floresta nas mudanças do clima. Com isso, o objetivo deste trabalho foi analisar a similaridade entre estimativas volumétricas obtidas por cubagem rigorosa e por fator de forma com estimativas feitas por equações volumétricas encontradas na literatura, em um sistema integrado de cultivo no Cerrado. A floresta em estudo localiza-se no município de Cachoeira Dourada, Goiás, sendo composta por clones de *Eucalyptus grandis* x *E. urophylla* em arranjo espacial de renques triplos, com árvores espaçadas em 3 x 2 m e por 14 m entre renques. As estimativas volumétricas por cubagem rigorosa, assim como com o uso do fator de forma, aproximaram-se aos volumes estimados por equações disponibilizadas na literatura, convalidando a amostragem utilizada, sugerindo como efetivas as equações disponíveis na literatura, para as estimativas volumétricas de povoamentos florestais homogêneos.

Palavras-chave: Inventário florestal, equações de volume, fator de forma, cubagem rigorosa

***Eucalyptus grandis* x *E. urophylla* volumetry in the Cerrado biome: similarity of estimates.** Understanding the growth of a forest is important for forest management, to know productivity, production cost as well as for estimating carbon stock in relation to the contribution of forests in mitigating climate change. The objective of this study was to analyze volumetric estimates by cubing and form factor in comparison to volumetric equations found in the literature in an integrated farming system in Cerrado biome (Brazil). The forest under study is composed of clones of *Eucalyptus grandis* x *E. urophylla* in spatial arrangement with alleys with trees spaced in 3 x 2 m and 14 m between alleys. The volumetry cubing as well as using the mean form factor resulted in estimates similar to those found by fitting volume equations. The suggested equations validate the form factor for estimates of eucalypt volume, suggesting the effectiveness of the equations available in the literature for the volumetric estimates of homogeneous forests.

Key words: Forest mensuration, volume equations, cubing, form factor

Introdução

O componente florestal em conjunto com as atividades agropecuárias está em ascensão no Brasil pelo claro entendimento da oportunidade de otimizar o uso da terra, trazendo segurança ao produtor rural pela diversificação da renda.

Ao longo das últimas décadas, muitos conceitos relacionados à agricultura foram reestruturados, especialmente na região do Cerrado, como a ideia de que o plantio de florestas é um empreendimento desvinculado da agropecuária e praticado apenas em grandes propriedades rurais, por estar relacionado a altos investimentos financeiros.

Essa reestruturação de conceitos levou a um aumento na área com florestas plantadas, especialmente, no Brasil Central, no bioma Cerrado (ABRAF, 2013). Isso elevou a demanda por informações sobre produtividade, custos, tratamentos silviculturais e sobre estoque e mercado de carbono associados aos plantios florestais, sobretudo, para espécies do gênero *Eucalyptus*, o mais amplamente plantado no Brasil (ABRAF, 2013).

Diante do grau de complexidade das informações inerentes à atividade silvicultural, para otimizar o processo de decisão em empresas/propriedades florestais, fazem-se necessários esforços em busca de alternativas simples, que possam ser facilmente adotadas em propriedades rurais onde a silvicultura não é, na maioria das vezes, a principal atividade comercial.

Entre as alternativas propostas no setor florestal destacam-se as técnicas para o levantamento da produção por amostragem, ou seja, por meio de inventários florestais representativos da população (Pellico Netto e Brena, 1997; Sanquetta et al., 2014; Mandallaz, 2008; McRoberts et al., 2013). Esses inventários podem ser complementados por equações alométricas, ajustadas a partir de modelos matemáticos teóricos que tentam descrever de maneira exata e precisa as relações existentes entre as variáveis dendrométricas (Scolforo, 2005; Schneider et al., 2009).

A determinação volumétrica, todavia, envolve a cubagem rigorosa de uma parcela significativa de árvores da floresta, sendo que os dados da cubagem são utilizados no ajuste de modelos alométricos e na

determinação do fator de forma médio para a população (Soares et al., 2006).

Assim, o inventário florestal passa a ser a forma mais apropriada de avaliar o potencial produtivo, os custos de produção, a quantificação do acúmulo de carbono pela floresta e a definição de estratégias de manejo mais sustentáveis e produtivas.

Escolher a equação de volume é uma fase importante após o inventário florestal, pois, qualquer erro na estimativa do volume individual terá reflexos na estimativa da população, podendo comprometer a avaliação do estoque e produção florestal (Scolforo, 2005).

