Modelos de equações volumétricas para um povoamento de eucalipto situado em Codó (MA)

Este trabalho teve por objetivo testar e comparar alguns modelos volumétricos, amplamente utilizados no manejo florestal em um povoamento de eucalipto em Codó (MA). A pesquisa foi realizada no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Maranhão (IFMA), no município de Codó (MA). Para os ajustes dos modelos volumétricos, levaram-se em consideração os métodos de Smalian, Huber e Newton, e optou-se pelo método de Smalian para a cubagem rigorosa, devido a sua maior facilidade e rapidez na tomada de diâmetro, em extremidades de cada tora. Os dados foram obtidos pelo processo de amostragem inteiramente aleatória, onde a cubagem rigorosa das árvores foi obtida a partir da intensidade amostral, calculada na área por meio de um inventário florestal. As equações analisadas foram as de Spurr, Compreensiva, Spurr Ln e Schumacher e Hall e para selecionar a melhor equação foram utilizados seis critérios: coeficiente de determinação; erro padrão residual; coeficiente de variação; facilidade de aplicação da equação e a análise gráfica de resíduos. A média geral obtida dos volumes das árvores foi de 0.0294 m³ com um coeficiente de variação (CV %) de 46,67%. Os dados mostram que as quatro equações testadas apresentaram desempenhos estatísticos satisfatórios referentes aos valores de R² (%), variando de 75,6% a 77,5%. Este alto desempenho significa que houve uma alta proporção da variabilidade observada do volume das árvores. Quanto à seleção, foi escolhida como melhor equação a de Schumacher e Hall, devido sua simplicidade e facilidade na sua aplicação.

Palavras-chave: *Eucalyptus urophylla*; Equações de volume; Inventário florestal.

Volumetric equation models for a eucalyptus stand in Codó (MA)

This work aimed to test and compare some volumetric models widely used in forest management in a eucalyptus stand in Codó (MA). The research was conducted at the Federal Institute of Education, Science and Technology of Maranhão (IFMA), in the municipality of Codó (MA). For the adjustments of the volumetric models, the Smalian, Huber and Newton methods were taken into consideration, and the Smalian method was used for the rigorous cubing, due to its greater ease and speed in taking diameter at the ends of each log. The data were obtained by the entirely random sampling process, where the rigorous tree cubing was obtained from the sample intensity, calculated in the area through a forest inventory. The equations analyzed were Spurr, Comprehensive, Spurr Ln and Schumacher and Hall and to select the best equation six criteria were used: coefficient of determination; residual standard error; coefficient of variation; ease of application of the equation and graphical analysis of residues. The overall average obtained from tree volumes was 0.0294 m³ with a coefficient of variation (CV%) of 46.67%. The data show that the four equations tested presented satisfactory statistical performances regarding the values of R² (%), ranging from 75.6% to 77.5%. This high performance means that there was a high proportion of the observed variability in tree volume. As for the selection, it was chosen as the best equation of Schumacher and Hall, due to its simplicity and ease in its application.

Keywords: *Eucalyptus urophylla*; Volume equations; Forest Inventory.

Topic: Ciências Florestais

Received: 01/06/2019

Approved: 05/07/2019

Reviewed anonymously in the process of blind peer.

Ariadna Meneses Rego
Instituto Federal do Maranhão, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/7833313689756106>
<http://orcid.org/0000-0002-3032-6920>
ariadnamenezes@gmail.com

Maria Dorotéia Marçal da Silva
Instituto Federal do Maranhão, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/7833942168201068>
<http://orcid.org/0000-0001-8751-3623>
mariadoroteia.silva@ifma.edu.br

Oswaldo Palma Lopes Sobrinho
Instituto Federal Goiano, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/8566209776805711>
<http://orcid.org/0000-0002-4632-695X>
oswaldo-palma@hotmail.com

Júlio César Sobreira Ferreira
Instituto Federal do Sertão Pernambucano, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/1772077350960749>
<http://orcid.org/0000-0003-3192-0005>
juliosobreira@gmail.com

DOI: 10.6008/CBPC2179-6858.2019.004.0001

Referencing this:

REGO, A. M.; SILVA, M. D. M.; LOPES SOBRINHO, O. P.; FERREIRA, J. C. S.. Modelos de equações volumétricas para um povoamento de eucalipto situado em Codó (MA). *Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais*, v.10, n.4, p.1-8, 2019. DOI: <http://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2019.004.0001>

