

Métodos de estimativa de volume comercial para *Eucalyptus grandis*: especificidades e recomendações

Thomas Schröder¹, Noé Ananias dos Santos Hofiço¹, Anna Paula Lora Zimmermann¹, Lillian Daniel Pereira¹, Dilson Sousa Rocha Junior¹, Evandro Alcir Meyer¹, Frederico Dimas Fleig¹

¹Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Rurais, Departamento de Ciências Florestais, Campus Universitário, CP 281, Camobi, CEP 97110-970, Santa Maria, RS, Brasil

*Autor correspondente:
zimmermann-a@hotmail.com

Termos para indexação:

Volumetria
Fator de forma
Modelos de volume
Funções de afilamento

Index terms:

Volume estimation
Form quotient
Volume equations
Taper functions

Histórico do artigo:

Recebido em 15/10/2012
Aprovado em 12/03/2013
Publicado em 31/03/2013

doi: 10.4336/2013.pfb.33.73.446

Resumo - Existem basicamente três métodos de estimativa de volume comercial de árvores individuais: uso do fator de forma, modelos de volume e funções de afilamento, os quais apresentam resultados diferentes quanto à precisão de variáveis e devem ser utilizados adequadamente para diferentes finalidades. A comparação entre estes três métodos foi o objetivo desta pesquisa e, para tanto, foram medidas árvores de *Eucalyptus grandis* provenientes de primeiro desbaste. A utilização de equação de dupla entrada foi o método mais eficiente para a determinação do volume. O uso do fator de forma se mostrou restrito e as funções de afilamento foram eficientes para elaboração de tabelas de sortimento.

Methods for commercial volume estimation of *Eucalyptus grandis*: characteristics and recommendations

Abstract - Essentially there are three methods for commercial volume estimation of single trees namely: the use of a form quotient, volume equations and taper functions, which produce different results in variable precision and must be used adequately for different objectives. The aim of this study was to compare these methods. So, trees of *Eucalyptus grandis* from a first thinning were measured. The use of volume equations of two independent variables was the most effective method for commercial volume estimation. The use of form quotient has shown to be restricted and, taper functions have proven to be efficient to determinate the multiple uses of a tree.

Introdução

A silvicultura representa uma importante atividade econômica para o Brasil, representando 72,6% dos R\$ 18,1 bilhões da produção primária florestal em 2011 (IBGE, 2011). Neste setor se destaca *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden, uma das espécies mais estudadas do país, devido à qualidade da madeira, boa adaptação e produção (Moura et al., 1992). Neste contexto, a estimativa de volume comercial é uma das

tarefas mais importantes do profissional da área florestal para quantificar o nível de aproveitamento da madeira.

Os métodos mais utilizados para estimar volume comercial são: uso de fator de forma, equações de volume e modelos de afilamento (Machado et al., 2005).

O fator de forma é um fator de correção do volume do cilindro, gerado pelo diâmetro da árvore e sua altura total, para o volume real ou comercial, sendo este método o mais simples, prático e didático (Silva & Paula Neto, 1979). Pode-se obter o fator de forma a partir da cubagem

rigorosa da árvore de diâmetro igual à média geométrica dos diâmetros do povoamento (método simples e prático) ou a partir da cubagem de árvores de todas as classes de diâmetro existentes na floresta (Finger, 1992).

Os modelos de estimativa de volume podem ser divididos entre modelos de simples e dupla entrada. Os de simples entrada utilizam apenas o diâmetro como estimador do volume total ou comercial, sendo indiscutivelmente práticos. Apesar do nome, estes modelos podem utilizar mais de uma variável, como por exemplo, diâmetros em alturas relativas à total ou alturas fixas (Silva & Borders, 1993). Os modelos de dupla entrada empregam como variáveis independentes o diâmetro e a altura, ou uma combinação destas (Schneider, 2009). A estimativa do volume comercial através de modelos matemáticos pode ser feita com certa facilidade e acurácia (Katterings, 2001).

As funções de afilamento ou “taper” são descrições matemáticas do perfil longitudinal do tronco, que representam a diminuição do diâmetro com o aumento da altura (Ahrens & Holbert, 1981). Estas funções permitem estimar o diâmetro da árvore a uma altura qualquer estabelecida (Machado et al., 2004). Assim, pode-se descrever o perfil longitudinal médio das árvores e, conseqüentemente, obter o volume comercial através da integração da função. As funções de afilamento são os modelos mais simples quando o objetivo é a construção de tabelas de sortimento, ou seja, tabelas com volume de madeira para diferentes fins comerciais. Isto se deve ao fato de que as integrais definidas podem ser limitadas nos diâmetros que o mercado exige para cada produto (Müller et al., 2005).