O procedimento mais usual para a estimativa do volume individual de árvores emprega equações em que o volume representa a variável dependente e está associado a variáveis independentes, como o diâmetro à altura do peito (DAP) e a altura total (Machado et al., 2002). Essa relação está representada nos modelos clássicos propostos por Schumacher e Hall e por Spurr, entre outros (Hosokawa et al., 1998). Tais equações devem ser capazes de captar as variações do povoamento florestal e, ao mesmo tempo, estimar de forma confiável, dentro de um limite de erro admitido, o volume de uma árvore (Scolforo, 2005; Miguel e Leal, 2012).

O objetivo desta pesquisa foi analisar diferentes estimativas volumétricas realizadas por cubagem rigorosa e pelo uso do fator de forma médio das árvores cubadas, em relação a estimativas volumétricas obtidas por meio de equações encontradas na literatura, comparando-se a similaridade entre os volumes calculados, visando efetivar o uso de equações de literatura para as estimativas volumétricas em plantios homogêneos em pequenas plantações florestais.

Material e Métodos

Área de estudo

O experimento foi instalado na Unidade de Referência Tecnológica (URT) da Embrapa, localizada na Fazenda Boa Ventura, no município de Cachoeira Dourada, no estado de Goiás (18°29'30"S; 49°28'30"W), a uma altitude média de 459 m acima do nível médio do mar.

O clima local é do tipo Aw de acordo com a classificação de Köppen, característico dos climas úmidos tropicais, com duas estações bem definidas, seca no inverno e úmida no verão. A temperatura média anual no município é de 24 °C, com precipitação média anual de 1.340 mm, concentrando-se entre outubro e março (INMET, 2013).

O solo predominante é classificado como Latossolo Vermelho de textura argilosa (Embrapa, 1999).

O componente florestal estudado foi composto por um clone (GG100) de *Eucalyptus grandis* x *E. urophylla*, plantados em fevereiro de 2009, seguindo um arranjo em renques de três linhas de árvores em espaçamento de três metros entre linhas por dois metros entre plantas e de 14 metros entre renques, compreendendo uma densidade arbórea de 750 árvores por hectare.

Cubagem rigorosa, fator de forma e modelos da literatura

Em fevereiro de 2013 foram selecionadas arbitrariamente três árvores para serem abatidas e cubadas, sendo que cada uma dessas árvores possuía diâmetro a altura do peito (DAP: diâmetro a 1,30 metros de altura em relação ao nível do solo) próximo a um dos três quartis da distribuição de frequências populacional. Desta forma, as árvores cubadas representaram 50% da amplitude dos DAP's populacionais, incluindo o valor mediano.

A cubagem rigorosa foi realizada pelo método de *Smalian* (Soares et al., 2006) com seções de 1,0 metro de comprimento até a altura total de cada árvore.

Após a cubagem, procedeu-se o cálculo do fator de forma individual e médio para as três árvores, sendo que o volume individual de cada uma dessas três árvores cubadas foi comparado ao volume individual estimado pelo uso do fator de forma médio, por teste qui-quadrado, a 5% de probabilidade (Zar, 2010).

Posteriormente, fez-se uma estimativa volumétrica para as três árvores cubadas utilizando-se 12 modelos matemáticos encontrados na literatura, ajustados para *Eucalyptus grandis* e para *E. urophylla* no bioma Cerrado, em duas regiões distintas do estado de Goiás, uma no município de Rio Verde (*E. grandis*), no sudoeste do estado, e a outra no município de Niquelândia (*E. urophylla*), no norte. Os modelos utilizados foram ajustados por Miguel et al. (2010) e por Miguel e Leal (2012), considerando cubagens rigorosas em árvores com as mesmas características das plantas utilizadas no presente estudo, em relação à idade, à classe de DAP e à altura total. As características edáficas eram diferentes entre as duas regiões do estado de Goiás onde os modelos foram ajustados, mas a região de Rio Verde se assemelha à área do plantio avaliado neste estudo (Tabela 1).

As estimativas volumétricas das árvores utilizando-se os modelos ajustados por Miguel et al.