INTRODUÇÃO

A silvicultura é uma atividade econômica em expansão e desenvolvimento, com demandas crescentes, que promove a sustentabilidade e contribui para a manutenção do equilíbrio ambiental, por intermédio da utilização de recursos sustentáveis (FISCHER et al., 2015). O Brasil apresenta grande competitividade no mercado de produtos florestais, em razão de suas características edafoclimáticas (solo e clima) e do desenvolvimento tecnológico obtido nas áreas de silvicultura e manejo florestal. O segmento de florestas plantadas no Brasil destaca-se pelo seu elevado impacto social e econômico. De acordo com a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária Brasileira (EMBRAPA), a atividade apresenta alto potencial de expansão, com geração de renda e emprego, principalmente, ao longo da sua cadeia produtiva de transformação da madeira, incrementando a obtenção líquida de divisas para o país.

Devido à grande necessidade de produtos madeireiros para suprir a demanda existente atualmente, no mercado do Brasil e no mundo, tem-se cada vez mais recorrido à utilização de madeira proveniente de florestas plantadas. No Brasil, conforme a Indústria Brasileira de Árvores (IBÁ), as espécies florestais mais plantadas são as do gênero *Eucalyptus*, tal fato se deve a alta produtividade e capacidade de tolerância a condições edafoclimáticas adversas (IBÁ, 2017). As plantações florestais comerciais com a cultura do eucalipto ocupam a quarta maior área de cultivo no país, ficando atrás somente do cultivo da soja, milho e cana-de-açúcar.

Ao longo da história da silvicultura as florestas nativas sempre sofreram com as pressões da exploração humana, o que já levou a extinção de algumas espécies e outras estão em risco. Situação essa que vem, a cada ano, sendo reduzida pela consolidação das plantações de espécies de rápido crescimento e de múltiplas utilizações, como é o caso da cultura do eucalipto. Atualmente, a cultura é a base que abastece de matéria-prima, grandes empreendimentos industriais de base florestal, como celulose, papel e siderurgia a carvão vegetal. Além de ser utilizada para outras finalidades, como madeira serrada, postes, bioenergia, palanques para cercas dentre outras (RESENDE et al., 2014).

O uso de equações de volumes vem constituindo-se em uma operação rotineira para cálculos de volumes de madeira em pé. Segundo Couto et al. (1987) apresenta a vantagem de calcular volume sólido, árvore a árvore, por meio de modelos matemáticos, especialmente testados para apresentar os menores erros possíveis.

Mesmo para florestas plantadas, a exploração da madeira deve ser condicionada a um planejamento detalhado, desde seu plantio ao padrão de desbaste e realização de inventários. É necessário realizar cálculos estimativos de volume de madeira em pé antes da colheita e um meio bastante utilizado é o uso de equações, as quais são chamadas de equações volumétricas, estas por métodos de comparação, estimam-se o valor do volume total da plantação. Muitas equações matemáticas foram desenvolvidas para estimar o volume de povoamentos florestais, e apesar da eficiência de alguns modelos, estes nem sempre se ajustam a todas as espécies e condições, sendo recomendável testá-los e identificá-lo o melhor para cada caso (THOMAS et al., 2006).

O volume de madeira de uma floresta é uma variável quantitativa que, quando determinada de forma adequada, permite o gerenciamento e o planejamento dos recursos florestais. Sua estimativa é, na maioria das vezes, o principal objetivo dos levantamentos florestais. Assim, a busca por metodologias que possibilitem atender de forma precisa as estimativas de volume dos fustes e a obtenção dos múltiplos produtos da madeira assume papel de destaque em inventários florestais (LIMA, 2017).

É por meio do uso de equações volumétricas que empresas florestais estimam o volume das árvores isoladas em seus inventários florestais, possibilitando, assim, obter o volume da parcela por meio da soma dos volumes das árvores isoladas e, conseqüentemente, o volume por unidade de área. Assim, torna-se de extrema importância a obtenção de um modelo volumétrico previamente testado e analisado, para assim, facilitar os trabalhos posteriores de cubagem de uma área, necessitando apenas medir a variável ou variáveis independentes. Diante da importância de estimar o volume das florestas ao longo do seu crescimento e antes da colheita, objetivou-se, com este trabalho, testar e comparar alguns modelos volumétricos, amplamente utilizados no manejo florestal em um povoamento de eucalipto em Codó (MA).

