

TESTE DE IDENTIDADE DE MODELOS VOLUMÉTRICOS PARA POVOAMENTOS DE *Eucalyptus sp.* EM SETE MUNICÍPIOS DE MINAS GERAIS

Ronie Marques Martins¹, Marcos Vinicius Santana Leite², Christian Dias Cabacinha³,
Adriana Leandra de Assis³

1. Engenheiro Florestal pela Universidade Federal de Minas Gerais (roniemarques@yahoo.com.br), Montes Claros, Minas Gerais, Brasil
2. Engenheiro Florestal, Mestrando em Ciências Florestais pela Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Vitória da Conquista, Bahia, Brasil
3. Professor Doutor do Instituto de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Minas Gerais, Montes Claros, Minas Gerais, Brasil

Recebido em: 31/03/2015 – Aprovado em: 15/05/2015 – Publicado em: 01/06/2015

RESUMO

A estimativa do estoque de madeira presente em uma área, normalmente é obtida utilizando modelos de regressão ajustados a partir de dados de cubagem rigorosa, que por ser uma prática onerosa, em muitos casos, é substituída por métodos de menor precisão. Com isso, o objetivo deste trabalho foi realizar cubagem rigorosa e ajustar modelos para estimar o volume de madeira em povoamentos de *Eucalyptus sp.* em sete municípios de Minas Gerais e avaliar a possibilidade de agrupamento dos dados para ajuste de um modelo comum, por meio de teste de identidade de modelos utilizando variáveis *Dummy*. O estudo foi realizado em com idade entre 5 e 6,5 anos. Foram cubados indivíduos e ajustados modelos volumétricos de simples e dupla entrada. A escolha do melhor modelo se deu por meio de análise gráfica de resíduos, erro padrão residual em porcentagem (Syx %) e coeficiente de determinação ajustado em porcentagem (R^2 %). Foi testada a identidade destes modelos através de análise de covariância. O modelo de Schumacher e Hall Logaritmizado foi o que apresentou melhores resultados. É possível a utilização das equações geradas neste estudo para realização de inventários futuros em povoamentos de *Eucalyptus sp.* eliminando assim a necessidade da realização da cubagem rigorosa, reduzindo custos. O teste de identidade de modelos indicou que é possível utilizar uma única equação volumétrica ajustada, com precisão, para os municípios de Rio Pardo de Minas, São João da Ponte, Francisco Sá e Turmalina.

PALAVRAS-CHAVE: análise de covariância, cubagem rigorosa, estimativa de volume, inventário florestal, variáveis *dummy*.

IDENTITY TEST VOLUMETRICS MODELS FOR *Eucalyptus sp.* STANDS LOCATED IN SEVEN MUNICIPALITIES OF MINAS GERAIS STATE

ABSTRACT

Standing wood stocks estimates are usually obtained through regression models fitted from tree cubicage data, which is an expensive method, and frequently is replaced by cheaper and less accurate options. This study aimed at estimating wood volume for *Eucalyptus sp.* stands located in seven different municipalities of Minas Gerais State, and evaluating the possibility of grouping the whole database and fit

one general model for all municipalities or some of them. The stands ages were ranging from 5 to 6.5 years old. Volumetric models of simple and double entry were fitted, and selected according to percentage volume residual distribution, standard estimate error (Syx) and coefficient of determination (R^2). The possibility of grouping databases from different municipalities were tested through models identity test with *dummy* variables, through covariance analysis. Schumacher and Hall logarithmic model provided the best results, and its possible to use it in others forest inventories for *Eucalyptus* sp, avoiding new cubicage efforts and reducing costs. The identity test indicated the possibility of fitting only one equation to four of the seven municipalities studied: Rio Pardo de Minas, São João da Ponte, Francisco Sá and Turmalina.

KEYWORDS: covariance analysis, tree cubicage, volume estimate, forest inventory, *dummy* variables

INTRODUÇÃO

A Silvicultura representa uma importante atividade econômica para o Brasil, representando 76,1% dos 18,7 bilhões de reais da produção primária florestal no ano de 2013 (IBGE, 2014). No país, a área de florestas plantadas ultrapassa os 6,66 milhões de hectares, onde o gênero *Eucalyptus* representa a maioria dos plantios comerciais. O Estado de Minas Gerais possui maior concentração de plantios florestais entre os estados brasileiros, ultrapassando os 1,5 milhões de hectares (ABRAF, 2013).

A estimativa de volume de madeira em povoamentos florestais de eucalipto é de fundamental importância e imprescindível para o planejamento e monitoramento dos plantios comerciais. Dessa forma, utilizam-se equações em qualquer procedimento de estimativa do volume da árvore (LEITE et al., 2011).

CABACINHA (2003) destaca que para obtenção dessas equações é necessária a aplicação de algum método de cubagem rigorosa, que é realizada em árvores previamente selecionadas. Em geral esta opção exige o abate das árvores amostradas e a medição de vários diâmetros ao longo do fuste, atividade que é trabalhosa e onerosa para as rotinas de inventário dos empreendimentos florestais.

De acordo com CAMPOS & LEITE (2009), o ajuste de equações normalmente se restringe a espécie, espaçamento, idade, regime de corte e qualidade do local, sendo ideal a utilização das mesmas especificamente para um conjunto de dados dentro das mesmas condições. REGAZZI & SILVA (2010) destacam que quando se realizam ajustes de várias equações para determinar uma variável que se encontra em grupos distintos, torna-se interessante avaliar entre estas funções se os parâmetros estimados são estatisticamente iguais no intuito de utilizar uma única equação.

A introdução de variáveis qualitativas (*Dummy*) torna o modelo de regressão uma ferramenta extremamente flexível capaz de lidar diversos problemas, principalmente, em estudos empíricos (MISSIO & JACOBI, 2007). A possibilidade de utilizar uma equação geral que agrupe parâmetros ajustados para grupos distintos de dados, pode ser avaliada utilizando o teste de identidade de modelos por meio de análise de covariância empregando variáveis *Dummy* (SCOLFORO, 1993). A maior importância de se empregar essa metodologia para a obtenção de diversos volumes é a compatibilidade entre os resultados consolidados nas variáveis dependentes, que se traduz em não haver riscos de superposição dos resultados (SCOLFORO, 2005).

