

AJUSTES DE MODELOS VOLUMÉTRICOS PARA O CLONE *Eucalyptus grandis* x *E. urophylla* CULTIVADOS NO AGRESTE DE PERNAMBUCO

Francisco das Chagas Vieira Sales^{1*}, José Antonio Aleixo da Silva², Rinaldo Luiz Caraciolo Ferreira²,
Fernando Henrique de Lima Gadelha³

^{1*} Universidade Federal de Campina Grande, Unidade Acadêmica de Engenharia Florestal, Patos, Paraíba, Brasil - franciscoef@yahoo.com.br

² Universidade Federal Rural de Pernambuco, Departamento de Ciência Florestal, Recife, Pernambuco, Brasil - jaaleixo@uol.com.br; rinaldof@dfl.ufrpe.br

³ Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco, Cabo de Santo Agostinho, Pernambuco, Brasil - limagadelha@gmail.com

Recebido para publicação: 23/08/2014 – Aceito para publicação: 16/10/2015

Resumo

O presente trabalho teve como objetivo avaliar o ajuste de modelos volumétricos para um clone de *Eucalyptus* usando distribuição normal e t-Student, utilizando dados de um experimento implantado no Instituto Agrônomico de Pernambuco (IPA) em São Bento do Una, PE. Para o ajuste dos modelos volumétricos de Silva e Bailey modificado, Chapman e Richard modificado, Schumacher e Hall e, Brody modificado, foram utilizados dados de 62 árvores cubadas rigorosamente pelo método de Smalian. Os critérios usados nas comparações das equações foi o valor ponderado (VP) entre o Índice de Ajuste corrigido (IAc) e o erro percentual absoluto médio (EPAM). De acordo com os resultados o modelo que mostrou melhores ajustes nas duas distribuições foi o de Schumacher e Hall, com melhores ajuste quando da distribuição t-Student. A distribuição t-Student promoveu melhorias nos ajustes das equações em relação à distribuição Normal, quando comparando as duas distribuições em cada equação. *Palavras-chave:* Manejo florestal; distribuições simétricas; equações de volume.

Abstract

Adjustment of volumetric models for clone of Eucalyptus grandis x E. Urophylla grown on agreste, Pernambuco. This research aimed to evaluate the volumetric models fitting for *Eucalyptus* clone using normal and t-Student distributions, based on data from an experiment implanted at the Agronomic Institute of Pernambuco (IPA) in São Bento do Una, PE. In order to set the modified volumetric models of Silva and Bailey, modified Chapman and Richard, Schumacher and Hall, and modified Brody, we used data from 62 trees rigorously scaled by Smalian method. The criteria for equation comparing were the weighted value (PV) between the corrected index adjustment (IAc) and absolute mean error percentage (EPAM). According to the results, the model that best fits for the two distributions is Schumacher and Hall, with better adjustment related to the Student-t distribution. The t-Student distribution promoted improvements of equations regarding the Normal distribution, compared to the two distributions per equation.

Keywords: Forest management; symmetric distributions; volume equations.

INTRODUÇÃO

A região agreste do estado de Pernambuco apresenta alta demanda de lenha, principalmente, no polo têxtil, que consome anualmente 57.749,54 m³ lenha (BARBOSA, 2011). Na região não há planos de manejo florestal para abastecer essa demanda, que é atendida em sua maioria com lenha extraída de forma ilegal em florestas nativas, promovendo o desflorestamento da região. As espécies florestais da região são adaptadas às condições de temperatura e déficit hídrico, mas apresentam baixas taxas de crescimento volumétrico quando comparadas algumas espécies exóticas que podem ser cultivadas na região. Sendo assim, se faz necessária a adoção de estratégias de fornecimento de lenha para esta região, bem como a recuperação da vegetação nativa que se encontra em fase de declínio.