Tabela 1. Caracterização ambiental das diferentes regiões com os plantios de eucalipto comparados neste estudo, no estado de Goiás

Município	Temperatura média anual (°C)	Precipitação média anual (mm)	Classificação Köppen	Solo	Altitude (m)
Cachoeira Dourada	22-24	1.340	Aw	Latossolo Vermelho - textura argilosa	459
Rio Verde	22-24	1.600	Aw	Latossolos Vermelho Escuro + Vermelho-Amarelo Distrófico - textura argilosa	748
Niquelândia	24-26	1.700	Aw	Latossolo Vermelho-Amarelo - textura média	535

Fonte: Normais Climatológicas do INMET (1961-1990) e mapa de solos do Brasil, IBGE (2001).

(2010) e Miguel e Leal (2012) foram agrupadas entre si pelo método de médias ponderadas por grupos (UPGMA) em uma Análise de Agrupamento (Ferreira, 2011). Essa análise buscou encontrar um ou mais modelos, entre os 12, que apresentasse(m) alta similaridade na estimativa do volume com as estimativas obtidas pela cubagem rigorosa. Esses modelos são apresentados na Tabela 2.

Resultados e Discussão

As dimensões das três árvores mensuradas e cubadas estão apresentadas na Tabela 3, que indica ainda o fator de forma médio calculado a partir da cubagem rigorosa das três árvores e os valores do primeiro, segundo e terceiro quartis populacionais aos

Tabela 2. Modelos utilizados para as estimativas volumétricas na Fazenda Boa Vereda, no município de Cachoeira Dourada, Goiás

Autor	Modelo
Kopezky-Gehardt	$V = \beta_0 + \beta_1 DAP^2 + \varepsilon$
Dissescu-Meyer	$V = \beta_1 DAP + \beta_2 DAP^2 + \varepsilon$
Hohenadl-Krenm	$V = \beta_0 + \beta_1 DAP + \beta_2 DAP^2 + \varepsilon$
Brenac	$LnV = \beta_0 + \beta_1 LnDAP + \beta_2 \frac{1}{DAP} + \varepsilon$
Spurr	$V = \beta_0 + \beta_1 DAP^2 H + \varepsilon$
Husch	$LnV = \beta_0 + \beta_1 LnDAP + \varepsilon$
Spurr (ln) Schumacher-Hall (ln)	$LnV = \beta_0 + \beta_1 LnDAP + \beta_2 LnH + \varepsilon$
Takata	$V = \frac{DAP^2 H}{\beta_0 + \beta_1 DAP} + \varepsilon$
Stoate	$V = \beta_0 + \beta_1 DAP^2 + \beta_1 DAP^2 H + \beta_3 H + \varepsilon$
Naslund	$V = \beta_1 DAP^2 + \beta_2 DAP^2 H + \beta_3 DAPH^2 + \beta_4 H^2 + \varepsilon$
Meyer	$V = \beta_0 + \beta_1 DAP + \beta_2 DAP^2 + \beta_3 DAP \cdot H + \beta_4 DAP^2 \cdot H + \beta_5 H + \varepsilon$

Tabela 3. Características dendrométricas das três árvores utilizadas na cubagem rigorosa na Fazenda Boa Vereda, no município de Cachoeira Dourada, Goiás

	Árvore 1	Árvore 2	Árvore 3
DAP (cm)	14	17,3	21,5
Quartil populacional da distribuição de DAP	1° (25%)	2° (50%; mediana)	3° (75%)
Altura total (m)	18,4	18,5	21
Volume cubado (m³)	0,1624	0,1869	0,3476
Fator de forma	0,5736	0,429	0,4559
Fator de forma médio		0,4864	

quais os DAP dessas árvores se aproximam, representando 25%, 50% e 75% da distribuição diamétrica da população.

Os volumes obtidos pela cubagem rigorosa e pelo uso do fator de forma médio não foram considerados estatisticamente diferentes entre si pelo teste Qui-quadrado ($\chi^2 = 0,0009$; $p = 0,99$).

A análise de agrupamento com os volumes estimados pela cubagem, pelo fator de forma médio e pelas equações da literatura indicou alta similaridade entre o volume real, ou seja, o volume obtido pela cubagem rigorosa, e o volume estimado pelas equações de dupla entrada propostos por Spurr [Logarítmico (ln) e linear]; Takata; e por Schumacher e Hall. Essas equações foram as ajustadas por Miguel et al. (2010) para *Eucalyptus grandis*, em Rio Verde, Goiás (Figura 1).