O teste de identidade de modelos, descrito por GRAYBILL (1976) e citado por CABACINHA (2003) consiste em realizar uma análise estatística utilizando o teste F no intuito de constatar se há diferença significativa entre as regressões ajustadas para cada região isoladamente (modelo completo) e a regressão ajustada para todas as regiões em conjunto (modelo hipótese).

Sabe-se que situações em que se deseja saber o volume de diferentes povoamentos o ajuste de várias equações aumenta significativamente o esforço de trabalho já que a cubagem rigorosa consiste em uma prática onerosa. Justificativa para muitas situações em que esta é substituída por metodologias de menor precisão, como é o caso da utilização de equações ou fatores de forma oriundos de dados que não condizem com a real característica do povoamento de interesse.

Com isso, o objetivo deste trabalho foi ajustar modelos para estimar o volume de madeira em povoamentos de *Eucalyptus* sp. em sete municípios do Estado de Minas Gerais, além de suprir a necessidade de realização de cubagem rigorosa nestas regiões e avaliar a possibilidade de agrupamento dos dados para ajuste de um modelo comum por meio de teste de identidade de modelos utilizando variáveis *Dummy*.

MATERIAL E MÉTODOS

Caracterização da área de estudo

Este estudo foi realizado em povoamentos de *Eucalyptus* sp., com idade variando entre 5 e 6,5 anos plantados em diferentes espaçamentos que estão localizados em sete municípios de Minas Gerais (Figura 1). Os fatores climáticos referentes aos municípios, que tem influência no crescimento dos povoamentos florestais, podem ser observados na Tabela 1. Estas informações são do Instituto Nacional de Meteorologia - INMET. Como a maioria dos municípios em que foram realizadas as cubagens rigorosas não dispunham de estações meteorológicas, para os mesmos foram associadas as informações da estação mais próxima.

TABELA 1. Dados climáticos dos municípios no período de 2006 a 2011 e informações silviculturais dos povoamentos.

Municípios	Estação	Precip. média (mm)	Altitude (m)	Espaçamento (m)	Idade (anos)
Águas Vermelhas	Pedra azul	932,97	648,91	3 x 2	6
Rio Pardo de Minas	Salinas	806,1	471,32	3 x 2	5
São João da Ponte	Montes claros	1052,2	652	3,5 x 2,5	5
Francisco Sá	Montes claros	1052,2	652	3 x 2,5	5
Turmalina	Carbonita	985,14	736,38	3 x 3	5
Buritizinho	Pirapora	1048,27	505,24	2,5 x 3	6
Curvelo	Curvelo	1223,15	672	3 x 2	6,5

Fonte: Instituto Nacional de Meteorologia – INMET, (2014).

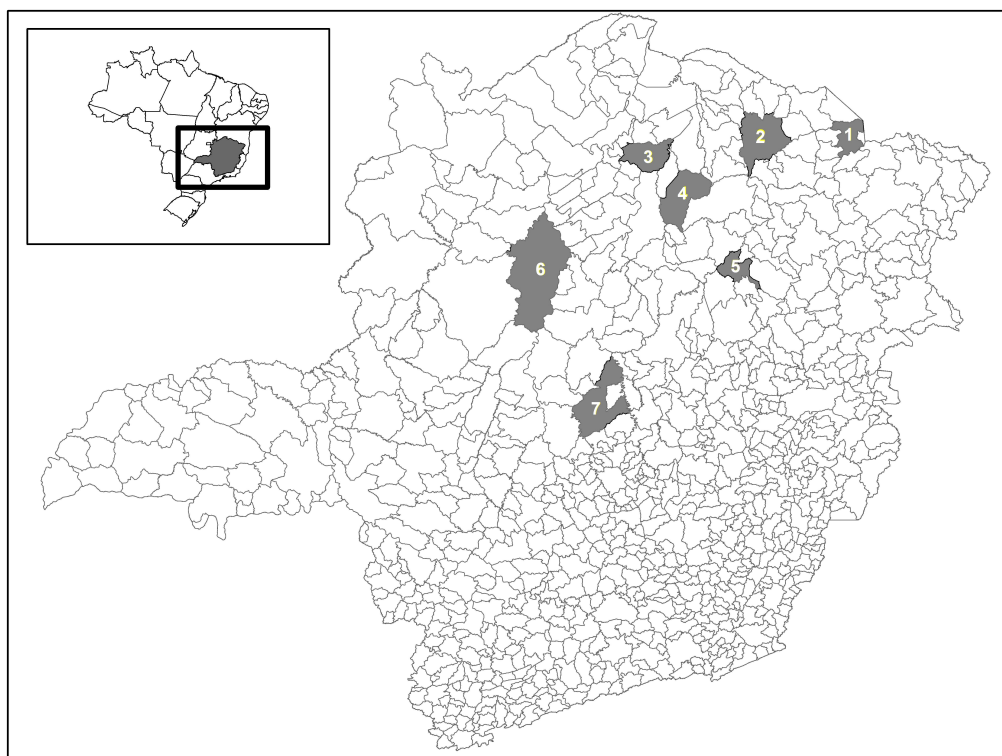


FIGURA 1. Distribuição geográfica dos municípios onde foram realizadas as cubagens rigorosas.

Onde: 1 - Águas Vermelhas; 2 - Rio Pardo de Minas; 3 - São João da ponte; 4 - Francisco Sá; 5 - Turmalina; 6 - Buritizeiro e 7 - Curvelo.

Volumetria

O procedimento de cubagem rigorosa utilizado foi o proposto por Smalian, onde foram cubados em média 43 indivíduos por propriedade, tendo as seções compreendidas nas posições 0,1 m, 0,3 m, 0,5 m, 0,7 m, 0,9 m, 1,1 m, 1,3 m, 2 m do fuste e a partir de então, a cada metro até atingir o diâmetro mínimo de 4 centímetros. O critério utilizado para escolha das árvores cubadas foi que os seus diâmetros estivessem distribuídos dentro da amplitude diamétrica do povoamento, sendo tais informações obtidas através dos dados observados em inventário florestal.

As árvores foram abatidas com motosserra, a mensuração da altura total e das posições entre as seções foi realizada utilizando uma trena e os diâmetros foram obtidos utilizando uma suta. Os dados coletados em campo foram tabulados, e posteriormente processados para cálculo do volume total com casca das árvores cubadas. Foram utilizados os modelos volumétricos de simples e dupla entrada como mostra o quadro 1, e então obtidos os parâmetros estatísticos de precisão para cada modelo.