Todos os métodos de estimativa de volume têm suas específicas vantagens e desvantagens, dentre estas se destacam a influência do sítio, da espécie, da competição e da idade sobre o fator de forma (Machado et al., 2005; Müller et al., 2005; Scolforo & Thiersch, 2004), necessidade de cuidado quanto à robustez dos estimadores e situações de extrapolação nos modelos de volume (Schneider, 2009), exigência de conhecimentos em estatística para os modelos de afilamento (Müller et al., 2005), sendo a robustez destes modelos comumente negligenciada pelos autores que as utilizam.

O fator de forma é o método mais simples estatisticamente, e a equação de afilamento é o método mais complexo. Existe uma carência de diretrizes técnicas para a utilização destes métodos que levem em consideração os custos de amostragem,

os erros amostrais e os diferentes sistemas de manejo de plantações florestais, o que pode acarretar em estimativas equivocadas ou gerar gastos desnecessários ao empreendedor florestal.

Este trabalho teve por objetivo comparar métodos de estimativa de volume comercial de árvores individuais, assim como nortear a adequada utilização de cada um deles.

Material e métodos

O presente estudo foi desenvolvido no município de Braço do Trombudo, SC, situado entre as coordenadas geográficas de 27° 21' de latitude sul e 49° 52' de longitude oeste, na região fisiográfica do Alto Vale do Itajaí. O clima é do tipo Cfa subtropical na classificação de Köppen, caracterizado como subtropical úmido sem estação seca definida. Os solos predominantes da região são cambissolos, formados por erosão eluvial (Epagri, 1999, 2002). Os dados foram coletados no inverno de 2012 e são provenientes do primeiro desbaste de um povoamento de *Eucalyptus grandis* com três anos de idade, instalado com espaçamento de 3 m x 3 m em curva de nível.

Para o estudo da forma de tronco e obtenção dos sortimentos, foram selecionadas 45 árvores. A cubagem das árvores foi realizada através do método de Smalian, com secções nas posições de 0,50 m; 1,30 m e, a partir deste ponto, a cada 1,0 m, até a altura comercial da árvore (diâmetro igual a 5 cm). O volume da base da árvore até 0,50 m foi considerado como o formato de um cilindro e as demais partes tiveram seu volume calculado pela média das áreas transversais de cada uma das medidas. O somatório dos volumes parciais até este ponto gerou o volume comercial de cada árvore, considerado como parâmetro para este estudo.

A variável dependente (volume comercial) aritmética e com função de ligação logarítmica teve sua distribuição de frequência comparada com a distribuição normal através do teste de Kolmogorov-Smirnov. Foram comparadas sete formas de estimar o volume de uma árvore individual: fator de forma comercial da árvore de diâmetro quadrático médio (dg); fator de forma comercial médio; equação de volume de simples entrada; equação de volume de dupla entrada, tendo como variável independente o diâmetro combinado com a altura total ou altura comercial; função de afilamento com polinômios de terceiro e quinto graus.

O diâmetro médio quadrático das árvores foi calculado para determinar o fator de forma através da fórmula (1) de acordo com Finger (1992):

$$dg = \sqrt[n]{\prod_{i=1}^n d} \quad (1)$$

Em que: dg = diâmetro médio quadrático; d = diâmetro de cada árvore amostrada.

A árvore que apresentou o diâmetro mais próximo do diâmetro quadrático médio teve seu fator de forma artificial calculado com base no diâmetro tomado a 1,3 m do solo e sua altura total da seguinte forma (2):

$$f = \frac{4v_{ri}}{h\pi d^2} \quad (2)$$

Em que: f = fator de forma artificial; v_{ri} = volume real; h = altura de cada árvore.

O fator de forma médio foi calculado através da média aritmética simples dos fatores de forma artificiais obtidos para todas as árvores de acordo com a equação 2. O volume total foi dado pela fórmula (3), conforme Finger (1992):

$$v = ghf \quad (3)$$

Em que: v = volume total da árvore (m^3); g = área basal da árvore dg (m^2); h = altura total da árvore (m); f = fator de forma.