Uma alternativa de fornecer lenha e amenizar o impacto sobre a vegetação nativa é o plantio de florestas de rápido crescimento. A importância da implantação dessas florestas é atender parte da demanda de forma rápida, superando a expectativa de retorno volumétrico da vegetação nativa, compartilhando a pressão sobre a vegetação nativa. A oferta de lenha via florestas de rápido crescimento permite ainda que se possa fazer um planejamento do uso da biomassa compatível com a demanda, bem como atenuar o desmatamento da vegetação nativa que em grande parte é feito de forma ilegal. Esses plantios quando alocados em áreas degradadas, pastagens abandonadas ou áreas antropizadas por cultivos em abandono podem além do fornecimento de biomassa trazer impactos positivos, como estancar os processos erosivos e manutenção da fertilidade do solo (VITAL, 2007).

Para este fim, o gênero *Eucalyptus* tem sido amplamente difundido por apresentar alta produtividade e adaptabilidade as mais variadas condições edafoclimáticas, notando-se que atualmente, as plantações de *Eucalyptus* estão presentes nas mais diversas regiões do mundo, em diferentes altitudes e tipos de solo, sujeitos a distintos regimes pluviométricos (VITAL, 2007). Sendo um potencial a ser pesquisado para a região Nordeste, o plantio desse gênero passou de 598 mil hectares em 2008, conforme dados da Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas (ABRAF) (2013), para 873 mil hectares em 2014, considerando os estados da Bahia, Maranhão e Piauí (IBÁ, 2015). Portanto o gênero *Eucalyptus* é um potencial a ser pesquisado para a região, no entanto, é necessário realizar pesquisas sobre a viabilidade e capacidade produtiva da sua implantação, e uma das ferramentas mais utilizadas para verificar a capacidade produtiva é a avaliação do crescimento no referido ambiente.

Avaliar o crescimento e a produção é parte fundamental do processo de planejamento dos povoamentos florestais. O uso de equações volumétricas constitui-se em um procedimento eficiente para estimar a produção em volume de um povoamento florestal. Algumas árvores selecionadas por um processo amostral são abatidas e seus volumes individuais são determinados, bem como variáveis de fácil obtenção como o Diâmetro à Altura do Peito (DAP) ou Circunferência à Altura do Peito (CAP) e a Altura Total (Ht) que serão usadas como variáveis independentes nos modelos volumétricos, que após ajustados resultam em equações (LEITE; ANDRADE, 2002; MELLO *et al.*, 2005).

Durante muitos anos, as estimativas volumétricas de árvores eram feitas basicamente usando modelos matemáticos lineares e não lineares, com suposição da normalidade dos erros. Porém recentemente tem sido agregadas alternativas visando melhorar as precisões destes modelos, destacando-se outras distribuições simétricas, como a t de Student, Cauchy, t de Student Generalizada, Kotz, Kotz Generalizada, Exponencial Potência, Logística tipo I, Logística tipo II (CYSNEIROS *et al.*, 2005; LIMA FILHO *et al.*, 2012).

A família de distribuições simétricas gera uma classe ampla de distribuições com a mesma simetria que a distribuição normal padrão, no entanto, assumem para os erros, distribuições com caudas mais pesadas em relação à distribuição normal (CYSNEIROS *et al.*, 2005).

Os modelos simétricos supõem várias distribuições para os erros de forma que não sejam tão sensíveis a valores extremos como a distribuição normal, sendo que dentre as distribuições simétricas já aplicadas à estimativa de volume de *Eucalyptus*, a distribuição t-Student mostrou-se mais eficaz (LIMA FILHO *et al.*, 2012).

Dentre as distribuições simétricas há a hipótese de que os erros aleatórios apresentam distribuição normal, no entanto, esta suposição nem sempre se verifica em se tratando de fenômenos biológicos, os quais apresentam muitas vezes erros com distribuição diferente da normal. Nesses casos, deve-se considerar distribuições mais adequadas, como a t-Student.

Considerações teóricas

Considerando que a variável aleatória $Y \sim S(\mu, \emptyset)$ tem distribuição normal se sua função geradora de densidade $g(\cdot)$ é da forma,

$$g(u) = \frac{1}{\sqrt{2\emptyset}} e^{-u/2}, \quad \text{para } u > 0,$$

em que: Y tem distribuição normal denotada por $Y \sim N(\mu, \emptyset)$. O coeficiente de curtose desta distribuição é $\gamma_2 = 3$.