A escolha do melhor modelo foi realizada a partir de análise estatística, seguindo os seguintes critérios: boa distribuição dos resíduos, um baixo erro padrão residual, em porcentagem, e um alto valor de coeficiente de determinação.

QUADRO 1. Modelos Volumétricos de simples e dupla entrada ajustados.

Caracterização	Autor	Modelo
Simples entrada	Kopezky e Gerhardt	$V=\beta_0+\beta_1*DAP^2$
	Hohenadl–Krenm	$V=\beta_0+\beta_1*DAP+\beta_2*DAP^2$
	Berkhout	$V=\beta_0*DAP^{\beta_1}$
	Husch log	$LnV=\beta_0+\beta_1*Ln(DAP)$
	Dissescu– Meyer	$V=\beta_1*DAP+\beta_2*DAP^2$
	Brenac log	$LnV=\beta_0+\beta_1*Ln(DAP)+\beta_2*(1/DAP)$
	Spurr	$V=\beta_0+\beta_1*DAP^{2*HT}$
	Stoate	$V=\beta_0+\beta_1*DAP^2+\beta_2*DAP^{2*HT}+\beta_3*HT$
	Schumacher e Hall	$V=\beta_0*DAP^{\beta_1}*HT^{\beta_2}$
	Spurr log	$LnV=\beta_0+\beta_1*Ln(DAP^{2*HT})$
	Honner	$V=DAP^2/(\beta_0 + \beta_1*(1/HT))$
Dupla entrada	Ogaya	$V=DAP^2/(\beta_0 + \beta_1*HT)$
	Takata	$V=(DAP^{2*HT})/(\beta_0 + \beta_1*DAP)$
	Naslund	$V=\beta_1*DAP^2+\beta_2*DAP^{2*HT}+\beta_3*DAP*HT^2+\beta_4*HT^2$
	Meyer	$V=\beta_0+\beta_1*DAP+\beta_2*DAP^2+\beta_3*DAP*HT+\beta_4*DAP^{2*HT}+\beta_5*HT$
	Schumacher log	$LnV=\beta_0+\beta_1*Ln(DAP)+\beta_2*Ln(HT)$

Onde: V – volume; DAP - diâmetro à altura do peito; HT - altura total; (β_{is}) – parâmetros estimados; Ln - logaritmo neperiano.

Fonte: SCOLFORO (adaptada), 1997.

Teste de identidade de modelos com variáveis *dummy*

Posteriormente ao ajuste das equações e escolha do modelo que apresentou o melhor ajuste entre todos os municípios, as informações foram vinculadas em um único banco de dados e foram introduzidas variáveis *dummy* (D_i), que assumiram valores 0 e 1, para cada município e para as possíveis combinações do produto entre as variáveis independentes e *dummy* (X_n , D_i), conforme as informações seguintes e como segue no Quadro 1:

$D_i = 1$, se os dados correspondem ao município i ;

$D_i = 0$, se os dados não correspondem ao município i .

Com as variáveis *dummy* incluídas, foram ajustados os novos modelos e calculada a soma do quadrado (SQ) da regressão, os quadrados médios (QM) da diferença e dos resíduos para os dados de cada município separados pelas variáveis *dummy* (modelo completo), para os dados ajustados com as variáveis *dummy* juntamente com as combinações entre estas e as variáveis independentes (modelo conjugado) e para os dados agrupados (modelo hipótese). De posse destas informações, realizou-se uma análise de covariância com o objetivo de verificar se as equações ajustadas apresentam a mesma forma e nível simultaneamente e, portanto, a possibilidade de ajustar uma regressão única para todos os municípios, conforme pode ser observado nos quadros 2 e 3. Primeiro foi testada a igualdade entre as formas, somente na aceitação desta hipótese que prosseguiu com o teste de igualdade de níveis.

QUADRO 2. Estrutura da base de dados para realização do ajuste de modelo de regressão de Schumacher e Hall logarítmico utilizando variáveis *dummy*.

Munic.	Árv.	Ln(V)	Variáveis independentes		Variáveis <i>Dummy</i>			Combinações					
		Y	Ln(DAP)	Ln(HT)	D ₁	D ₂	D _i	X ₁	X ₁	X ₁	X ₂	X ₂	X ₂
			X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X _n	X _{n+1}	X _{n+2}	.	.	.	.
1	-	-	-	-	1	0	0	-	-	.	-	-	.
1	-	-	-	-	1	0	0	-	-	.	-	-	.
2	-	-	-	-	0	1	0	-	-	.	-	-	.
2	-	-	-	-	0	1	0	-	-	.	-	-	.
.	.	.	.	.	.	.	.	-	-	.	-	-	.
.	.	.	.	.	.	.	.	-	-	.	-	-	.
.	.	.	.	.	.	.	.	-	-	.	-	-	.
i	-	-	-	-	0	0	1	-	-	.	-	-	.
i	-	-	-	-	0	0	1	-	-	.	-	-	.

Onde: Munic. – Municípios; Árv - árvore; Y - volume logaritimizado; X₁ - DAP logaritimizado; X₂ - altura total logaritimizada; D - variáveis *dummy*; i - município; X_n - interação entre variáveis independentes e *dummy*.

Com isso, sempre que a probabilidade (p) for maior que o nível de significância $\alpha = 0,05$ para forma e nível, o teste é não significativo, então a equação ajustada para todos os grupos em conjunto poderá ser utilizada. Assim, os modelos assumiram as seguintes configurações ao testar o agrupamento dos dados dos sete municípios:

- Modelo hipótese (ajustado para todos os dados em conjunto):

$$\text{Ln}(V) = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2$$

- Modelo completo (dados separados, com variáveis *dummy* para cada município):

$$\text{Ln}(V) = \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \beta_4 X_4 + \beta_5 X_5 + \beta_6 X_6 + \beta_7 X_7 + \beta_8 X_8 + \beta_9 X_9$$

- Modelo conjugado (ajustado com as variáveis *dummy* e combinações entre estas e as variáveis independentes):

$$\text{Ln}(V) = \beta_3 X_3 + \beta_4 X_4 + \beta_5 X_5 + \beta_6 X_6 + \beta_7 X_7 + \beta_8 X_8 + \beta_9 X_9 + \beta_{10} X_{10} + \beta_{11} X_{11} + \beta_{12} X_{12} + \beta_{13} X_{13} + \beta_{14} X_{14} + \beta_{15} X_{15} + \beta_{16} X_{16} + \beta_{17} X_{17} + \beta_{18} X_{18} + \beta_{19} X_{19} + \beta_{20} X_{20} + \beta_{21} X_{21} + \beta_{22} X_{22} + \beta_{23} X_{23}$$

Os modelos completo e conjugado são ajustados sem o parâmetro β_0 .