METODOLOGIA

A pesquisa foi realizada no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Maranhão (IFMA), localizado no município de Codó. A instituição encontra-se situada na zona rural, no povoado Poraquê com uma área de 210 hectares, com coordenadas geográficas de 4º 26' 51" latitude Sul, 43º 52' 57" longitude Oeste de Greenwich com altitude de 48m. O município de Codó está localizado na região dos cocais maranhenses e o clima dessa região é, segundo a classificação de Köppen-Geiger, do tipo Aw - megatérmico úmido e subúmido de inverno seco. A precipitação anual de 1.526mm, sendo o período chuvoso concentrado nos meses de janeiro, fevereiro e março e o solo da área é classificado como Neossolo Quartzarênico (CASTRO JÚNIOR, 2012). Segundo Lima (1998), a temperatura média da região está em torno de 27°C, e a temperatura do mês mais frio é superior a 18°C.

Foram selecionadas no IFMA - Campus Codó por meio de amostragem aleatória simples 25 árvores de *Eucalyptus urophylla*, de um total de 148 árvores, no período entre 2013 e 2014, em que estas árvores foram escolhidas para posterior abate. Foi obtido o (DAP) das árvores por meio de uma suta. Como as árvores utilizadas não eram para fins comerciais, algumas apresentavam fustes bifurcados, e nestas, as medidas foram realizadas a 0,30cm acima da bifurcação.

As árvores foram cortadas com o auxílio de uma motosserra a uma altura de 0,30m do solo e cubadas pelo método de Smalian (MACHADO et al., 2009). A partir dos dados de volume obtidos pela expressão de Smalian para o método de cubagem tradicional, foram ajustados os modelos volumétricos lineares e não lineares para estimar o volume de madeira. A equação proposta é $V_i = \frac{(g_1 + g_2)}{2} \cdot L$, em que: V = volume da tora/seção (m³); g1 = área transversal na base da seção i da tora (m²); g2 = área transversal no topo da seção i da tora (m²); L = comprimento da tora em m; i = número de seções da tora (i= 1, 2, 3,..., n). Propõe-se,

também, $g_1 = \frac{\pi d_1^2}{4} = \frac{c_1^2}{4\pi}$ e $g_2 = \frac{\pi d_2^2}{4} = \frac{c_2^2}{4\pi}$, em que: d_1 = diâmetro na base da tora; c_1 = circunferência na base da tora; d_2 = diâmetro no topo da tora; e c_2 = circunferência no topo da tora.

A altura das árvores foi realizada de forma individual e determinada com o uso de uma fita diamétrica, considerado como altura total das árvores a distância da base do solo ao ápice. As árvores tiveram seus diâmetros definidos nas seções compreendidas de 0,30m, 0,70m, 1,30m, 2,30m, 3,30m, 4,30m, e assim por diante, a cada metro até a altura final. Foram testados quatro modelos volumétricos selecionados na literatura (tabela 1) apresentando como variável dependente o volume (V) em função das variáveis independentes altura (Ht) e diâmetro à altura de 1,3m (DAP).

Tabela 1. Modelos volumétricos lineares e não lineares de equações para obter estimativas do estoque volumétrico de um povoamento de eucalipto a partir de dados de cubagem.

Lineares	Não lineares
$V_i = \beta_0 + \beta_1 D^2 H_i + \xi_i$ (Spurr)	$\ln V_i = \beta_0 + \beta_1 \ln D^2 H_i + \xi_i$ (Spurr)
$V_i = \beta_0 + \beta_1 D_i + \beta_2 D^2 + \beta_3 D H_i + \beta_4 D^2 H_i + \beta_5 H_i + \xi_i$ (Compreensiva)	$\ln V_i = \beta_0 + \beta_1 \ln D_i + \beta_2 \ln H_i + \xi_i$ (Schumacher e Hall)

Legenda: V = volume; D = diâmetro à altura do peito (DAP); H = altura total; β_1 , β_2 , β_3 , β_4 e β_5 = Coeficientes e ξ = Erro.

A fim de escolher a melhor equação, foram utilizados os seguintes parâmetros: coeficiente de determinação (R^2); o erro padrão residual (EPR); o coeficiente de variação (CV) e a análise gráfica dos resíduos. Os parâmetros ou também chamados de coeficientes das equações (b_1 , b_2 , b_3 , b_4 e b_5) são estimados por métodos clássicos de regressão ou também por programas de computador (PIMENTEL et al., 1990; DRAPER et al., 1981), o Microsoft Excel pode ser habilitado para fazer este tipo de cálculo. Para estes coeficientes, valores negativos indicam algum erro de estimação ou alguma inconsistência nos valores, o que é algo relativo às estimativas realizadas (SOARES et al., 2011).