Diz-se que $Y \sim S(\mu, \emptyset)$ tem distribuição t de Student se sua função geradora de densidade $g(\cdot)$ é da forma,

$$g(u) = \frac{v^{v/2}}{B(1/2, v/2)} (v + u)^{-\frac{v+1}{2}}, \quad v > 0, \quad u > 0,$$

em que: $B(\dots)$ é a função Beta. Assim, Y é denotada por $Y \sim t(\mu, \sigma, \nu)$. O coeficiente de curtose é $\gamma_2 = 3 + \frac{6}{\nu-4}$, para $\nu > 4$. Este coeficiente é maior que o coeficiente da distribuição normal.

A distribuição t-Student é recomendada para modelar dados visando reduzir a influência de observações aberrantes. Esta distribuição permite ajustar a curtose dos dados por meio dos graus de liberdade “ ν ”. Ressalta-se que a família simétrica guarda a estrutura da distribuição normal, no entanto, elimina a forma específica da densidade normal para englobar outras densidades simétricas. Esta distribuição foi considerada mais adequada à estimativa de volume de árvores de *Eucalyptus* no Pólo Gesseiro do Araripe (LIMA FILHO *et al.*, 2012).

Portanto o presente trabalho objetiva avaliar o ajuste de modelos volumétricos aos dados de *Eucalyptus* nas distribuições normal e com uma distribuição com caudas mais pesadas como a distribuição t-Student.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi desenvolvido no Campo Experimental do Instituto Agrônomo de Pernambuco (IPA) em São Bento do Una, com coordenadas geográficas de posição 08° 31' 22" S e 36° 06' 40" W e altitude de 614 metros. O município apresenta clima semiárido (quente) e vegetação sub caducifólia e caducifólia com temperatura média anual de 22,2 °C e precipitação pluviométrica média anual de 630 mm (MASCARENHAS *et al.*, 2005).

O experimento foi implantado no mês de abril de 2008, e contou com a avaliação de clones e espécies do gênero *Eucalyptus* somando 15 tratamentos. O clone 0321 (*E. grandis* x *E. urophylla*), foi o que apresentou a melhor produção em volume, sendo, portanto o selecionado para o ajuste dos modelos volumétricos (Tabela 1). Para os ajustes dos modelos 61 árvores, foram cubadas rigorosamente pelo método de Smalian, nos quais foram aplicadas as distribuições simétricas normal e t-Student, as quais seguem na tabela 2 a estatística descritiva das árvores.

Tabela 1. Modelos volumétricos utilizados no ajuste dos dados do Clone 0321 (*E. grandis* x *E. urophylla*).

Table 1. Volumetric models used to adjust data of clone 0321 (*E. grandis* x *E. urophylla*).

1	$V_i = \beta_0 e^{\beta_1(\beta_2^{CAP_i} + \beta_3^{Ht_i})} + \varepsilon_i$	Silva e Bailey modificado
2	$V_i = \beta_0 \{1 - e^{[-\beta_1 CAP_i + (-\beta_2 Ht_i)]}\}^{\beta_3} + \varepsilon_i$	Chapman e Richard modificado
3	$V_i = \beta_0 CAP_i^{\beta_1} Ht_i^{\beta_2} + \varepsilon_i$	Schumacher e Hall
4	$V_i = \beta_0 - \beta_1 e^{[-\beta_2 CAP_i + (-\beta_3 Ht_i)]} + \varepsilon_i$	Brody modificado

V_i : volume da árvore i em m^3 ; CAP_i : circunferência a altura do peito da árvore i em cm; Ht_i : altura total da árvore i em m; $\beta_0, \beta_1, \beta_2$ e β_3 : parâmetros dos modelos; ε_i : erro aleatório da árvore i .

Tabela 2. Estatística descritiva das 61 árvores usadas no ajuste e validação dos modelos volumétricos.

Table 2. Descriptive statistics of 61 trees used in the setting and validation of volumetric models.