A estimativa do volume através de equação de simples entrada foi feita utilizando o modelo de proporcionalidade alométrica de Monserud & Marshall (1999) em sua forma linearizada (4):

$$\ln(v_i) = b_0 + b_1 \ln(d) \quad (4)$$

Em que: v_i = volume estimado de cada árvore.

Além disso, foi criado um modelo que considera os diâmetros a 50 e a 130 centímetros do solo, que foi associado ao volume pela expressão 5:

$$\ln(v_i) = b_0 + b_1 k_i + b_2 \ln(k_i) \quad (5)$$

Em que: k_i = corresponde ao produto dos diâmetros a 50 e 130 centímetros de altura.

A determinação do volume através do método do modelo de dupla entrada utilizou a equação com variável combinada descrita por Spurr (6) (Schneider, 2009). A variação desta equação com a substituição da altura total pela comercial também foi testada:

$$\ln(v_i) = \ln(b_0) + b_1 \ln(d^2 h) \quad (6)$$

Para estimativa do volume através de função de afilamento, foram utilizados polinômios de terceiro e quinto graus (Müller et al., 2005). Os polinômios de terceiro e quinto graus são definidos pelas funções 7 e 8, respectivamente:

$$\frac{d}{di} = b_0 + b_1 \left(\frac{h}{hi}\right) + b_2 \left(\frac{h}{hi}\right)^2 + b_3 \left(\frac{h}{hi}\right)^3 \quad (7)$$

$$\frac{d}{di} = b_0 + b_1 \left(\frac{h}{hi}\right) + b_2 \left(\frac{h}{hi}\right)^2 + b_3 \left(\frac{h}{hi}\right)^3 + b_4 \left(\frac{h}{hi}\right)^4 + b_5 \left(\frac{h}{hi}\right)^5 \quad (8)$$

Em que: d_i = diâmetro da árvore a uma altura i; h_i = altura do ponto de medição i.

Para que a integral da função de afilamento seja uma expressão do volume comercial é necessário que se calcule a altura na qual está o diâmetro comercial limite e, para tanto, utilizou-se o mesmo polinômio de terceiro grau, porém de forma invertida (9):

$$\frac{h}{hi} = b_0 + b_1 \left(\frac{d}{di}\right) + b_2 \left(\frac{d}{di}\right)^2 + b_3 \left(\frac{d}{di}\right)^3 \quad (9)$$

Após o ajuste dos coeficientes das funções de afilamento, o valor do diâmetro da árvore em uma dada altura foi isolado na função através da multiplicação dos coeficientes pelo valor do diâmetro à altura do peito. Assim, o volume comercial de cada árvore foi calculado pela fórmula 10:

$$v_i = \frac{\pi}{4} \int_0^{hc} (f(d_i))^2 d_i \quad (10)$$

Os volumes estimados por cada um dos métodos foram comparados com os volumes observados através do teste do qui-quadrado:

$$x^2 = \sum_{i=1}^n \left(\frac{(y_i - y_e)^2}{y_e} \right) \quad (11)$$

Em que: y_i = volume observado; y_e = volume estimado.

As médias obtidas pelos diferentes métodos foram comparadas com os dados da cubagem rigorosa através de uma análise de variância de fator duplo sem repetição. Os dados foram processados utilizando o sistema estatístico SAS 9.2. As integrais e modelos de formas de fuste foram realizados através do programa Maple. Todos os testes foram aplicados considerando o nível de significância de 5%.

Resultados e discussão

O diâmetro à altura do peito das árvores medidas variaram de 4,2 cm a 11,6 cm, com média aritmética e geométrica de 8,2 cm e 8,0 cm, respectivamente, indicando uma distribuição de frequência com assimetria positiva (Lopes et al., 2007). A distribuição de frequência do volume comercial apresentou assimetria igual a 0,57 e não se adequou à distribuição normal, apresentando no teste de Kolmogorov-Smirnov uma probabilidade de 6,7%. O mesmo ocorreu para o volume comercial logarítmico que apresentou assimetria de -0,69, não se adequando à distribuição normal com probabilidade igual a 0,074.

A árvore com diâmetro mais próximo à média geométrica apresentava 8,0 cm, com fator de forma comercial artificial de 0,3740. O fator de forma comercial médio foi de 0,3689, apresentando coeficiente de variação de 22,25%.

Todos os parâmetros dos modelos de volume testados foram significativos, tanto para o modelo de proporcionalidade alométrica quanto para a variável combinada (Tabela 1).