O parâmetro β (b_1 , b_2 , b_3 , b_4 e b_5) é obtido pelo método dos mínimos quadrados ordinários Draper et al. (1981) por meio da equação disposta na figura 1. O coeficiente de determinação foi definido pela equação disposta na figura 2, e selecionado como melhor ajuste o modelo que apresentou o maior valor de R^2 (SILVA et al., 1991; THOMAS et al., 2006). O coeficiente de determinação para regressão (R^2), expressa a quantidade da variação total explicada pela regressão.

$$\hat{\beta} = \begin{bmatrix} \hat{\beta}_0 \\ \hat{\beta}_1 \\ \hat{\beta}_2 \end{bmatrix}; (X'X) = \begin{bmatrix} n & \sum_{i=1}^n X_1 & \sum_{i=1}^n X_2 \\ \sum_{i=1}^n X_1 & \sum_{i=1}^n X_1^2 & \sum_{i=1}^n X_1 X_2 \\ \sum_{i=1}^n X_2 & \sum_{i=1}^n X_2 X_1 & \sum_{i=1}^n X_2^2 \end{bmatrix}; X'Y = \begin{bmatrix} \sum_{i=1}^n Y \\ \sum_{i=1}^n X_1 Y \\ \sum_{i=1}^n X_2 Y \end{bmatrix}$$

Figura 1: Equação que dispõe o método dos mínimos quadrados ordinários. **Fonte:** Draper et al. (1981). **Legenda:** n = número de observações (árvores); X_1 = logaritmo do DAP, X_2 = logaritmo da altura total (Ht); e Y = logaritmo do volume.

$$R^2 = \frac{b_1 \sum_{i=1}^n (X_i - \hat{X}_i)(Y_i - \hat{Y}_i)}{\sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)} = \frac{SQR}{SQT}$$

Figura 2: Equação que expressa a quantidade variacional total explicada pela regressão. **Legenda:** b_1 = Coeficiente da equação; X_i = Variáveis independentes; $\hat{X}_i$ = Valores estimados das variáveis independentes; Y_i = Volume total observado (m^3); $\hat{Y}_i$ = Volume estimado do volume total (m^3); SQR= Soma de quadrados da regressão; e SQT= Soma de quadrados totais.

O erro padrão residual foi obtido conforme equação. O erro padrão residual é uma medida de dispersão entre os valores reais obtidos pela cubagem rigorosa, e os estimados pela regressão. Assim, quanto menor o erro padrão residual, melhor é a estimativa (SILVA, 1977; THOMAS et al., 2006). Tem-se

$$EPR = \sqrt{QM_{res}}, \text{ em que: EPR = Erro padrão residual; e } QM_{res} = \text{Quadrado médio do resíduo.}$$

O coeficiente de variação foi determinado pela equação que será proposta. Segundo Meyer (1941), o coeficiente de variação é uma importante opção quando se querem comparar equações com variáveis dependentes de diferentes unidades. Dessa forma, quanto menor o valor do coeficiente, melhor e mais precisa é a estimativa. Tem-se $CV = \frac{EPR}{\bar{y}} \cdot 100$, em que: CV = Coeficiente de variação (%); EPR = Erro

padrão residual; e Y = Média aritmética da variável dependente.

Os modelos lineares e não lineares foram ajustados pelo programa *Microsoft Office Excel* versão 2013, assim como médias, erro padrão, coeficiente de variação, coeficiente de determinação, parâmetros estatísticos e gráficos de resíduos. Para obtenção do gráfico de resíduos, o programa calcula os desvios para todas as árvores amostradas e assim os indica num gráfico cartesiano com DAP no eixo das abscissas e os resíduos no eixo das ordenadas.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os dados dos volumes das 25 árvores obtidos pelo método de Smalian encontram-se na tabela 2. A média geral obtida dos volumes das árvores foi de 0,0294m³ com um coeficiente de variação (CV %) de 46,67%. A alta variabilidade é justificável, pois as árvores foram conduzidas sem nenhum tipo de tratamento silvicultural, sem um espaçamento padronizado, portanto, são fatores que interferem nos dados volumétricos. Lundgren et al. (2017) encontrou CV de 23,4%, também considerado alto para as medidas de volume na população, como nas amostras, haja vista que a alta variabilidade dificulta estimativas mais precisas.

