

SELEÇÃO DE EQUAÇÕES PARA A OBTENÇÃO SIMULTÂNEA DE MÚLTIPLOS VOLUMES EM
ÁRVORES DE *Acacia mangium*

SELECTION OF EQUATIONS FOR OBTAINING SIMULTANEOUS MULTIPLE VOLUMES IN TREES
OF *Acacia mangium*

Dalton Henrique Angelo¹ Helio Tonini²

RESUMO

Este trabalho foi realizado com o objetivo de selecionar e validar uma equação de volume para estimar os volumes total e comercial com e sem casca para árvores de *Acacia mangium*, localizadas em plantios sob diferentes espaçamentos, idades e sítios em área de savana no Estado de Roraima. Para estimar o volume em função das variáveis DAP (diâmetro tomado a 1,30 m do solo) e h (altura total), foram abatidas 134 árvores, selecionadas em função da classe diamétrica através da medição de 152 unidades amostrais. Foram testados 8 modelos volumétricos, com a inclusão de variáveis dummy e a validação estatística e preditiva, indicou que o de melhor desempenho foi o de Schumacher e Hall.

Palavras-chave: Amazônia, plantios florestais, *Racosperma mangium*, variável dummy

ABSTRACT

This work was carried out with the objective of selecting an total volume and merchantable volume with and without bark equation for trees of *Acacia mangium* under different spacings, ages and sites in savanna area in the State of Roraima. To estimate the volume in function of the DBH (diameter at breast height) and h (total height), were sampled 134 trees, selected in function of the diametric class through the 152 sample units measurements. Eight volume models with dummy variables inclusion were tested. The statistical and prediction validation indicated that the best model was of the Schumacher-Hall.

Key words: Amazon, forest stands, *Racosperma mangium*, dummy variables

INTRODUÇÃO

Uma das espécies florestais com grande potencial para reflorestamentos nos trópicos é a *Acacia mangium*, que tem sido plantada a partir do final da década de 60 em vários países tropicais. Segundo o National Research Council (1983), plantios experimentais com *Acacia mangium* foram estabelecidos em Papua Nova Guiné em 1969, Nepal, em 1976, Filipinas em 1977, Bangladesh em 1978, Havaí em 1979 e Camarões e Costa Rica em 1980 e 1981, respectivamente.

No Brasil, as primeiras introduções feitas pela Embrapa/CNPQ ocorreram em 1979, na forma de pequenos talhões experimentais, posteriormente, em 1985, foram implantados testes de procedências em Belterra-PA, Belo Oriente e Coronel Fabriciano -MG) (Ferreira *et al.*, 1990).

Em Roraima, a espécie foi introduzida no final da década de 90, pela empresa Ouro Verde Agrosilvopastoril LTDA, em uma área de aproximadamente 1.000 ha, com o objetivo de avaliar seu crescimento nas condições edafoclimáticas da savana. Em função dos resultados animadores, a área plantada cresceu rapidamente (Tonini e Halfeld Vieira, 2006). Os plantios iniciaram-se a partir de 1999, visando suprir a demanda de matéria-prima para indústria de produtos serrados e celulose. A área atualmente plantada situa-se em torno dos 27.000 ha, sendo a espécie florestal mais plantada no Estado.

Por se tratar de uma espécie de utilização relativamente recente em grandes plantações, ainda existem poucas informações e experiências descritas na literatura, sendo raros os estudos que envolvam a seleção de equações de volume para as diferentes condições edafoclimáticas brasileiras.

No Brasil, diversos estudos têm procurado selecionar equações de volume para plantios florestais, principalmente para os gêneros *Pinus* e *Eucalyptus*. Os estudos de Veiga *et al.* (2000) e Tonini e Schwengber (2006), são os únicos disponíveis na literatura nacional, envolvendo a seleção e o ajuste de modelos volumétricos para *Acacia mangium*. No entanto, ambos os estudos se restringiram a apenas uma determinada idade, espaçamento e sítio.

A estimação do volume de uma árvore é um problema relevante em dendrometria e inventário florestal e constitui-se em um dos primeiros passos na obtenção do volume de um plantio florestal (Avery e Burkhart, 1994).