Em que:

Ln(V) = volume total da árvore i, logaritimizado;

β_n = parâmetros do modelo;

X_n = 1, se a árvore pertencer ao município i e 0 caso contrário;

β_{ni} = parâmetro n do modelo para o município i.

QUADRO 3. Estrutura da análise de covariância para o teste de forma.

FV	GL	SQ	QM	F
Modelo conjugado	p_{conj}			
Modelo completo	p_{cpt}			
Diferença para testar hipótese	$(p_{conj} - p_{cpt})$	$SQ_{conj} - SQ_{cpt}$	$\frac{SQ_{conj} - SQ_{cpt}}{p_{conj} - p_{cpt}}$	$\frac{QM_{diferença}}{QM_{resíduo}}$
Resíduo (modelo conjugado)	$(N - p_{conj})$	$SQ_{Total} - SQ_{cpt}$		
Total (modelo conjugado)	N			

Onde: FV - fontes de variação; p - número de parâmetros do modelo; conj - modelo conjugado; cpt - modelo completo; N - número de indivíduos; SQ - Soma de Quadrado; QM - Quadrado Médio; F - estatística F calculada.

QUADRO 4. Estrutura da análise de covariância para o teste de níveis.

FV	GL	SQ	QM	F
Modelo completo	p_{cpt}			
Modelo hipótese	p_{hip}	$(\beta_0 * \sum Y) + (\beta_1 * X_1) + (\beta_2 * X_2)$		
Diferença para testar hipótese	$(p_{cpt} - p_{hip})$	$SQ_{conj} - SQ_{cpt}$	$\frac{SQ_{conj} - SQ_{cpt}}{p_{conj} - p_{cpt}}$	$\frac{QM_{diferença}}{QM_{resíduo}}$
Resíduo (modelo conjugado)	$(N - p_{cpt})$	$SQ_{Total} - SQ_{hip}$	$\frac{SQ_{resíduo}}{N - p_{conj}}$	
Total (modelo conjugado)	N			

Onde: FV - fontes de variação; p - número de parâmetros do modelo; N - número de indivíduos; β_n - parâmetros estimados; Y - volume; conj - modelo conjugado; cpt - modelo completo; hip - modelo hipótese; SQ - Soma de Quadrado; QM - Quadrado Médio; F - estatística F calculada.

Uma nova soma de quadrados deverá ser calculada para o modelo hipótese, conforme a Tabela 3.

Desta forma, as hipóteses consideradas neste estudo foram:

H_0 - $\beta_i(G1) = \beta_i(G2) = \dots = \beta_n(Gn)$, ou seja, os “h” parâmetros são idênticos e os dados podem ser agrupados;

H_1 - $\beta_i(G1) \neq \beta_i(G2) \neq \dots \neq \beta_n(Gn)$, ou seja, os modelos apresentam parâmetros estatisticamente distintos e as equações devem ser usadas de forma independente.

Onde:

β_i - Parâmetros de ajuste do modelo;

Gn - Grupos.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Dados da cubagem rigorosa

O Quadro 5 apresenta a síntese dos dados da cubagem rigorosa realizada em cada município estudado.

QUADRO 5. Síntese dos dados da cubagem rigorosa por município estudado.

Municípios	Idade	nº de	Variáveis	Máx	Mín	Média	CV
Águas Vermelhas	6	50	DAP	22,4	4,0	13,3	33,1
			HT	23,0	10,5	18,2	16,0
			VT-CC	0,3920	0,0062	0,1363	65,2
Rio Pardo de Minas	5	45	DAP	15,3	5,1	10,3	27,1
			HT	20,9	12,0	17,3	12,3
			VT-CC	0,1913	0,0115	0,0803	59,4
São João da Ponte	5	50	DAP	23,6	6,6	14,1	29,8
			HT	20,8	11,2	17,4	12,4
			VT-CC	0,3947	0,0227	0,1391	60,0
Francisco Sá	5	28	DAP	16,1	8,3	13,2	16,1
			HT	22,5	15,4	19,8	8,0
			VT-CC	0,1924	0,0383	0,1344	32,7
Turmalina	5	30	DAP	16,9	12,5	15,6	6,9
			HT	27,2	22,3	26,0	4,7
			VT-CC	0,2902	0,1437	0,2420	16,4
Buritizeiro	6	50	DAP	19,8	6,1	13,1	29,0
			HT	25,1	12,2	20,5	15,7
			VT-CC	0,3591	0,0202	0,1587	59,2
Curvelo	6,5	50	DAP	22,6	7,6	15,1	25,6
			HT	28,82	14,53	23,0	13,5
			VT-CC	0,5360	0,0346	0,2073	54,9

Onde: DAP – diâmetro a altura do peito; HT – altura total; VT-CC – volume total com casca; Máx – máximo; Mín – mínimo; CV(%) – coeficiente de variação.

Ajustes dos modelos de simples e dupla entrada

A Tabela 2 e a Figura 3 apresentam os resultados de ajuste da regressão e os gráficos de dispersão dos resíduos, respectivamente, para o modelo volumétrico selecionado (Schumacher e Hall Logarítmico).

TABELA 2. Medidas de precisão e coeficientes dos ajustes do modelo de Schumacher e Hall Logarítmico para os municípios estudados.