O modelo de dupla entrada apresentou maior coeficiente de determinação e menor coeficiente de

variação, sendo este fato explicado devido à inclusão de mais uma variável independente, semelhante ao relatado por Pelissari et al. (2011). Porém, apesar deste modelo ter apresentado melhores resultados, ele gera maiores custos durante o processo de amostragem. O modelo de Spurr modificado para altura comercial se mostrou superior aos demais, gerando estimativas quase perfeitas dos volumes comerciais.

Para as funções de afilamento, todos os parâmetros do polinômio de terceiro grau foram significativos. Entretanto, nem todos os parâmetros do polinômio de quinto grau apresentaram significância, muito provavelmente em função da pequena amplitude dos dados disponíveis para este estudo (Tabela 2).

De forma geral, os levantamentos de volumes de árvores individuais têm seu primeiro ponto de medição a 10 cm do solo. Entretanto, supondo-se estimar o volume do toco, que não é comerciável, a parte basal da árvore poderá apresentar irregularidades causadas pelo sistema radicular, como a formação de sapopemas. Em levantamentos com estas características um polinômio de quinto grau muito provavelmente terá todos seus coeficientes significativos e, será mais eficiente na estimativa do volume, por possuir mais parâmetros para explicar as variações de forma. Contudo, a medida do toco pode ser eliminada durante os levantamentos, uma vez que dados acima deste ponto de medição, como a 50 cm do solo, podem gerar modelos mais parcimoniosos e sem danos maiores à estimativa de volume comercial. Todos os parâmetros do polinômio de terceiro grau para estimativa da altura comercial foram significativos (Tabela 3).

Tabela 1. Estimativa dos parâmetros dos modelos de volume testados.

Modelo	Parâmetro	Estimativa	CV (%)	R ² _{aj.}
$\ln(v_i) = \ln(b_0) + b_1 \ln(d_i)$	b_0	-10,69*	3,86	0,96
	b_1	3,25*		
$\ln(v_i) = b_0 + b_1 k_i + b_2 \ln(k_i)$	b_0	-14,27*	2,63	0,97
	b_1	-0,015*		
	b_2	2,69*		
$\ln(v_i) = \ln(b_0) + b_1 \ln(d_i^2 h_i)$	b_0	-12,27*	3,08	0,97
	b_1	1,28*		
$\ln(v_i) = \ln(b_0) + b_1 \ln(d_i^2 h_{ci})$	b_0	-8,62*	0,68	0,99
	b_1	0,82*		

* = significância a 5%; CV(%) = coeficiente de variação em percentagem; R²_{aj.} = coeficiente de determinação ajustado; \ln = logaritmo neperiano; b_0 , b_1 , b_2 = coeficientes de regressão; v_i = volume estimado da árvore (m³); h_i = altura no ponto de medição i ; h_{ci} = altura comercial no ponto de medição i ; d_i = diâmetro da árvore na altura i ; k_i = produto dos diâmetros a 50 e 130 cm de altura.

Tabela 2. Estimativa dos parâmetros das funções de afilamento testadas.

Polinômio	Parâmetro	Estimativa	CV (%)	R ² _{aj.}
Terceiro grau	b_0	1,17*	5,18	0,99
	b_1	-1,50*		
	b_2	1,32*		
	b_3	-0,98*		
Quinto grau	b_0	1,18*	5,14	0,99
	b_1	-1,81*		
	b_2	3,76*		
	b_3	-8,06 ^{ns}		
	b_4	8,42 ^{ns}		
	b_5	-3,49 ^{ns}		

* = significância a 5%; ^{ns} = não significativo; CV(%) = coeficiente de variação em percentagem; R²_{aj.} = coeficiente de determinação ajustado; $b_0, b_1, b_2, b_3, b_4, b_5$ = coeficientes de regressão.

Tabela 3. Estimativa dos parâmetros do polinômio de terceiro grau para cálculo da altura comercial.

Polinômio	Parâmetro	Estimativa	CV (%)	R ² _{aj.}
Terceiro grau	b_0	0,997*	5,95	0,99
	b_1	-0,366*		
	b_2	-1,039*		
	b_3	0,534*		

* = significância a 5%; CV(%) = coeficiente de variação em percentagem; R²_{aj.} = coeficiente de determinação ajustado; b_0, b_1, b_2, b_3 = coeficientes de regressão.

Os resultados da comparação entre as diferentes formas de cálculo das árvores individuais de *Eucalyptus grandis* pelo teste do qui-quadrado estão apresentados na Tabela 4.