Tabela 2: Valores dos volumes obtidos por meio da cubagem rigorosa por Smalian.

Árvore	DAP (m)	H (m)	Volume (m ³)
1	0,072	24	0,044704
2	0,085	25,6	0,062643
3	0,074	22,78	0,040606
4	0,076	19,61	0,04123
5	0,068	20,2	0,031546
6	0,068	19,8	0,031306
7	0,059	17,1	0,051492
8	0,086	20,2	0,053416
9	0,073	17,9	0,028392
10	0,068	20,8	0,026147
11	0,065	18,8	0,021382
12	0,069	22,1	0,034124
13	0,068	26,4	0,045526
14	0,035	21,8	0,016013
15	0,059	21	0,025353
16	0,054	20,8	0,019816
17	0,057	17	0,017205
18	0,050	21,9	0,020045
19	0,042	16,4	0,010531
20	0,056	14,8	0,013367

21	0,059	21,2	0,022497
22	0,048	16,4	0,013111
23	0,057	17,5	0,017118
24	0,057	20,8	0,025514
25	0,057	18	0,021921
Média geral	-	-	0,0294 m ³
CV %	-	-	46,67%

Assim, quanto mais heterogênea uma floresta, maior será o seu coeficiente de variação e quanto mais homogênea uma floresta, logo menor será o seu coeficiente de variação (SCOLFORO et al., 2004). São apresentados os coeficientes e estatísticas das equações testadas para a estimativa de volume na tabela 3, que traz esses parâmetros.

Tabela 3: Parâmetros das equações testadas para a estimativa de volume.

Equação	Coeficientes						R ² (%)	EPR	CV (%)
	b ₀	b ₁	b ₂	b ₃	b ₄	b ₅			
Spurr	0.00297	0.31768					75,6	0.00707	23,81
Compreensiva	0.09823	3.26117	0.17777	25.7193	0.00554	1.71001	76,2	0.00768	26,11
Spurr Ln	1.41191	0.85701					76,0	0.00724	25,35
Schumacher e Hall	3.18645	1.53144	1.27973				77,5	0.00744	25,99

Legenda: R²= coeficiente de determinação; EPR = erro padrão residual; CV% = coeficiente de variação; b₁, b₂, b₃, b₄ e b₅ = coeficientes/parâmetros estimados das equações.

Os dados apresentados na tabela 3 mostram que as quatro equações testadas apresentaram desempenhos estatísticos satisfatórios referentes aos valores de R² (%), variando de 75,6% a 77,5%, este alto desempenho significa que houve uma alta proporção da variabilidade observada do volume das árvores. Os erros padrões residuais oscilaram 0,00707 a 0,00768. Os valores dos coeficientes também mostraram valores dentro do esperado, devido às características dos dados coletados. O valor mais baixo do CV% foi o modelo 1 obtendo 23,81%.

Figura 1: Distribuição do resíduo referente à equação Spurr.

Figura 2: Distribuição do resíduo referente à equação compreensiva.

Figura 3: Distribuição do resíduo referente à equação Spurr Ln.

Figura 4: Distribuição do resíduo referente à equação de Schumacher e Hall.

Observam-se que os critérios de coeficiente de determinação (R²), erro padrão residual (EPR) e coeficiente de variação (CV), apresentaram valores muito próximos, tornando difícil uma decisão na seleção

da melhor equação. Portanto, optou-se, como critério de decisão, a distribuição gráfica dos resíduos, que embora visual, é o mais indicado para selecionar a melhor equação. Segundo Schneider (1997), a análise gráfica da distribuição dos resíduos possibilita a verificação do ajuste da equação, ao longo de toda a amplitude dos dados observados, permitindo assim, detectar possíveis tendências de ajuste para a tomada de decisão, quanto à utilização ou não do modelo/equação. Podem ser observados os gráficos de dispersão de resíduos com relação ao diâmetro à altura do peito (DAP) (Figuras 1, 2, 3 e 4).