¹ Engenheiro Florestal. Ouro -Verde Agrosilvopastoril LTDA. Rua Botão de Ouro, n. Pricumã, Boa Vista, CEP:69301-970. Dalton@ewv.com.br

² Engenheiro Florestal, Dr. Embrapa Roraima. Br 174, km 08, Distrito Industrial, Boa Vista, RR, Cep: 69301-970. helio@cpafrr.embrapa.br

O conhecimento do volume é de grande importância para o produtor florestal, pois permite avaliar com precisão, o crescimento e o rendimento esperado de sua atividade, a otimização do manejo florestal, o planejamento da colheita, a decisão sobre compra e venda de terras, entre outros (Leite e Andrade, 2002.; Freire *et al.*, 2005).

Os modelos volumétricos são utilizados para estimar o volume de árvores individuais ou de um povoamento. Para ajustar tais modelos, deve-se selecionar árvores que representem adequadamente as variações existentes no povoamento como sítios, espaçamentos iniciais e regimes silviculturais. Posteriormente, elegem-se os modelos que serão testados com o objetivo de selecionar o de melhor desempenho.

Segundo (Campos *et al.*, 2001) uma boa função de volume deve ser simples, precisa, flexível e compatível em relação aos volumes estimados para diferentes partes de uma árvore.

Normalmente, as estimativas do volume total e comercial com e sem casca, são obtidas por modelos ajustados de forma independente. No entanto, este tipo de ajuste não garante que em todos os casos, haverá compatibilidade entre os volumes totais e comerciais com e sem casca, ou seja, em determinada situação, por falha nas estimativas dos modelos, o volume comercial estimado pode ser superior ao volume total (Figueiredo, 2005).

Nos estudos de equações de volume, autores como Leite *et al.*, (2005) com base no modelo de Schumacher e Hall, desenvolveram um modelo capaz de estimar de forma simultânea, o volume total e os volumes comerciais em diferentes diâmetros mínimos.

Outra abordagem para esta questão foi proposta por Figueiredo (2005) ao realizar o ajuste de equações para a obtenção simultânea de múltiplos volumes para plantios de *Tectona grandis*, utilizando variáveis indicadoras ou variáveis “dummy”.

Este trabalho foi realizado com o objetivo de selecionar uma equação de volume para estimar de forma simultânea, o volume total e comercial com e sem casca para árvores de *Acacia mangium* com o emprego de variáveis dummy.

MATERIAL E MÉTODO

Características da área de estudo e seleção das árvores amostras

Os dados para a realização deste estudo se originaram de plantios de acácia da empresa Ouro Verde Agrossilvopastoril LTDA, localizados em área de Savana no nordeste do Estado de Roraima. Nesta região, o clima é do Tipo Aw (Köpen), de características tipicamente monçônico, com altas temperaturas médias durante o ano (variação entre 26-29 °C), seis meses de precipitações torrenciais (1453 mm de abril a setembro) e seis meses de fracas chuvas (298 mm de outubro a março). A precipitação média anual varia entre 1100-1400 mm/ano (Brasil, 1975).

Para se obter uma maior representatividade amostral, as árvores foram selecionadas em função do sítio, idade, espaçamentos e classe diamétrica, utilizando-se os dados de 152 parcelas permanentes e temporárias e as curvas de índice de sítio, desenvolvidas por (Ângelo, 2005), que construiu um sistema com 3 curvas de índices de sítio monomórficas (áreas boas, médias e ruins) empregando o modelo de Chapman-Richards e uma idade índice de 5 anos.

As unidades amostrais utilizadas possuíam a forma circular, com raio de 11,28 m (400 m²) e foram instaladas de forma sistemática sobre toda a área de plantio da empresa em idades que variaram de 1 a 6 anos. No total foram amostradas 134 árvores (Tabela 1), que foram abatidas próximas as unidades amostrais, selecionadas em função da classe diamétrica e cubadas conforme Smalian nas posições 0,1 m; 0,7m; 1m; 1,30 m e a partir deste ponto de 1m em 1m até a altura total da árvore.