Além disso, a análise de agrupamento evidenciou os resultados obtidos nos dois municípios do estado de Goiás, Niquelândia e Rio Verde, em razão dos volumes estimados pelas equações. Complementarmente, dentro de cada região do estado de Goiás, os modelos agruparam-se por serem de simples ou de dupla entrada (Figura 1 e Tabela 2).

As equações ajustadas para *Eucalyptus grandis* em Rio Verde, Goiás, estão apresentadas na Tabela 4, assim como as respectivas estatísticas de ajuste e precisão obtidas pelos autores que as ajustaram (Miguel et al., 2010).

Na medida em que quatro modelos da literatura conseguiram estimar precisamente o volume das árvores cubadas, infere-se que eles podem ser utilizados para a estimativa volumétrica da população.

A quantidade mínima de árvores que deve compor

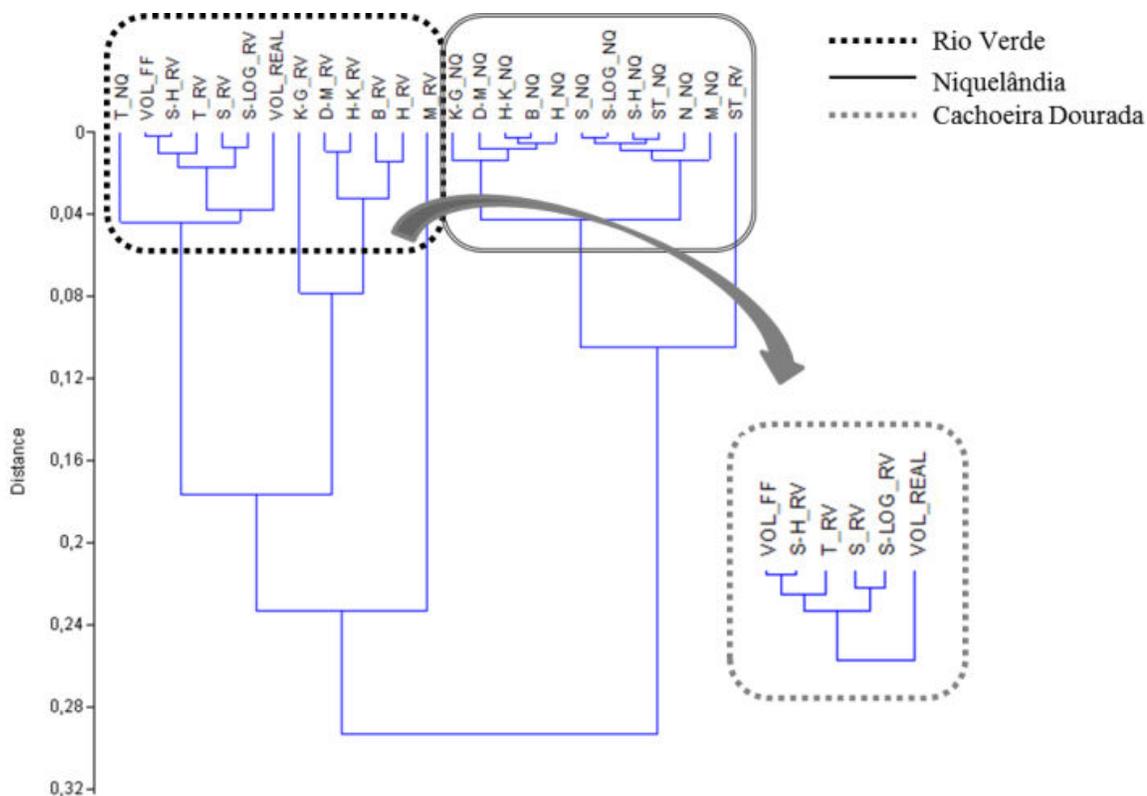


Figura 1. Agrupamento dos volumes obtidos pelo fator de forma médio (VOL_FF), pela cubagem rigorosa (VOL_REAL) e pelos diferentes modelos: de simples entrada (K-G: Kopezky - Gehhardt; D-M: Dissescu - Meyer; H-K: Hohenadl - Krenm; B: Brenac; H: Husch) e de dupla entrada [S: Spurr; S-LOG: Spurr (Log); S-H: Shumacher e Hall; N: Naslund; M: Meyer; ST: Stoate; e T: Takata] nos municípios de Rio Verde (RV) e Niquelândia (NQ), Goiás, obtido pelo método UPGMA.