Após a análise do resíduo, não foi possível escolher somente uma equação, observou-se que a distribuição aleatória dos desvios ao longo de toda a amplitude de dados teve valores aproximados, em todas as equações e os dados tiveram pouca variação, não podendo definir qual a equação mais se ajustaria. Dentro dos mais variados modelos para estimar volume de madeira em função do diâmetro e da altura, o modelo de Schumacher e Hall é um dos mais utilizados na área florestal, pois conforme as suas propriedades estatísticas, onde os resultados destas são quase sempre não tendenciosos (LEITE et al., 2002; CAMPOS et al., 2013).

Colpini et al. (2009) recomendou a equação de Schumacher e Hall logaritimizada para a região noroeste de Mato Grosso, por apresentar maior precisão, para estimar o volume em função do diâmetro e da altura total das árvores, sendo a equação selecionada pelos pesquisadores e recomendada para a área estudada. Em estudo de equações de volume com árvores de *Acácia mangum*, Willd et al. (2006) obteve a modelo Compreensiva como o mais adequado em estimativa de volume totais e comerciais. Fiates (1990), testando modelos de estimativa de volume para as espécies de *Pinus elliotti* e *Pinus taeda*, também encontrou no modelo Compreensiva os melhores resultados.

Entretanto, Couto et al. (1987), ao ajustarem diferentes modelos em plantios de eucalipto na região de Suzano – SP, para a obtenção de volume com e sem casca para celulose, verificaram que o melhor modelo de ajuste foi o de Spurr. Santos et al. (2006), no estado do Paraná, em um estudo com predominância de floresta ombrófila, e principalmente com araucárias, com um total de 120 árvores cubadas, e com as equações de Spurr, Spurr Ln, Compreensiva e de Schumacher e Hall testadas, concluíram que todas as equações testadas se ajustaram muito bem, podendo escolher quaisquer uma, atentando para a mais simples.

CONCLUSÕES

O coeficiente de variação das médias dos volumes foi considerado muito elevado, o que se justifica pela desuniformidade das árvores cubadas. As equações volumétricas testadas apresentaram ajustes satisfatórios, com valores elevados de R^2 , baixos erros (EPR), análise gráfica de resíduos com amplitudes pouco distintas e sem tendências dentro das limitações dos dados obtidos. Os modelos, assim como seus parâmetros, são específicos para uma determinada condição, como a espécie, idade, técnicas silviculturais e local, havendo assim a necessidade de sempre quando houver mudanças ou mesmo plantios realizar uma nova cubagem e aplicação novamente dos modelos.