Tabela 4. Comparação de métodos de estimativa de volume comercial pelo teste do qui-quadrado.

Forma de cálculo	X ²
Fator de forma da árvore dg	0,0198
Fator de forma médio	0,0219
Equação de volume de simples entrada com dois diâmetros	0,0111
Equação de volume de simples entrada	0,0222
Equação de volume de dupla entrada com altura total	0,0138
Equação de volume de dupla entrada com altura comercial	0,0001
Função de afilamento com polinômio de terceiro grau	0,0044

dg = diâmetro médio quadrático; X² = qui-quadrado.

Os resultados obtidos pelo teste do qui-quadrado são semelhantes aos encontrados por Machado et al. (2005) e Ferreira et al. (2011), porém os autores compararam diferentes métodos de estimativa de volume total por ANOVA (análise de variância) de simples entrada, não verificando diferenças significativas entre os métodos analisados. Entretanto, cabe ressaltar que a maior parte da variância do volume está na variação do volume entre as árvores e uma parte muito menor da variância se deve aos diferentes métodos de estimativa de volume comercial.

O teste do qui-quadrado demonstrou que o fator de forma da árvore de diâmetro médio quadrático é melhor que o fator de forma médio para a estimativa do volume comercial individual de árvores. Isto demonstra que além de se ter conhecimento sobre a amplitude dos diâmetros do povoamento é necessário conhecer as consequências de distribuições diamétricas que divergem da distribuição normal. Nestes casos, a utilização da média geométrica pode ser mais representativa da população do que a

média aritmética. Outra opção seria a utilização de fatores de forma por classe de diâmetro ou modelos que explicassem a variação do fator de forma em função do diâmetro.

Apesar destas alternativas, fica evidente que a utilização da árvore de diâmetro quadrático médio para estimativa da forma e, conseqüentemente, do volume comercial de árvores individuais, é um método eficaz. Isto se deve ao fato desta árvore ser representativa do manejo aplicado na área de plantio (Finger, 1992). Não possuindo grandes limitações em relação aos outros métodos e sendo um método prático e didático, a amostragem da árvore dg é ideal para se estimar o volume comercial total da floresta em áreas relativamente pequenas, pois exige pequeno esforço amostral e, portanto, tendo custos reduzidos. Como o uso do fator de forma possui erros maiores que os modelos de volume, sua utilização em grandes áreas implicaria extrapolar seus erros em uma maior magnitude, implicando estimativas de volume total do povoamento com intervalos de confiança maiores em comparação aos de equações de volume.

O método mais eficaz para estimar o volume comercial de árvores foi o modelo de volume de dupla entrada com variável combinada. No novo método de cálculo de volume apresentado por esta pesquisa, a estimativa do volume comercial de dupla entrada com diâmetro e altura comercial se mostrou muito superior a qualquer outro método encontrado na literatura. Contudo, é preciso salientar que os dados utilizados se resumem à árvores com utilização comercial limitada à biomassa, não incorporando outros possíveis usos da madeira.

Apesar de ser o método mais eficiente, o modelo de volume requer que seja amostrado um grande número de árvores, pois é necessário levantar dados de árvores que cubram toda a distribuição diamétrica do povoamento e, no caso desta pesquisa não possui a capacidade de estimar diferentes sortimentos nos quais cada árvore produz. Diante disto, o método de equações de volume de dupla entrada com variável combinada é recomendável para áreas produtivas nas quais o objetivo final da produção seja a biomassa. Sua utilização em pequenas áreas é injustificável devido ao grande esforço amostral envolvido. Em grandes áreas, a extrapolação das estimativas de volume por modelos de volume gera menores intervalos de confiança para volume total.

As equações de aflamento se mostraram altamente confiáveis para a estimativa de volume comercial e o ajuste destas funções permite estimativas rápidas de volume para

diferentes usos da madeira, sendo este o único método viável para a elaboração de tabelas de sortimento. Assim, este método pode ser indicado para áreas de produção que visam atender a demanda de diferentes nichos de mercado de madeira, desde laminação até a biomassa.