Estatísticas	Circunferência (cm)	Altura total (m)	Volume (m^3)
Soma dos dados	1699,28	636,3	1,936884
Menor valor	19,79	7,8	0,011505
Maior valor	43,35	13,9	0,086528
Amplitude	23,56	6,1	0,075023
Ponto médio	31,57000	10,85000	0,04902
Média aritmética (M)	27,85705	10,43115	0,03175
Limite de confiança inferior da Média (95%)	26,76794	10,14951	0,02840
Limite de confiança superior da Média (95%)	28,94616	10,71279	0,03510
Mediana	27,02	10,5	0,02773
Moda	28,27	10,5 e 10,7	Não há moda
Desvio médio	3,21549	0,80700	0,00931
Desvio padrão	4,33990	1,12229	0,01334
Variância	18,83470	1,25953	0,00018
Coefficiente de Variação	15,57917	10,75901	42,00996
Coefficiente de assimetria	1,04048	0,59431	1,96473
Coefficiente de curtose	1,89299	1,40802	5,24257

O critério usado na comparação das equações foi o valor ponderado entre o Índice de Ajuste corrigido (IA_c), em que o maior valor é o selecionado (SCHLAEGEL, 1981), e o erro percentual absoluto médio (EPAM) em que o menor valor é selecionado, conforme aplicado por Lima Filho *et al.* (2012). Índice de Ajuste corrigido é expresso por:

$$IA_c\% = \left\{ 1 - \left[1 - \left(\frac{\sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - \bar{y})^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2} \right) \right] \times \left(\frac{n-1}{n-p} \right) \right\} 100$$

em que: IA_c% = índice de ajuste corrigido; p = número de parâmetros da equação; n = Tamanho da amostra; y_i = Valor observado (real); \hat{y}_i = Valor estimado pela equação de regressão; \bar{y} = Médias dos valores observados;

Erro Percentual Absoluto Médio

O EPAM é expresso por:

$$EPAM = \frac{100}{n} \cdot \sum_{i=1}^n \frac{|y_i - \hat{y}_i|}{y_i}$$

em que: n = Tamanho da amostra; y_i = Valor observado (real); \hat{y}_i = Valor estimado pela equação de regressão;

Também foi usado o valor ponderado (VP) entre o IAc e o EPAM, que é obtido pela multiplicação do número de vezes que a estatística que foi observada pelo seu respectivo peso. Faz-se um ranking pontuando os melhores valores do IAc e do EPAM, o menor valor encontrado de acordo com a fórmula abaixo, expressa a melhor equação, conforme Schneider *et al.* (2009). A estimativa do valor ponderado segue:

$$VP = \sum_{i=1}^n Nr_i \times P_i$$

em que: VP = valor ponderado da equação; Nr_i = número de registros que obtiveram a i-ésima colocação; P_i = peso da i-ésima colocação.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Aplicando-se os processos de ajuste dos quatro modelos com as duas distribuições simétricas, percebe-se que todas as equações mostraram bons ajustes aos dados do clone 0321 (*E. grandis* x *E. urophylla*). Considerando distribuição normal para os erros e se baseando no VP, obteve-se que a melhor equação para estimativa de volume é a de Schumacher e Hall, seguida de Chapman-Richard (Tabela 3).

Assim como em outros trabalhos a equação de Schumacher e Hall apresenta a melhor eficiência de ajuste e tem sido utilizada na estimativa de volume de árvores, como pode ser visto nos trabalhos de Silva *et al.* (1996); Santos *et al.* (2010); Azevedo *et al.* (2011a). Nesse último trabalho o modelo de Schumacher e Hall foi usado para estimar o volume de *Eucalyptus grandis* no município de Alagoinhas na Bahia, comparando com o modelo de razão volumétrica, modelo de Taper e modelo para estimativa de múltiplos volumes.

A equação de Chapman e Richard foi utilizada para estimativa do crescimento em volume sem casca de *Tectona grandis* na região Amazônica apresentando resultados satisfatórios, no entanto, quando da estimativa de volume total com casca para a mesma espécie a equação de Chapman-Richard foi superada pela equação de Schumacher e Hall, que apresentou melhores estatísticas de ajuste e precisão (TONINI *et al.*, 2009).

Os resultados encontrados neste trabalho são semelhantes aos encontrados por Tomé *et al.* (2007), que testou quatro modelos volumétricos em árvores de *Eucalyptus globulus* em Portugal e constatou que o de Schumacher e Hall deu origem a equação de melhor precisão, considerando que sua base de dados tinha distribuição normal.