REFERÊNCIAS

- CAMPOS, J. C. C.; LEITE, H. G.. **Mensuração florestal: perguntas e respostas**. 4 ed. Viçosa: EDUFV, 2013.
- CASTRO JÚNIOR, W. L.. **Análise técnico-econômica de tecnologias de manejo da irrigação na produção de feijão-caupi na região dos cocais, MA**. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2012.
- COLPINI, C.; TRAVAGIN, D. P.; SOARES, T. S.; SILVA, V. S. M.. Determinação do volume, do fator de forma e da porcentagem de casca de árvores individuais em uma Floresta Ombrófila Aberta na região noroeste de Mato Grosso. **Acta Amazônica**, v.39, n.1, p.97-104, 2009. DOI: <http://doi.org/10.1590/S0044-59672009000100010>
- COUTO, H.T. Z.; BASTOS, N. L. M.. Modelos de equações de volume e relações hipsométricas para plantações de *Eucalyptus* no Estado de São Paulo. **IPEF**, n.37, p.33-34, 1987.
- DRAPER, N. R.; SMITH, H.. **Applied regression analysis**. 2 ed. **Ecology and Management**, New York, v.301, p.6-27, 1981.
- FIATES, A. R.. Funções de volume para povoamento de *Pinus elliotti* var. *elliotti* e *Pinus taeda* L. para regiões de Itararé (SP) e Sengés (PR). **Floresta**, Curitiba, v.20, n.2, p.8, 1990.
- FISCHER, A.; SURDI, A. P.; SANTOS JUNIOR, S.; WINCK, C. A.. A Silvicultura Madeireira na Secretaria de Desenvolvimento Regional de Joaçaba. **Desenvolvimento em questão**, v.13, n.29, p.225-256, 2015.
- IBÁ. Indústria Brasileira de Árvores. **Relatório IBÁ 2017**. Brasília: IBÁ, 2017.
- LEITE, H. G.; ANDRADE, V. C. L.. Um método para condução de inventários florestais sem o uso de equações volumétricas. **Árvore**, v.26, n.3, p.321-328, 2002. DOI: <http://doi.org/10.1590/S0100-67622002000300007>
- LIMA, A. A. C.. **Solos e aptidão edafoclimática para a cultura do cajueiro no município de Codó, Maranhão**. Fortaleza: EMBRAPA, 1998.
- LIMA, M. C. D.. **Efeito da borda na precisão do inventário florestal e na estimativa de multiprodutos em um povoamento de eucalipto**. Dissertação (Mestrado). Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Itapetinga, 2017.
- LUNDGREN, W. J. C.; SILVA, J. A. A.; FERREIRA, R. L. C.. A Precisão da Estimativa do Erro da Krigagem pela Validação Cruzada. **Floresta e Ambiente**, v.24, 2017. DOI: <http://doi.org/10.1590/2179-8087.124114>
- MACHADO, S. A.; FIGUEIREDO FILHO, A.. **Dendrometria**. 2 ed. Guarapuava: Unicentro, 2009.
- MEYER, H. A.. correction for a systematic error occurring in the application of the logarithmic volume equation. **Forestry School Research Paper**, Pennsylvania, v.7, 1941.
- RESENDE, M. D. V.; ASSIS, T. F.; GRATTAPAGLIA, D.; PIRES, I. E.. Genética e melhoramento do eucalipto. In: VALE, A. B.; MACHADO, C. C.; PIRES, J. M. M.; VILAR, M. B.; COSTA, C. B.; NACIF, A. P.. **Eucalipto cultura no Brasil: silvicultura, manejo e ambiência**. Viçosa: SIF, 2014. p.103-119.
- SANTOS, K.; SANQUETTA, C. R.; EISFELD, R. L.; WATZLAWICK, L. F.; ZILLOTTO, M. A. B.. Equações volumétricas por classe diamétrica para algumas espécies folhosas da Floresta Ombrófila Mista no Paraná, Brasil. **Revista de Ciências Exatas e Naturais**, v.8, p.99-112, 2006.
- SCHNEIDER, P. R.. **Análise de regressão aplicada à engenharia florestal**. Santa Maria: UFSM, 1997.
- SCOLFORO, J. R. S.; PÉREZ, J. F. M.; MELLO, J. M.; OLIVEIRA, A. D.; CAMALESI, J. F.; BORGES, L. F. R.; ACERBI JÚNIOR, F. W.. Estimativa de volume, peso seco, peso de óleo e quantidade de moirões para a candeia (*Eremanthus erythropappus* (DC). Macleish). **Cerne**, Lavras, v.10, n.1, p.87-102, 2004.
- SILVA, J. A. A.. **Análise de equações volumétricas para construção de tabelas de volume comercial para *Eucalyptus spp.*, segundo a espécie, Região e Método de Regeneração**. Viçosa: 1977.
- SILVA, J. A. A.; BAILEY, R. L.. O uso de transformações normalizadoras no ajuste de modelos volumétricos. **Árvore**, Viçosa, v.15, n.2, p.199-206, 1991.
- SOARES, C. P. B.; MARTINS, F. B.; LEITE JUNIOR, H. U.; SILVA, G. D.; FIGUEIREDO, L. T. M.. Equações hipsométricas, volumétricas e de taper para onze espécies nativas. **Árvore**, Viçosa, v.35, n.5, p.1039-1051. 2011.
- THOMAS, C.; ANDRADE, C. M.; SCHNEIDER, P. R.; FINGER, C. A. G.. Comparação de equações volumétricas ajustadas com dados de cubagem e análise de tronco. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v.16, n.3, p.319-327, 2006.
- VEIGA, R. A. A.; CARVALHO, C. M.; BRASIL, M. A. M.. Determinação de equações de volume para árvores de *Acacia mangium*. **Cerne**, v.6, n.1, p.103-107, 2000.

A CBPC – Companhia Brasileira de Produção Científica (CNPJ: 11.221.422/0001-03) detém os direitos materiais desta publicação. Os direitos referem-se à publicação do trabalho em qualquer parte do mundo, incluindo os direitos às renovações, expansões e disseminações da contribuição, bem como outros direitos subsidiários. Todos os trabalhos publicados eletronicamente poderão posteriormente ser publicados em coletâneas impressas sob coordenação da **Sustenere Publishing**, da Companhia Brasileira de Produção Científica e seus parceiros autorizados. Os (as) autores (as) preservam os direitos autorais, mas não têm permissão para a publicação da contribuição em outro meio, impresso ou digital, em português ou em tradução.