Tabela 4. Equações utilizadas para a estimativa volumétrica em *Eucalyptus* híbrido *urograndis* no município de Cachoeira Dourada, Estado de Goiás, com as respectivas estatísticas de precisão e ajuste (Erro Padrão: $S_{\bar{x}}$ e coeficiente de determinação ajustado: R_{aj}^2)

Autor	Equações ajustadas	$S_{\bar{x}}$	R_{aj}^2
Spurr	$V = -0,00357908 + 0,00003723.DAP^2.H$	17,78	0,9561
Spurr (Ln)	$LnV = -9,98138897 + 0,97316548.Ln(DAP^2.H)$	18,47	0,9890
Shumacher e Hall (Ln)	$LnV = -9,81105128 + 2,06111843.Ln(DAP) + 0,81894702.Ln(H)$	19,29	0,9884
Takata	$V = \frac{DAP^2.H}{24858,7 + 94,578.DAP}$	10,51	0,9563

Fonte: Miguel et al. (2010).

uma amostra a ser utilizada para realizar estimativas de altura foi estudado por Silva et al. (2007). Esses autores afirmaram que é possível reduzir significativamente a intensidade amostral em populações homogêneas de *Eucalyptus grandis*, sendo que amostras contendo nove árvores em cada grupo de idade proporcionaram estimativas precisas da altura das árvores do povoamento. Também Oliveira et al. (2009) conseguiram estimativas precisas de volume de clones de eucaliptos com a cubagem de apenas três árvores, assim como proposto neste estudo.

Os trabalhos de Silva et al. (2007) e Oliveira et al. (2009) associados às afirmações de Finger (1992) permitiram inferir sobre a validade e aplicabilidade do presente estudo, pois desejava-se encontrar um modelo para realizar estimativas volumétricas fidedignas para proceder o planejamento florestal. Isso, de certa forma, foi alcançado, pois houve similaridade superior a 95% entre os volumes calculados por equações e por cubagem e fator de forma.

A comparação das estimativas volumétricas constitui importante informação para o conhecimento do potencial disponível no povoamento florestal, tendo em vista que o volume individual das árvores fornece subsídios para a avaliação do estoque de madeira e para a análise do potencial produtivo.

A análise de agrupamento com os volumes obtidos utilizando os 12 modelos ajustados por Miguel et al. (2010) e por Miguel e Leal (2012), em Rio Verde e Niquelândia, respectivamente, associando-os aos volumes estimados pela cubagem rigorosa e pelo volume estimado com o uso do fator de forma médio, sugeriu a boa adequação do ajuste das equações volumétricas.

Apesar do modelo proposto por Schumacher e Hall ser o mais difundido na literatura para estimativas

volumétricas, três outros modelos também apresentaram alta similaridade ao volume real das árvores, como os de Spurr linear e logarítmico e o de Takata. Além disso, o volume estimado com o uso do fator de forma médio também foi similar ao volume real, apresentando-se no mesmo nível de similaridade (Figura 1).

A aplicação prática do fator de forma é muito difundida entre técnicos que quantificam a produção florestal, principalmente, para fins de comercialização da floresta e, especialmente, em florestas plantadas. O fator de forma médio das três árvores cubadas (0,48) foi próximo ao valor esperado para a cultura na idade estudada (Oliveira et al., 1999; Miguel et al., 2010; Rocha et al., 2010).

Considera-se, ainda, que as pesquisas envolvendo modelos e métodos para estimativas volumétricas são muito discutidas na literatura (Oliveira et al., 2009; Azevedo et al., 2011), sendo que, de acordo com os dados obtidos neste estudo, em consonância com a literatura, pode-se indicar como efetivas as equações disponíveis na literatura, para as estimativas volumétricas de povoamentos florestais homogêneos e equiâneos, sobretudo, em pequenas propriedades rurais.

Conclusões

A cubagem de três árvores na floresta, em diferentes classes de diâmetro à altura do peito, foi suficiente para encontrar equações confiáveis para a estimativa volumétrica e, também legitimou o uso do fator de forma para as estimativas de produção do eucalipto em sistema de integração lavoura, pecuária e floresta para a região sul do Estado de Goiás.