Municípios	β_0	β_1	β_2	R ² (%)	Syx(%)
Águas Vermelhas	-10,0745	1,8876	1,0460	99,65	5,61
Rio Pardo de Minas	-10,4828	1,8858	1,2064	99,56	4,92
São João da Ponte	-10,4672	1,6922	1,3660	98,93	7,23
Francisco Sá	-10,6076	1,7984	1,3107	98,49	5,29
Turmalina	-10,9803	1,9411	1,2944	98,07	2,60
Buritizeiro	-9,7785	1,9217	0,9455	99,65	4,59
Curvelo	-10,1283	1,8411	1,1012	99,33	6,33

Onde: β_i – parâmetros estimados; Syx (%) - desvio padrão residual em porcentagem; R² (%) - ajustado coeficiente de determinação ajustado em porcentagem.

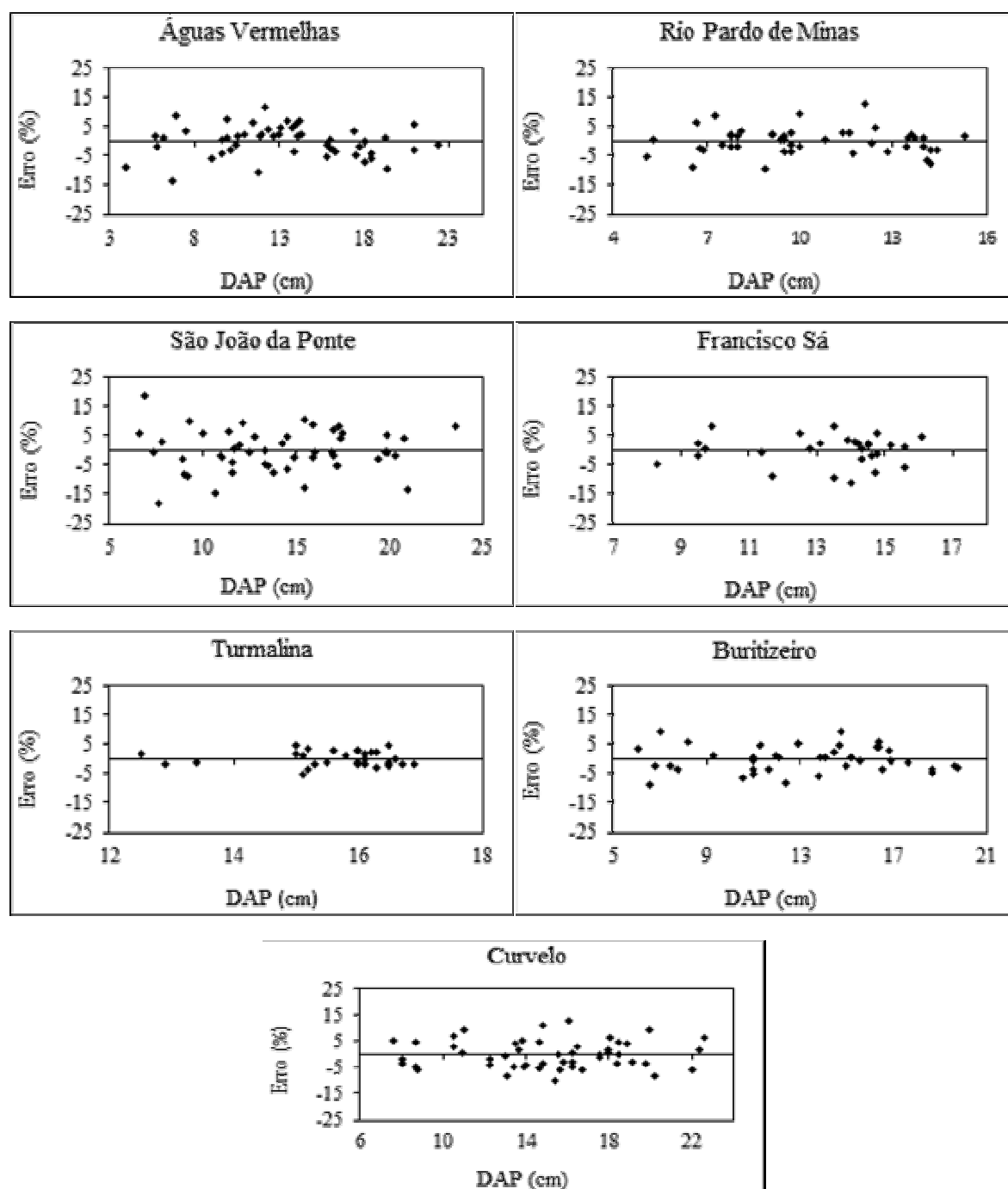


FIGURA 3. Síntese da dispersão gráfica dos resíduos do ajuste do modelo de Schumacher e Hall Logarítmico para os sete municípios estudados.

A partir dos resultados obtidos dos modelos volumétricos ajustados, Schumacher e Hall logarítmico foi o que apresentou as melhores estatísticas entre os municípios estudados, com erro padrão residual entre 2,60 e 7,23% e coeficientes de determinação sempre superiores a 98%. A Figura 3 mostra que o modelo ainda apresentou uma boa dispersão gráfica dos resíduos. Segundo CAMPOS & LEITE (2009), o modelo de Schumacher & Hall tem sido o mais difundido por apresentar, normalmente, melhores ajustes com estimativas não tendenciosas.

O modelo de Schumacher e Hall (log) é uma equação volumétrica de

dupla entrada que estima o volume de árvores a partir do diâmetro na altura do peito (DAP) e da altura total, geralmente esses modelos conseguem melhores resultados estatísticos que os modelos de simples entrada, em decorrência de melhor representar as características da população amostrada, diâmetro e altura.

MIGUEL & LEAL (2012) fazendo a seleção de equações volumétricas para *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake na região norte do Estado de Goiás encontraram valores de R^2 ajustado de 99,70% e erro padrão residual de 9,58% para o modelo de Schumacher & Hall logaritimizado, resultados que corroboram com este estudo. Porém, o mesmo autor relata que mesmo este modelo apresentando uma boa distribuição de resíduos, ele apresentara características de inflacionar os valores de volume em árvores de maiores diâmetros.

AZEVEDO (2009) estudando equações volumétricas para um povoamento de *Eucalyptus* sp, no estado de Sergipe, o modelo que apresentou melhor ajuste foi o de Schumacher-Hall logaritimizado, apresentando R^2 ajustado de 87,45% e erro padrão da estimativa (Syx) de 10,36% para volume com casca. KOHLER et al., (2012) ao avaliar o ajuste do modelo volumétrico de Schumacher e Hall por diferentes alternativas, na sua forma linear e não-linear para *Pinus taeda* em três diferentes sítios obtiveram valores de R^2 variando de 98 até 99% e Syx variando de 8,99% até 14,37%.