TABELA 1: Distribuição de frequência das árvores-amostras utilizadas no ajuste dos modelos volumétricos

Classe de diâmetro	Classe de altura									Total
	2	4	6	8	10	12	14	16	18	
2	2	4(1)								6(1)
4		5 (2)	4(2)							9(4)
6		1	6 (2)	5	3					15(2)
8			3 (2)	5 (3)	3	1				12(5)
10			1	1(1)	4(1)	6(1)	7(2)			19(5)
12			(1)	2	3	2 (2)	1	3(4)	1	12(7)
14					1	4(2)	3	3	2	13(2)
16					(1)	1(1)	2(3)	3(1)	1(1)	7(7)
18					1	1	1	2	1	6
20									1	1
Total	2	10(4)	14(7)	13(4)	15(2)	15(6)	14(5)	11(5)	6(1)	100(34)

* Números entre parênteses referem-se às árvores selecionadas para a validação preditiva dos modelos volumétricos

A medição dos diâmetros foi feita com uma fita diamétrica e as alturas com uma trena. O diâmetro sem casca foi obtido após a remoção total da casca nas posições de medição e o volume comercial foi calculado considerando-se um diâmetro limite de 10 cm.

Seleção e validação dos modelos volumétricos

Para estimar o volume total com casca em função das variáveis DAP (diâmetro tomado a 1,30 m do solo) e h (altura total), foram testados 8 modelos volumétricos aritméticos e logarítmicos, selecionados na literatura florestal com a inclusão de variáveis dummy (Tabela 2), conforme metodologia adotada por Figueiredo (2005).

TABELA 2: Modelos volumétricos testados com a inclusão de variáveis dummy

Número	Equação	Autores
01	$v = b_1 D_1 + b_2 D_2 + b_3 D_3 + b_4 D_4 + b_5 d^2 h D_1 + b_6 d^2 h D_2 + b_7 d^2 h D_3 + b_8 d^2 h D_4$	Spurr
02	$v = b_1 D_1 + b_2 D_2 + b_3 D_3 + b_4 D_4 + b_5 d h D_1 + b_6 d h D_2 + b_7 d h D_3 + b_8 d h D_4$	
03	$\ln v = b_1 D_1 + b_2 D_2 + b_3 D_3 + b_4 D_4 + b_5 \ln(d^2 h) D_1 + b_6 \ln(d^2 h) D_2 + b_7 \ln(d^2 h) D_3 + b_8 \ln(d^2 h) D_4$	Spurr (logaritimizada)
04	$\ln v = b_1 D_1 + b_2 D_2 + b_3 D_3 + b_4 D_4 + b_5 \ln(1/d^2 h) D_1 + b_6 \ln(1/d^2 h) D_2 + b_7 \ln(1/d^2 h) D_3 + b_8 \ln(1/d^2 h) D_4$	
05	$\ln v = b_1 D_1 + b_2 D_2 + b_3 D_3 + b_4 D_4 + b_5 \ln(d) D_1 + b_6 \ln(d) D_2 + b_7 \ln(d) D_3 + b_8 \ln(d) D_4 + b_9 \ln(h) D_1 + b_{10} \ln(h) D_2 + b_{11} \ln(h) D_3 + b_{12} \ln(h) D_4$	Schumacher-Hall
06	$v = b_1 D_1 + b_2 D_2 + b_3 D_3 + b_4 D_4 + b_5 (d h) D_1 + b_6 (d h) D_2 + b_7 (d h) D_3 + b_8 (d h) D_4 + b_9 (1/h) D_1 + b_{10} (1/h) D_2 + b_{11} (1/h) D_3 + b_{12} (1/h) D_4$	
07	$v = b_1 D_1 + b_2 D_2 + b_3 D_3 + b_4 D_4 + b_5 (d h) D_1 + b_6 (d h) D_2 + b_7 (d h) D_3 + b_8 (d h) D_4 + b_9 (1/h) D_1 + b_{10} (1/h) D_2 + b_{11} (1/h) D_3 + b_{12} (1/h) D_4 + b_{13} d h^2 D_1 + b_{14} d h^2 D_2 + b_{15} d h^2 D_3 + b_{16} d h^2 D_4$	
08	$v = b_1 D_1 + b_2 D_2 + b_3 D_3 + b_4 D_4 + b_5 (d) D_1 + b_6 (d) D_2 + b_7 (d) D_3 + b_8 (d) D_4 + b_9 (d^2 h) D_1 + b_{10} (d^2 h) D_2 + b_{11} (d^2 h) D_3 + b_{12} (d^2 h) D_4 + b_{13} (h) D_1 + b_{14} (h) D_2 + b_{15} (h) D_3 + b_{16} (h) D_4$	Stoate