Tabela 3. Equações e estatísticas usadas na seleção da melhor equação com distribuição Normal.
Table 3. Equations and statistics used to select the best equation with Normal distribution.

Equações	Estatísticas		
	IAc%	EPAM	VP
Silva-Bailey modificada $\hat{V}_i = \frac{0,000287 * e^{4,423686 * [(1,012634 * CAP_i) + (1,01756 * H_i)]}}{1000}$	95,55	5,12	7
Chapman-Richard modificada $\hat{V}_i = \frac{379,823364 * \{1 - e^{[-0,018439 * CAP_i + (-0,021744 * H_i)]}\}^{3,88958}}{1000}$	95,94	4,88	4
Schumacher e Hall $\hat{V}_i = \frac{0,008655 * (CAP_i^{1,836213}) * (H_i^{0,879276})}{1000}$	96,03	4,79	2
Brody modificada $\hat{V}_i = \frac{-0,400479 + 1,538181 * e^{[(0,074574 * CAP_i) + (0,089045 * H_i)]}}{1000}$	95,81	4,88	5

\hat{V}_i : volume estimado da árvore i em m³; CAP_i: circunferência a altura do peito da árvore i em cm; H_i: altura total da árvore i em m.

Corroborando com resultados apresentados acima, a equação derivada do modelo de Chapman-Richards obteve um bom grau de ajuste e precisão na estimativa do volume de clones de eucaliptos plantados no Polo Gesseiro do Araripe em Pernambuco, quando considerada a distribuição normal para a base de dados (ROCHA, 2012).

Os mesmos modelos foram submetidos aos processos de ajuste considerando a distribuição t-Student, em que todas as equações proporcionaram bons ajustes. Definidas as melhores equações associadas à distribuição t-Student tem-se que a equação de Schumacher e Hall e Chapman-Richard modificada apresentaram os melhores resultados de ajustes aos dos volumes de árvores, as equações com seus valores ponderados apresentadas na tabela 4.

Tabela 4. Equações e estatísticas usadas na seleção da melhor equação com distribuição de t Student.
Table 4. Equations and statistics used to select the best equation with t-Student distribution.

Equações	Estatísticas		
	IAc%	EPAM	VP
Silva-Bailey modificada $\hat{V}_i = \frac{115,284088 * e^{-5,267662 * [(0,944586 * CAP_i) + (0,748268 * H_i)]}}{1000}$	95,60	4,90	8
Chapman-Richard modificada $\hat{V}_i = \frac{402,343607 * \{1 - e^{[-0,017508 * CAP_i + (-0,020104 * H_i)]}\}^{3,742985}}{1000}$	95,84	4,82	4
Schumacher e Hall $\hat{V}_i = \frac{0,009747 * (CAP_i^{1,832837}) * (H_i^{0,83369})}{1000}$	95,95	4,77	2
Brody modificada $\hat{V}_i = \frac{-17,205302 + 8,874809 * e^{[(0,042391 * CAP_i) + (0,047962 * H_i)]}}{1000}$	95,77	4,83	6

\hat{V}_i : volume estimado da árvore i em m³; CAP_i: circunferência a altura do peito da árvore i em cm; H_i: altura total da árvore i em m.

Resultado semelhante foi obtido por Santos *et al.* (2010) quando utilizaram modelos simétricos transformados na estimativa volumétrica em híbrido de *Eucalyptus tereticornis* e observaram que o modelo não linear de Schumacher e Hall combinado com a distribuição t-Student ajustou-se melhor aos dados.

Azevedo *et al.* (2011b), também identificaram a equação de Schumacher e Hall com o melhor ajuste e precisão na estimativa de volume de *Eucalyptus* sendo comparado entre seis equações.

Comparando as oito equações e recalculando o valor ponderado como índice de seleção entre as equações com suposição normal e t-Student de distribuição dos erros da regressão, tem-se um novo ranking das 8 equações (Tabela 5). Quando houve empate do VP, considerou-se a melhor equação a que apresentou o menor EPAM.

Considerando as distribuições utilizadas neste trabalho, a distribuição t-Student proporcionou melhores ajustes aos dados e a melhor equação com esta distribuição é a de Schumacher e Hall, assim como na distribuição normal, superando as demais equações em ambas as distribuições.