Teste de identidade de modelos para os sete municípios

Com os resultados apresentados na Tabela 3 é possível verificar que as equações apresentaram formas semelhantes porém níveis diferentes para os sete municípios, pois os valores de p obtido para o teste de níveis foi inferior ao nível de significância $\alpha=0,05$, não sendo possível, portanto, o agrupamento dos dados que envolva todas estas regiões no ajuste de uma equação comum para todos os municípios.

TABELA 3. Análise de covariância para o teste de forma e nível entre os sete municípios estudados.

Teste de forma					
FV	GL	SQ	QM	F	p
Modelo conjugado	21	1479,52			
Modelo completo	9	1479,46			
Diferença para testar hipótese	12	0,06	0,005	1,75	0,0561
Resíduo (modelo conjugado)	272	0,776	0,0029		
Total (modelo conjugado)	293	1480,3			
Teste de níveis					
FV	GL	SQ	QM	F	p
Modelo completo	9	1479,46			
Modelo hipótese	3	1479,26			
Diferença para testar hipótese	6	0,2043	0,0341	9,26	$2,82 \times 10^{-9}$
Resíduo (modelo conjugado)	284	1,0443	0,0037		
Total (modelo conjugado)	293	1480,3			

Onde: FV - Fontes de variação; GL - Grau de liberdade; SQ - Soma de Quadrado; QM - Quadrado Médio; F - estatística F calculada; p - Probabilidade estatística F tabelada.

A partir da Tabela 1 foi possível observar que há variações nos fatores climáticos entre os municípios. FIGUEIREDO FILHO (1991) destaca que a variação destes fatores acarreta, em locais com diferentes potenciais produtivos, uma

diferente taxa de crescimento das árvores entre os povoadamentos e consequentemente volumes distintos.

SCHNEIDER & TONINI (2003) estudando a utilização de variáveis *dummy* em equações de volume para povoamento de *Acacia mearnsii* De Wild. em três locais diferentes na região da depressão central no Rio Grande do Sul mostrou-se eficiente, permitindo ajustar simultaneamente as equações, porém, também identificou diferenças de crescimento das árvores entre alguns locais estudados, indicando assim a necessidade de ajustar equações de volume em separado para estes locais que se diferiram, minimizando erros de estimativa de volume. RUFINI et al. (2010) estudando teste de identidade para equações volumétricas no Cerrado *sensu stricto* em Minas Gerais para 3 diferentes regiões da Bacia do Rio São Francisco também identificou que era possível ajustes simultâneos apenas entre duas regiões, sendo necessária um ajuste individual para a outra região, por apresentar características diferente das demais.

Desta forma, partindo do pressuposto que municípios mais próximos tendem a apresentar menores variações nos fatores climáticos e povoadamentos com características dendrométricas mais semelhantes o grupo que envolvia todas as regiões foi dividido em dois subgrupos conforme a Figura 4 e posteriormente foi realizada uma nova análise.

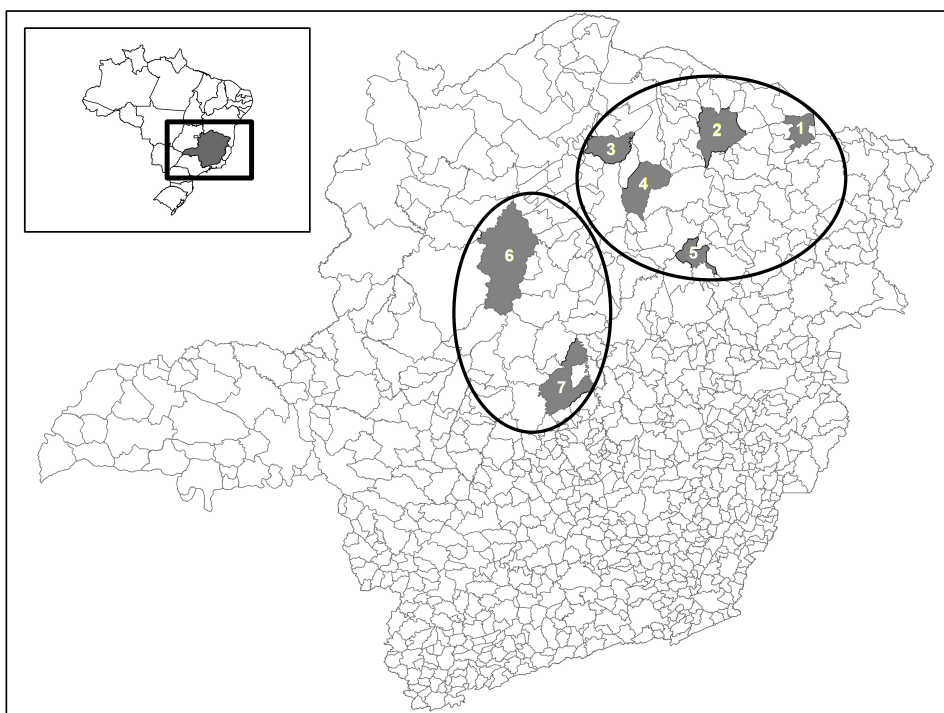


FIGURA 4. Divisão do grupo principal em dois subgrupos.

Onde: Subgrupo 1 - Águas Vermelhas (1), Rio Pardo de Minas (2), São João da Ponte (3), Francisco Sá (4), Turmalina (5) e Subgrupo 2 - Buritizeiro (6), Curvelo (7).

Teste de identidade para o Subgrupo 1

Para o modelo ajustado com o agrupamento de todas as regiões do subgrupo 1, composto pelos municípios de Águas Vermelhas, Rio Pardo de Minas, São João da Ponte, Francisco Sá e Turmalina (Figura 4). O resultado obtido pela análise de covariância (Tabela 4) indica que as equações geraram estimativas diferentes no volume das árvores entre estes locais, não sendo possível, portanto,

utilizar uma equação geral ajustada com dados que abranjam todos estes municípios.

TABELA 4. Análise de covariância para o teste de forma entre as regiões do subgrupo 1.