Onde: v = volume individual (m³); h = altura total (m); d = diâmetro tomado a 1,30 m do solo; b_j = coeficientes

A inclusão da variável dummy nos modelos volumétricos foi feita em função dos grupos de interesse que foram: volume total com casca (grupo 1), volume total sem casca (grupo 2), volume comercial com casca (grupo 3) e volume comercial sem casca (grupo 4). Assim, foram incluídas 4 variáveis dummy (D1, D2, D3 e D4) nos modelos que assumiram o valor 1 quando a observação pertencia ao grupo e 0 (zero) caso contrário.

Para a validação estatística dos modelos volumétricos, foram analisados o coeficiente de determinação ajustado, erro padrão de estimativa, valor e significância de t para as estimativas dos parâmetros dos modelos e a distribuição gráfica dos resíduos sobre os valores estimados. Para comparar equações logarítmicas com aritméticas, o erro padrão de estimativa foi recalculado para unidades aritméticas, sendo os valores estimados multiplicados pelo Índice de Meyer = $e^{0,5S^2_{xy}}$ para corrigir a discrepância logarítmica.

A validação preditiva foi realizada tomando-se uma amostra de 34 árvores selecionadas aleatoriamente em cada classe de idade e sitio. Estas árvores foram retiradas da base de dados de forma que todos os sítios e idades estivessem representados. O modelo de melhor ajuste foi validado com o emprego do teste do Qui-Quadrado (χ^2) para um nível de significância de 95% e medidas de exatidão e desvio, como a raiz quadrada do erro médio quadrático (REMC), erro médio absoluto (EMA), desvio padrão dos resíduos (DSR) e a diferença agregada (DA), obtidos, conforme Prodan *et al.*, (1997), da seguinte forma:

$$REMC = \sqrt{\frac{\sum (O_i - E_i)^2}{n}} \quad EMA = \frac{\sum |O_i - E_i|}{n} \quad DSR = \frac{\sum (R_i - R_{med})^2}{n}$$

$$DA = \frac{\sum (O_i - E_i)}{n}$$

Onde: O_i = valor observado; E_i = valor estimado; n = número de observações, R = resíduo.

De forma auxiliar, empregou-se a análise da distribuição dos resíduos entre os valores estimados pela equação selecionada e os valores reais, com o objetivo de verificar se as estimativas obtidas apresentavam tendências.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise conjunta dos indicadores de ajuste para os modelos testados (Tabela 3), mostrou que os maiores valores para R^2_{aj} (0,993) foram obtidos pelos modelos logarítmico de Spurr (3) e o de Schumacher e Hall (5). Os menores valores para syx foram obtidos pelos modelos 1 e 8, que no entanto, juntamente com o 7 apresentaram problemas de significância e, conseqüente, instabilidade dos parâmetros. Este fato ocorre, provavelmente, devido a multicolinearidade, e pode levar o modelo a produzir estimativas absurdas em extrapolações (Couto e Bastos, 1987).

TABELA 3: Ajuste para os modelos testados para estimar múltiplos volumes com variáveis dummy.

Ajuste	Modelo							
	1	2	3	4	5	6	7	8
R^2_{aj}	0,967	0,947	0,993	0,996	0,993	0,957	0,957	0,986
Syx	0,011	0,015	0,242	0,245	0,242	0,014	0,013	0,0116
b_1	0,002685*	-0,01635	-8,9825	-9,0248	-8,9422	-0,0369	-0,04501	-0,00097*
b_2	0,00066*	-0,01515	-9,5750	-9,5193	-9,6311	-0,0337	-0,03456	-0,00039*
b_3	-0,01301	-0,05556	-13,588	-13,3192	-13,4053	-0,1494	-0,1609	0,010262*
b_4	-0,01410	-0,05168	-14,7457	-14,3738	-14,7057	-0,1144	-0,1144	0,14877*
b_5	0,000039	0,000669	0,8475	-0,8537	1,7694	0,00075	0,00094	0,000058*
b_6	0,000033	0,000557	0,8961	-0,6681	1,6886	0,00063	0,00065	0,000055*
b_7	0,000027	0,000623	1,3559	-0,9907	2,9167	0,00079	0,00061	-0,00022*
b_8	0,000023	0,000537	1,4713	-1,0671	2,9875	0,00065	0,00065	-0,00028*
b_9					0,7588	0,08766	0,10439	0,00034*
b_{10}					1,0199	0,079	0,08077	0,00035
b_{11}					1,0796	0,8068	1,01403	0,000040
b_{12}					1,4109	0,5389	0,53898	0,000041
b_{13}							-0,00001	0,000374*
b_{14}							-0,00001*	0,000329*
b_{15}							0,00001*	-0,00133*
b_{16}								-0,00152*