Tabela 5. Ranking das equações com distribuição normal e t-Student.
Table 5. Ranking of equations with normal and t-Student distribution.

Equação	Distribuição	VP	Ranking
Schumacher e Hall	t-Student	3	1
Schumacher e Hall	Normal	3	2
Chapman-Richard modificado	t-Student	7	3
Chapman-Richard modificado	Normal	8	4
Brody modificado	t-Student	10	5
Brody modificado	Normal	10	6
Silva e Bailey modificado	t-Student	13	7
Silva e Bailey modificado	Normal	15	8

A distribuição t-Student promoveu melhorias nos ajustes das equações em relação à distribuição Normal, quando comparando as duas distribuições em cada equação. Assim, observou-se que a equação de Schumacher e Hall com distribuição t-Student seguida da mesma equação com distribuição Normal, mostraram os melhores resultados sendo recomendada na estimativa de volume de árvores de *Eucalyptus*.

Diante destes resultados, merece destaque o modelo proposto por Schumacher e Hall, que obteve os melhores escores estatísticos para os dados e, é um dos modelos mais utilizados para estimativa do volume de madeira no setor florestal, por apresentar estimativas precisas e livres de tendências (SILVA, 1977; CLUTTER *et al.*, 1983; GUIMARÃES; LEITE, 1996; LEITE; ANDRADE, 2002; MACHADO *et al.*, 2002).

Corroborando com os resultados deste estudo, Lima Filho *et al.* (2012) usou o modelo de Chapman-Richard supondo as distribuições normal, t-Student e Cauchy e constatou que a distribuição t-Student foi mais apropriada para distribuição dos dados, para clones de eucaliptos plantados no Polo Gesseiro do Araripe.

CONCLUSÕES

- O modelo de Schumacher e Hall com distribuição t-Student proporcionou melhores ajustes aos dados analisados, sendo recomendado para o ajuste de volume de árvores;
- O uso de modelos com distribuição t-Student para os erros promoveu melhores ajustes em todas as equações.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA De PRODUTORES De FLORESTAS PLANTADAS (ABRAF). Anuário estatístico **ABRAF 2013**, ano base 2012/ABRAF. Brasília, 2013, 150 p.

AZEVEDO, T. L.; MELLO, A. A.; FERREIRA, R. A.; SANQUETTA, C. R.; NAKAJIMA, N. Y. Equações hipsométricas e volumétricas para um povoamento de *Eucalyptus* sp. localizado na FLONA do Ibura, Sergipe. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v. 6, p. 105 - 112, 2011(a).

AZEVEDO, G. B.; SOUSA, G. T. O.; BARRETO, P. A. B.; CONCEIÇÃO JUNIOR, V. Estimativas volumétricas em povoamento de eucalipto sob regime de alto fuste e talhadia no sudoeste da Bahia. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 31, p. 309 - 318, 2011(b).

BARBOSA, W. B. **Demanda de biomassa florestal e a problemática ambiental associada à extração vegetal: abordagem no polo de confecções do Agreste pernambucano**. 71 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal Rural do Pernambuco, Recife, 2011.

CLUTTER, J. L.; FORTSON, J. C.; PIENAAR, L. V.; BRISTER, G. H.; BAILEY, R. L. **Timber Management: a quantitative approach**. New York, John Wiley & Sons, 1983. 333 p.

INDUSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES (IBÁ). **Relatório Ibá 2015**. Brasília, 2015. 64 p.

CYSNEIROS, F. J. A.; PAULA, G. A.; GALEA, M. **Modelos Simétricos Aplicados**. 2005. Disponível em: < http://www.de.ufpe.br/~cysneiros/texto_final.pdf >. Acesso em 19/12/2012.