Teste de forma					
FV	GL	SQ	QM	F	p
Modelo conjugado	15	1107			
Modelo completo	7	1106,94			
Diferença para testar hipótese	8	0,06	0,0075	2,534	0,0122
Resíduo (modelo conjugado)	188	0,5564	0,00296		
Total (modelo conjugado)	203	1107,55			

Onde: FV - Fontes de variação; GL - Grau de liberdade; SQ - Soma de Quadrado; QM - Quadrado Médio; F - estatística F calculada; p - Probabilidade estatística F tabelada.

Um fator que pode explicar esse resultado é a diferença de idade entre os plantios destes municípios pertencentes ao Subgrupo 1. SANTOS (2010) verificou em seu estudo, que *Eucalyptus* sp. de materiais genéticos e idades diferentes, possuíam forma do tronco distinta. SANTANA et al., (2008), avaliando os fatores que influenciam o crescimento de *Eucalyptus* sp, apontam a idade entre as variáveis analisadas como a de maior influência no incremento da biomassa.

Assim, esses fatores podem estar influenciando os resultados obtidos neste estudo. Desta forma realizou-se um novo teste para os municípios do Subgrupo 1 excluindo os dados de Águas Vermelhas, uma vez que o povoamento deste município apresenta idade com diferença superior de um ano aos demais (Tabela 1).

Os resultados observados na Tabela 5 mostram que não há diferença para forma e níveis, entre os municípios do Subgrupo 1 com idades iguais, portanto o modelo hipótese pode ser utilizado para estimativa do volume na área de abrangência dos municípios de Rio Pardo de Minas, São João da Ponte, Francisco Sá e Turmalina.

TABELA 5. Análise de covariância para o teste de forma entre as regiões do subgrupo 1, exceto o município de Águas Vermelhas.

Teste de forma					
FV	GL	SQ	QM	F	p
Modelo conjugado	12	806,28			
Modelo completo	6	806,24			
Diferença para testar hipótese	6	0,039	0,0065	2,16	0,0504
Resíduo (modelo conjugado)	141	0,4243	0,0030		
Total (modelo conjugado)	153	806,70			

Teste de níveis					
FV	GL	SQ	QM	F	p
Modelo completo	6	806,241			
Modelo hipótese	3	806,22			
Diferença para testar hipótese	3	0,0206	0,0069	2,0851	0,1047
Resíduo (modelo conjugado)	147	0,4836	0,0033		
Total (modelo conjugado)	153	806,70			

Onde: FV - Fontes de variação; GL - Grau de liberdade; SQ - Soma de Quadrado; QM - Quadrado Médio; F - estatística F calculada; p - Probabilidade estatística F tabelada.

Os resultados do ajuste para o modelo com os dados agrupados dos municípios Rio Pardo de Minas, São João da Ponte, Francisco Sá e Turmalina estão no tabela 6. Esse resultado é de grande importância, uma vez que o modelo hipótese poderá ser utilizado para estimativa do volume total com casca de povoamentos de eucalipto que estejam próximos destes municípios desde que, apresentem características semelhantes aos que contemplam este estudo. Este resultado possibilita então a isenção da cubagem rigorosa, reduzindo o tempo, onerosidade e custos para ajustes de várias equações para a região de abrangência destes 4 municípios.

TABELA 6. Parâmetros e estatísticas do modelo hipótese ajustado a partir do agrupamento dos dados das regiões do subgrupo 1, exceto o município de Águas Vermelhas.

Parâmetros			Medidas de precisão	
β_0	β_1	β_2	R ² ajustado (%)	Syx (%)
-10,26693	1,80161	1,19556	99,40	5,70

Onde: β_n - Parâmetro estimado; R² ajustado (%) - Coeficiente de determinação ajustado; Syx (%) - Erro padrão residual.

Para estimativas de volume no município de Águas Vermelhas, que se diferenciou dos demais municípios do Subgrupo 1, uma alternativa é a utilização da equação ajustada especificamente para esta região, onde os parâmetros estimados se encontram na Tabela 5.

Teste de identidade para o Subgrupo 2

A análise de covariância (Tabela 7), mostrou que não é possível ajustar uma equação comum para os dados dos povoamentos dos dois municípios, Buritizeiro e Curvelo (Figura 4), que compõem o Subgrupo 2, sendo necessário ajustes, independente para cada situação.

O povoamento do município de Curvelo possui idade superior em seis meses, maior número de árvores por área que o de Buritizeiro (menor espaçamento de plantio), e ainda, uma diferença de precipitação em torno de 200 mm ao longo do ano (Tabela 1), sendo estes fatores de grande influência no desenvolvimento do povoamento florestal.

NOGUEIRA et al., (2008) destacam que o espaçamento inicial de plantio interfere na forma do fuste das árvores, e em espaçamentos mais adensados, a forma dos fustes tendem a ser mais cilíndrica. KOHLER (2013) aponta que árvores podem apresentar volumes distintos se a forma dos fustes for diferente ainda que estas possuam diâmetro e altura semelhante. SOARES et al. (2006) citam a influência climática como um fator importante no crescimento da floresta e aponta a disponibilidade hídrica como um dos principais elementos. A interação entre estes fatores possivelmente proporcionou crescimento distinto das variáveis dendrométricas das árvores entre estes locais, culminando em volumes diferentes entre as mesmas. Isso pode explicar o fato destes dois municípios não apresentarem identidade entre os modelos ajustados.

TABELA 7. Análise de covariância para o teste de forma envolvendo as regiões do subgrupo 2.

Análise de covariância para testar a forma					
FV	GL	SQ	QM	F	p
Modelo conjugado	6	372,528			
Modelo completo	4	372,527			
Diferença para testar hipótese	2	0,001	0,0005	0,191	0,8263
Resíduo (modelo conjugado)	84	0,2196	0,0026		
Total (modelo conjugado)	90	372,75			
Análise de covariância para testar os níveis					
FV	GL	SQ	QM	F	p
Modelo conjugado	4	372,527			
Modelo hipótese	2	372,397			
Diferença para testar hipótese	2	0,1296	0,0648	24,79	3,46 x 10 ⁻⁹
Resíduo (modelo conjugado)	84	0,2196	0,00261		
Total (modelo conjugado)	90	372,75			

Onde: FV - Fontes de variação; GL - Grau de liberdade; SQ - Soma de Quadrado; QM - Quadrado Médio; F - estatística F calculada; p - Probabilidade estatística F tabelada.