Onde: R^2_{aj} = Coeficiente de determinação ajustado; Syx% = erro padrão de estimativa em porcentagem; F = valor calculado para o F de Snedcor. * não significativos a 1% pelo teste t.

Dentre os modelos que não apresentaram problemas de instabilidade dos parâmetros, o modelo logarítmico de Spurr e o de Schumacher e Hall foram os que apresentaram as melhores estatísticas de ajuste. Estes modelos, pela precisão e facilidade de utilização estão entre os mais utilizados na ciência florestal, sendo selecionados por Paula *et al.* (1983), Couto e Bastos (1987), Mctaque *et al.* (1989), Couto e Vetorazzo (1999), Soares e Campos (2000) e Batista *et al.* (2004) para a estimativa do volume para diferentes espécies em diversas regiões do Brasil.

Pela análise gráfica da distribuição dos resíduos, observa-se que na comparação entre os dois modelos, o de Schumacher e Hall (5) apresentou estimativas mais consistentes (Figura 1), com pouca tendência, sendo portanto, o modelo selecionado.

A validação do modelo selecionado a partir do teste do qui-quadrado, indicou não haver significância entre os valores reais e os estimados para um nível de confiança de 95% ($\chi^2 = 0,235$). Os índices de desempenho que permitiram inferir sobre a validação preditiva do modelo frente a um novo conjunto de dados apresentaram valores aceitáveis (REMC=0,01; EMA=0,007; DSR=0,001) indicando boa precisão nas estimativas. A média dos resíduos (DA = 0,002) foi muito próxima a zero, indicando que as estimativas foram obtidas com poucos desvios. A análise gráfica dos resíduos entre os valores reais e os estimados pelo modelo (Figura 2) mostrou que as estimativas apresentaram leve tendência a subestimar o volume das maiores árvores.