Literatura Citada

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS. 2013. Anuário Estatístico da ABRAF, ano base 2012. Brasília, DF. 150p.
- AZEVEDO, G. B. et al. 2011. Estimativas volumétricas em povoamentos de eucalipto sob regime de alto fuste e talhadia no sudoeste da Bahia. *Pesquisa Florestal Brasileira* 31(68): 309-318.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. CENTRO NACIONAL DE PESQUISA DO SOLO. 1999. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Brasília, DF, EMBRAPA/SPI. 412p.
- FERREIRA, D. F. 2011. Estatística multivariada. Lavras, MG, Universidade Federal de Lavras. 676p.
- FINGER, C. A. G. 1992. Fundamentos de biometria florestal. Santa Maria, UFSM/CEPEF/FATEC. 269p.
- HOSOKAWA, R. T.; MOURA, J. B.; CUNHA, U. S. 1998. Introdução ao manejo e economia de florestas. Curitiba, PR, UFPR. 162p.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. 2001. Mapa de solos do Brasil. Brasília, DF, IBGE.
- INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. 2013. Normas Climatológicas (1961-1990) – INMET. <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=clima/normaisClimatologicas>> 25/07/2013.
- MACHADO, S. A.; CONCEIÇÃO, M. B.; FIGUEIREDO, D. J. 2002. Modelagem do volume individual para diferentes idades e regimes de desbaste em plantações de *Pinus oocarpa*. *Revista Ciências Exatas e Naturais (Brasil)* 4(2): 185-197.
- McROBERTS, R. E.; TOMPPPO, E. O.; VIBRANS, A. C.; FREITAS, J. V. 2013. Design considerations for tropical forest inventories. *Pesquisa Florestal Brasileira* 33(74):189-202.
- MANDALLAZ, D. 2008. Sampling techniques for forest inventories. BocaRaton, Chapman e Hall/CRC. 256p.
- MIGUEL E. P; CANZI, L. F; RUFINO, R. F; SANTOS, G. A. 2010. Ajuste de modelo volumétrico e desenvolvimento de fator de forma para plantios de *Eucalyptus grandis* localizados no município de Rio Verde - GO. *Enciclopédia Biosfera* 6 (11): 1-13.
- MIGUEL E. P; LEAL, F. A. 2012. Seleção de equações volumétricas para a predição do volume total de *Eucalyptus urophylla* S.T. BLAKE na região norte do estado de Goiás. *Enciclopédia Biosfera (Brasil)* 8(14):1372-1386.
- OLIVEIRA, J. T. S.; HELLMEISTER, J. C.; SIMÕES, J. W.; TOMAZELLO FILHO, M. 1999. Caracterização da madeira de sete espécies de eucaliptos para a construção civil: 1-avaliações dendrométricas das árvores. *Scientia Forestalis (Brasil)* 56: 113-124.
- OLIVEIRA, M. L. R. et al. 2009. Estimação do volume de árvores de clones de eucalipto pelo método da similaridade de perfis. *Revista Árvore (Brasil)* 33(1): 133-141.
- PELLICO NETTO, S.; BRENA, D. A., eds. 1997. Inventário florestal. Curitiba, PR. 316p.
- ROCHA, T. B.; CABACINHA, C. D.; ALMEIDA, R. C.; PAULA, A.; SANTOS, R. C. 2010. Avaliação de métodos de estimativa de volume para um Povoamento de *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake no planalto da Conquista - BA. *Enciclopédia Biosfera* 6(10): 1-13.
- SANQUETTA, C. R. et al. 2014. Inventários Florestais: planejamento e execução. Curitiba, PR, Multi-Graphic Gráfica e Editora. 406p.
- SCHNEIDER, P. R. et al. 2009. Análise de regressão aplicada à Engenharia Florestal. 2 ed. Santa Maria, RS, UFSM, Centro de Pesquisas Florestais. 294p.
- SCOLFORO, J. R. S. 2005. Biometria florestal: modelos para relação hipsométrica, volume, afilamento e peso de matéria seca. Lavras, MG, UFLA/FAEPE. 150p.

- SILVA, G. F.; XAVIER, A. C.; RODRIGUES, F. L.; PETERNELLI, L. A. 2007. Análise da influência de diferentes tamanhos e composições de amostras no ajuste de uma relação hipsométrica para *Eucalyptus grandis*. Revista Árvore (Brasil) 31(4):685-694.
- SOARES, C. P. B.; PAULA NETO, F.; SOUZA, A. L. 2006. Dendrometria e inventário florestal. Viçosa, MG, UFV. 276p.
- ZAR, J. H. 2010. Biostatistical analysis. New Jersey, Prentice-Hall. 944p. ●