- GUIMARÃES, D. P.; LEITE, H. G. Influência do número de árvores na determinação de equação volumétrica para *Eucalyptus grandis*. **Revista Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 50, p. 37 - 42, 1996.
- LEITE, H. G.; ANDRADE, V. C. L. Um método para condução de inventários florestais sem o uso de equações volumétricas. **Revista Árvore**, Viçosa v. 26, p. 321 - 328, 2002.
- LIMA FILHO, L. M. A.; SILVA, J. A. A.; CORDEIRO, G. M.; FERREIRA, R. L. C. Modelagem do crescimento de clones de *Eucalyptus* usando o modelo de Chapman-Richards com diferentes distribuições simétricas dos erros. **Revista Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 22, p. 777 - 785, 2012.
- MACHADO, S. A.; CONCEIÇÃO, M. B.; FIGUEIREDO, D. J. Modelagem do volume individual para diferentes idades e regimes de desbaste em plantações de *Pinus oocarpa*. **Ciências Exatas e Naturais**, Curitiba, v. 4, p. 185 - 196, 2002.
- MASCARENHAS, J. C.; BELTRÃO, B. A.; SOUZA JUNIOR, L. C.; GALVÃO, M. J. T. G.; PEREIRA, S. N.; MIRANDA, J. L. F. **Diagnóstico do município de São Bento do Una, estado de Pernambuco**. Recife, CPRM/PRODEEM. 2005. 11 p.
- MELLO, J. M.; BATISTA, J. L. F.; RIBEIRO JÚNIOR, P. J.; OLIVEIRA, M. S. Ajuste e seleção de modelos espaciais de semivariograma visando à estimativa volumétrica de *Eucalyptus grandis*. **Revista Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 69, p. 25 - 37, 2005.
- ROCHA, K. D. **Produtividade Volumétrica de Clones de *Eucalyptus* spp. na Região do Polo Gesseiro do Araripe**. 110 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais.) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, PE, 2012.
- SANTOS, C. S. A.; SILVA, J. A. A.; CORDEIRO, G. M.; GOUVEIA, J. F.; SILVA, A. O. Modelos Simétricos Transformados não lineares com aplicação na estimativa volumétrica em Híbrido de *Eucalyptus tereticornis* no Pólo Gesseiro do Araripe – PE. SINAPE – In: SIMPÓSIO NACIONAL DE PROBABILIDADE E ESTATÍSTICA, 19, **Anais...** Águas de São Pedro, 2010. p. 7.
- SCOLFORO, J. R. S. **Biometria florestal**: parte I: modelos de regressão linear e não-linear; parte II: modelos para relação hipsométrica, volume, afilamento e peso de matéria seca. Lavras: UFLA/FAEPE, 2005. 352 p.
- SCHLAEGEL, B. E. Testing, reporting, and using biomass estimation models. In: SOUTHERN FOREST BIOMASS WORKSHOP. 1. Clemson. **Proceedings...** Clemson: Forest Science Institute of Clemson University, 1981. p. 95 - 112.
- SCHNEIDER, P. R.; SCHNEIDER, P. S. P.; SOUZA, C. A. M. **Análise de regressão aplicada à Engenharia Florestal**. 2 ed. Santa Maria. FACOS, 2009. 294 p.
- SCHUMACHER, F. X.; HALL, F. S. Logarithmic expression of timber-tree volume. **Journal of Agricultural Research**, Washington, v. 47, p. 719 - 734, 1933.
- SILVA, J. A. A. **Análise de equações volumétricas para a construção de tabelas de volume comercial para *Eucalyptus* spp., segundo a espécie, região e método de regeneração**. 92 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1977.
- SILVA, G. F.; CAMPOS, J. C. C.; LEITE, H. G. Alternativas para estimar o volume comercial em árvores de eucalipto. **Revista Árvore**. Viçosa, v. 20, p. 467 - 481, 1996.
- TOMÉ M.; TOMÉ, J.; RIBEIRO, F.; FAIAS, S. Equação de volume total, volume percentual e de perfil do tronco para *Eucalyptus globulus* Labill. em Portugal. **Silva Lusitana**, Lisboa, v. 15 p. 25 - 40. 2007.
- TONINI, H.; COSTA, M. C. G.; SCHWENGBER, L. A. M. Crescimento da teca (*Tectona grandis*) em reflorestamento na Amazônia Setentrional. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, n. 59, p. 5 - 14, 2009.
- VITAL, M. H. F. Impacto Ambiental de Florestas de Eucalipto. **Revista do BNDES**, Rio de Janeiro, v. 14, p. 235 - 276, 2007.