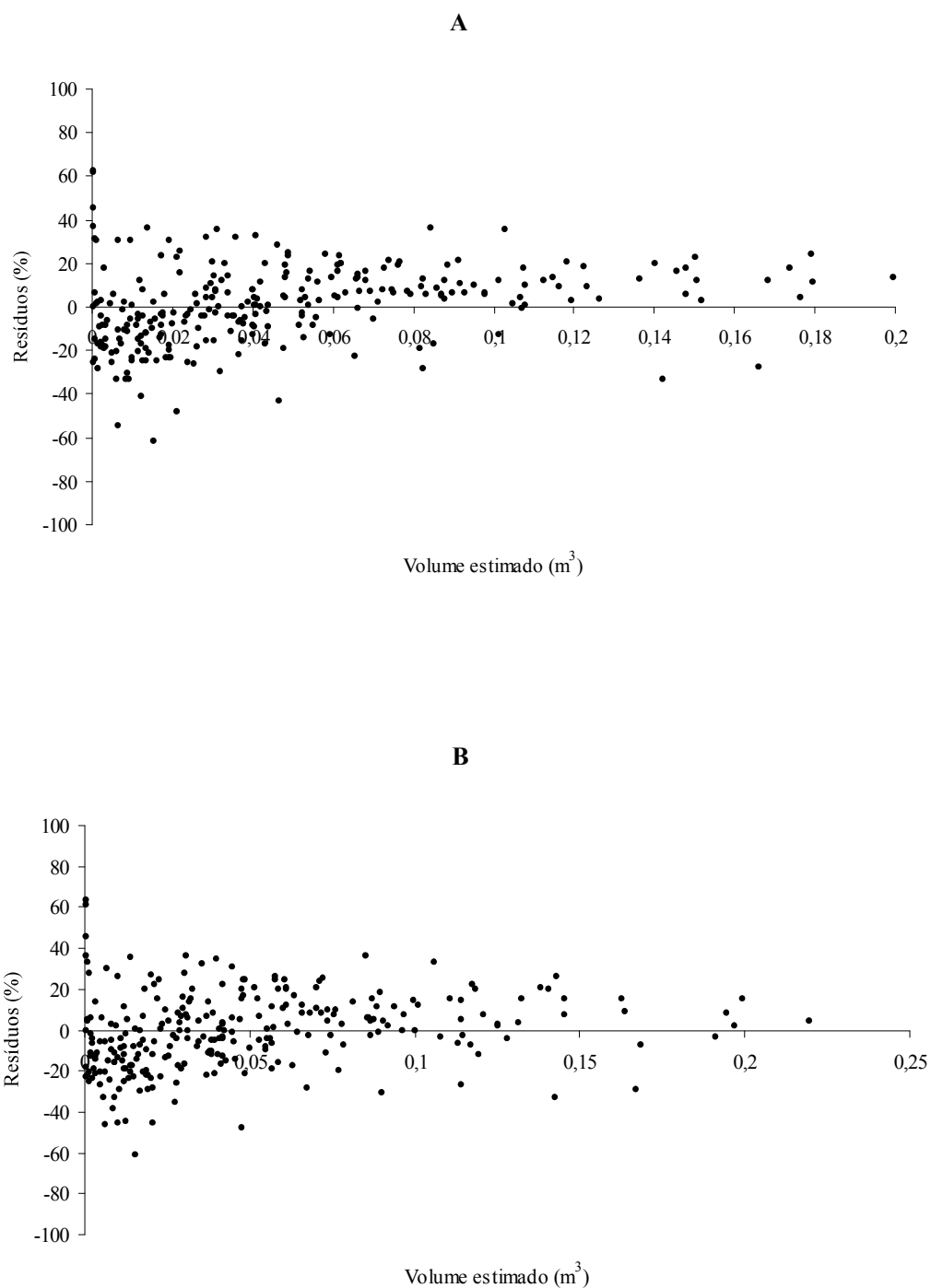


FIGURA 1: Distribuição dos resíduos para os modelos de Spurr (A) e o de Schumacher e Hall (B)

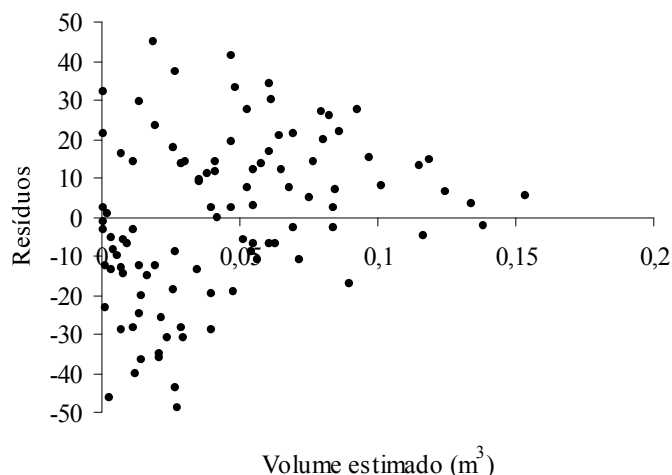


FIGURA 2: Distribuição dos resíduos entre os valores reais e os estimados pelo modelo selecionado.