Conclusão

O volume comercial não seguiu uma distribuição normal, independentemente da transformação logarítmica;

A utilização do fator de forma da árvore de área basal média gerou melhores estimativas de volume do que a média aritmética, devido ao desvio da normalidade da distribuição dos volumes;

O modelo de volume de dupla entrada considerando dois diâmetros próximos ao solo foi mais eficiente que os métodos clássicos de estimativa do volume comercial;

O modelo de volume de dupla entrada com variável combinada de diâmetro e altura comercial foi o mais eficaz para estimar o volume comercial das árvores analisadas neste estudo;

As equações de aflamento se mostraram altamente confiáveis para a estimativa de volume comercial e o ajuste destas funções permite estimativas rápidas de volume para diferentes usos da madeira.

Referências

- AHRENS, S.; HOLBERT, D. Uma função para forma de tronco e volume de *Pinus taeda* L. **Boletim de pesquisa Florestal**, Colombo, v. 3, p. 37-68, 1981.
- EPAGRI. **Zoneamento agroecológico e socioeconômico do Estado de Santa Catarina**. Florianópolis, 1999. 1010 p.
- EPAGRI. **Mapa de solos**: unidade de planejamento regional Alto Vale do Itajaí. Florianópolis, 2002.
- FERREIRA, J. C. S.; SILVA, J. A. A.; MIGUEL, E. P.; ENCINAS, J. I.; TAVARES, J. A. Eficiência relativa de modelos volumétricos com e sem a variável altura da árvore. **Revista ACTA Tecnológica**, v. 6, n. 1, jan./jun. 2011.
- FINGER, C. A. G. **Fundamentos de biometria florestal**. Santa Maria, RS: UFSM; CEPEF-FATEC, 1992. 269 p.
- IBGE. **Produção da extração vegetal e da silvicultura**. Rio de Janeiro, 2011. v. 26. p. 55.
- KATTERINGS, Q. M. Reducing uncertainty in the use of allometric biomass equations for predicting above-ground tree biomass in mixed secondary forests. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 146, p. 199-209, 2001.

- LOPES, L. F. D.; SOUZA, A. M.; ZANINI, R. R. **Caderno didático**: estatística geral. 2. ed. Santa Maria, RS: Ed da UFSM, 2007.
- MACHADO, S.A.; URBANO, E.; CONCEIÇÃO, M.B.; FIGUEIREDO FILHO, A.; FIGUEIREDO, D.J. Comparison of taper functions for different ages and thinning regimes in *Pinus oocarpa* plantations. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Colombo, n. 48, p. 41-64, 2004.
- MACHADO, S. A. ; URBANO, E.; CONCEIÇÃO, M. B. Comparação de métodos de estimativa de volume para *Pinus oocarpa* em diferentes idades e diferentes regimes de desbaste. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Colombo, n. 50, p. 81-98, 2005.
- MONSERUD, R. A.; MARSHALL, J. D. Allometric crown relations in three northern Idaho conifer species. **Canadian Journal of Forestry Research**, v. 29, p. 521-535, 1999
- MOURA, V. P. G.; SILVA, M. A.; SANTIAGO, J.; CASTRO, A. J. R. Comportamento e resistência de procedências de *Eucalyptus grandis* Hill ex. Maiden à formação de veios de “kino” em planaltina, DF, Área de cerrado. Embrapa florestas. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Colombo, n. 24/25, p. 19-35, 1992.
- MÜLLER, I., FINGER, C. A. G.; SCHNEIDER, P. R. Forma de tronco e sortimentos de madeira de *Eucalyptus grandis* Hill ex. Maiden, na região sudeste do estado do Rio Grande do Sul. **Ciência Florestal**, Santa Maria, RS, v. 15, n. 3, p. 293-305, 2005.
- PELISSARI, A. L.; LANSSANOVA, L.R.; DRESCHER, R. Modelos volumétricos para *Pinus* tropicais, em povoamento homogêneo, no Estado de Rondônia. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 31, n. 67, p. 173-181, 2011.
- SCHNEIDER, P. R. **Análise de regressão aplicada à engenharia florestal**. Santa Maria, RS: FACOS-UFSM, 2009. 217 p.
- SCOLFORO, J. R. S.; THIERSCH, C. R. **Biometria florestal**: medição, volumetria e gravimetria. Lavras: UFLA/FAEPE, 2004. 285 p.
- SILVA, J. A.; PAULA NETO, F. **Princípios básicos de dendrometria**. Recife: Ed da UFRPE, 1979. 198 p.
- SILVA, J. A. A.; BORDERS, B. E. A tree volume equation based on two lower, stem diameters for Loblolly Pine in the Southeastern United States. Washington, US, Southern, **Journal of Applied Forestry**, v. 17, n. 4, p. 160-162, 1993.