CONCLUSÕES

O modelo de Schumacher e Hall apresenta as melhores estatísticas de precisão para todos os municípios simultaneamente, e as equações geradas neste trabalho podem ser utilizados para estimativas do volume de povoamentos de *Eucalyptus* sp. nos 7 municípios estudados

O teste de identidade de modelos indica que para estimativa de volume pode-se utilizar uma única equação ajustada para os municípios de Rio Pardo de Minas, São João da Ponte, Francisco Sá e Turmalina.

Este estudo ainda mostra que a utilização de equações volumétricas emprestadas podem provocar erros nas estimativas de volume. Portanto o emprego de equações emprestadas somente é interessante quando a idade, espaçamento e qualidade de sítio do povoamento sejam semelhantes ao de origem dos ajustes para que se obtenha estimativas com menor erro, caso contrário, a melhor alternativa é a utilização de equações volumétricas individuais para cada povoamento.

REFERÊNCIAS

ABRAF - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS. **Anuário estatístico da ABRAF 2013, ano base 2012**. Brasília: ABRAF, 146 p. 2013.

AZEVEDO, T. L. **Ajuste de Equações Hipsométricas e Volumétricas para um povoamento de Eucalyptus sp., localizado na florestal nacional do Ibura, Sergipe**. 2009. 49 p. Monografia (Graduação em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Sergipe.

CABACINHA, C. D. **Um método para a realização do inventário florestal suprimindo a cubagem rigorosa**. 2003. 166 p. Dissertação (Mestrado em Ciências

Florestais) – Universidade Federal de Lavras.

CAMPOS, J. C. C.; LEITE, H. G. **Mensuração florestal: perguntas e respostas**. 3.ed. atual. E ampl. Viçosa, MG: UFV, 548 p. 2009.

FIGUEIREDO FILHO, A. **Influência da resinagem no crescimento de *Pinus elliottii* Engelm. var. *elliottii* e sua avaliação econômica**. Curitiba, 1911. 138 p. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná.

GRAYBILL, J. **Theory and application of the linear model**. Belmont: Duxbury, 1976.

INMET - Instituto Nacional de Meteorologia. **Estações Meteorológicas**. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=estacoes/estacoesAutomaticas>> Acesso em: 30 de Out. de 2014.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Produção da Extração Vegetal e da Silvicultura**, v. 28, Rio de Janeiro, 21 p. 2014.

KOHLER, S. V.; RETSLAFF, F. A. S.; MÔRA, R.; FIGUEIREDO FILHO, A.; WOLFF II, N. I. Diferentes métodos de ajuste do modelo volumétrico de Schumacher e Hall. In: Congresso florestal paranaense, 4, 2012. Curitiba, Paraná. **Anais...** Curitiba: UNICENTRO, 2012.

KOHLER, S. V. **Evolução do afilamento do tronco e do sortimento em plantios de *Pinus taeda* nos Estados do Paraná e Santa Catarina**. Curitiba, 2013. 84 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná.

LEITE, H. G.; OLIVEIRA-NETO R. R.; MONTE, M. A.; FARDIN, L. ALCANTARA, A. M.; BINOTI, M. L. M. S.; CASTRO, R. V. O. Modelo de afilamento de cerne de *Tectona grandis* L.f. **Revista Scientia Forestalis**. Piracicaba, v. 39, n. 89, p. 53-59, 2011.

MIGUEL, E. P.; LEAL, F. A. Seleção de Equações Volumétricas para a Predição do Volume Total de *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake na Região Norte do Estado de Goiás. **Enciclopédia Biosfera**, Centro Científico Conhecer - Goiânia, v. 8, n. 14, p. 1372-1386, 2012.

MISSIO, F.; JACOBI, L. F. Variáveis *dummy*: especificações de modelos com parâmetros variáveis. **Ciência e Natura**, UFSM, v. 29, n.1, p. 111 – 135, 2007.

NOGUEIRA, G. S.; LEITE, H. G.; REIS, G. G. MOREIRA, A. M. Influência do espaçamento inicial sobre a forma do fuste de árvores de *Pinus taeda* L. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 32, p. 855 - 860, 2008.

REGAZZI, A. J.; SILVA, C. H. O. Testes para verificar a igualdade de parâmetros e a identidade de modelos de regressão não-linear em dados de experimento com delineamento em blocos casualizados. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 57, n. 3, p. 315-320, 2010.

RUFINI, A. L.; SCOLFORO, J. R. S.; OLIVEIRA, A. D.; MELLO, J. M. Equações volumétricas para o Cerrado *sensu stricto*, em Minas Gerais. **Cerne**, Lavras, v. 16, n. 1, p. 1-11, 2010.

SANTANA, R. C.; BARROS, N. F.; LEITE, H. G.; COMERFORD, N. B.; NOVAIS, R. F. Estimativa de biomassa de plantios de eucalipto no Brasil. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 32, n. 4, p. 697-706, 2008.

SANTOS, F. R. **Caracterização dendrométrica e avaliação econômica de povoamentos de eucalipto para multiproduto**. Jerônimo Monteiro, 2010. 124 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Espírito Santo.

SCOLFORO, J. R. **Biometria florestal 2: técnicas de regressão aplicada para estimar: volume, biomassa, relação hipsométrica e múltiplos produtos de madeira**. Lavras: UFLA/FAEPE, 292 p. 1997.

SCOLFORO, J. R. **Mensuração Florestal 3: Relações quantitativas em volume, peso e a relação hipsométrica**. Lavras, ESAL/FAEPE, 292 p. 1993.

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, 352 p. 2005.

SCHNEIDER, P. R.; TONINI, H. Utilização de variáveis *dummy* em equações de volume para *acacia mearnsii* de wild. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 13, n. 2, p. 121-129, 2003.

SOARES, C. P. B.; PAULA NETO, F.; SOUSA, A.L. **Dendrometria e inventário Florestal**. Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa, 276 p. 2006.

STATGRAPHICS. **Statgraphics plus for Windows**, version 5.1. Manugistics Inc., Rockville, MD, USA, 2006.