CONCLUSÕES

Após a realização deste trabalho pode-se concluir que a inclusão de variáveis indicadoras “dummy” propiciou estimativas precisas para a obtenção simultânea de múltiplos volume de árvores de *Acacia mangium*. Nas condições estudadas o modelo de Schumacher e Hall foi o que apresentou o melhor desempenho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ÂNGELO.D.H. **Curvas de índice de sítio e determinação de modelos volumétricos para *Acacia mangium* Willd. no Estado de Roraima**. Monografia de especialização, Universidade Federal de Roraima, Boa Vista, Roraima, 2007, 54 p.
- AVERY, T.E.; BURKHART, H.E. **Forest measurements**. Mc Graw-Hill:New York, USA, 1994, 400 p.
- BATISTA, J.L.F.; MARQUESINI, M.; VIANA, V.M. Equações de volume para árvores de caxeta (*Tabebuia cassinoides*) no Estado de São Paulo e sul do estado do Rio de Janeiro. **Scientia Forestalis**, v, 65, p.162-175, DATA
- BRASIL. Departamento Nacional da Produção Mineral. Projeto RADAMBRASIL. Folha NA.20 Boa Vista E parte das Folhas NA.21 Tumucumaque, NB.20 Roraima e NB.21; Geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra. DNP/Projeto RADAMBRASIL, Rio de Janeiro, 1975, 426 p.
- CAMPOS, J.C.C.; LEITE, H.G.; SILVA, G.F.; SOARES, C.P.B.; CARNEIRO, J.A. Estimação de volumes do tronco e da copa de árvores de povoamentos mistos. **Revista árvore**, v. 25, n.4, p. 471-480, 2001.
- 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**, v.37, P. 33-34, 1987
- COUTO, H.T.Z.; VETORAZZO, S.C. Seleção de equações de volume e peso seco comercial para *Pinus taeda*. **Cerne**, v.5, n. 1, p. 69-80, 1999
- DRAPER, N., SMITH, H. **Applied regression analysis**. New York : John Wiley & Sons, 1966, 709 p.
- FERREIRA, C.A.; SILVA, F.P.; SILVA, M.D.D.; YARED, J.A.G.; CAPITANI, L.R.; SUITER FILHO, W. *Acacia mangium*-Uma nova opção para reflorestamento. In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 6. Campos do Jordão. **Anais...** Campos do Jordão: SBS, 1990, p.564-568.
- FREIRE, J.; TOMÉ, M.; TAVARES, M. Equações de volume local para *Pinus pinaster* Aiton na Serra da Lousã. **Silva Lusitana**, v.11, n. 2, p.207-215, 2003.
- FIQUEIREDO E.O. **Avaliação de povoamentos de teca (*Tectona grandis* L.F), na microrregião do Baixo Rio Acre**. Lavras:UFLA, 2005, 301 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal)- Universidade Federal de Lavras, 2005.

- LEITE, H.G.; GUIMARÃES, D.P.; CAMPOS, J.C.C. Descrição e emprego de um modelo para estimar múltiplos volumes de árvores. **Revista Árvore**, V.19, n.1, p.65-79, 1995.
- LEITE, H.G.; ANDRADE, V.C.L. Um método para a condução de inventários florestais sem o uso de equações volumétricas. **Revista árvore**, V. 26, n.3, p.321-328, 2002
- McTAQUE, J.P.; BATISTA, J.L.F.; STEINER, L.H. Equações de volume total, volume comercial e forma do tronco para plantações de *Eucalyptus* nos Estados de São Paulo e Rio de Janeiro. **IPEF**, v.41/42, p. 56-63, 1989.
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL. **Mangium and Other fast-growing Acacias for the Humid tropics**. Washington : National academy Press, 1983, 57 p.
- PAULA NETO, F.; SOUZA, A.L.; QUINTAES, P.C.G.; SOARES, V.P. Análise de equações volumétricas para *Eucalyptus* spp, Segundo o método de regeneração na região de José de Melo-MG. **Revista Árvore**, V.7, n.1, P.56-70. 1983
- PRODAN, M.; PETERS, R.; COX, F.; REAL, P. **Mensuraforestal**. Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) e Instituto Interamericano de Cooperación para la agricultura (IICA), San José, Costa Rica. 1997, 560 p.
- SOARES, C.P.B.; CAMPOS, J.C.C. Conversão do volume total de povoamentos de eucalipto em volumes comerciais. **Revista Árvore**, v.24, n.4), p.477- 481, 2000.
- TONINI, H.; HALFELD-VIEIRA, B.A. Desrama, crescimento e predisposição a podridão-do-lenho em *Acacia mangium*. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.41, n.7, p.1077-1082, 2006.
- TONINI, H.; SCHWENGBER L.A.M. Equações hipsométricas e volumétricas para *Acacia mangium* Willd em Roraima. **Ambiência**, v.2, n.2, p.155-165, 2006
- VEIGA, R.A.A.; CARVALHO, C.M.; BRASIL, M.A.M. Determinação de equações de volume para árvores de *Acacia mangium* Willd. **Cerne**, v. 6, n.1, p. 103-107, 2000