

## INTENSIDADE AMOSTRAL ÓTIMA PARA A CUBAGEM RIGOROSA DE *Tectona grandis* L.f.

Diogo Guido Streck VENDRUSCOLO<sup>1</sup>

Fernando Henrique GAVA<sup>1</sup>

Ronaldo DRESCHER<sup>1</sup>

Hudson Santos SOUZA<sup>1</sup>

Gabriel Valadares CALDEIRA<sup>1</sup>

Raiane Scandiane da SILVA<sup>2</sup>

- RESUMO: Este trabalho teve como objetivo avaliar a intensidade amostral, a respeito do número de árvores a serem cubadas para ajustar equações volumétricas para povoamentos clonais jovens de *Tectona grandis* (teca). O povoamento foi avaliado aos quatro anos de idade em uma área de 10,6 hectares, sob o espaçamento de 4×3 m. A base de dados é proveniente da cubagem de 80 árvores representativas do povoamento. Para avaliar o efeito da redução da intensidade amostral, na qualidade do ajuste do modelo, foram avaliados quatro cenários, com o número de árvores variando de 50 a 20. O modelo de volume empregado foi o de Schumacher e Hall, e para cada um dos cenários, as equações foram validadas. O critério de avaliação das estimativas foi por meio de parâmetros estatísticos e análise gráfica de resíduos. Complementarmente os valores observados foram comparados com os preditos na validação das equações por meio do teste *t*. As equações provenientes dos diferentes cenários apresentaram estatísticas de ajuste adequadas, e por meio desta abordagem, verifica-se que o modelo de Schumacher e Hall, ajustado a partir de 30 árvores, gera predições volumétricas individuais confiáveis em povoamentos clonais jovens de teca.
- PALAVRAS-CHAVE: Distribuição diamétrica; equações volumétricas; predição do volume; Schumacher e Hall.

### 1 Introdução

As estimativas de volume são indispensáveis e constitui o procedimento mais eficiente para a quantificação da produção em volume de um povoamento florestal. Essas estimativas servem de suporte para o planejamento e monitoramento dos plantios com finalidade comercial, especialmente em estudos de crescimento e produção, e

---

<sup>1</sup> Universidade Federal de Mato Grosso - UFMT, Campus Cuiabá, Departamento de Engenharia Florestal, CEP: 78060-900, Cuiabá, MT, Brasil. E-mail: [diogoguido@hotmail.com](mailto:diogoguido@hotmail.com); [fhgava@hotmail.com](mailto:fhgava@hotmail.com); [ronaldodrescher@gmail.com](mailto:ronaldodrescher@gmail.com); [hudson.ssh@hotmail.com](mailto:hudson.ssh@hotmail.com); [gabriel\\_caldeira\\_@hotmail.com](mailto:gabriel_caldeira_@hotmail.com).

<sup>2</sup> Universidade do Estado de Mato Grosso - UNEMAT, Campus Cáceres, Departamento de Agronomia, CEP: CEP: 78200-000, Cáceres, MT, Brasil. E-mail: [raiane.scandian@gmail.com](mailto:raiane.scandian@gmail.com).

quantificação de multiprodutos (GUIMARÃES e LEITE, 1996; LEITE *et al.*, 2011; LEAL *et al.*, 2015).

Dentre os métodos de se quantificar o volume de árvores é bastante usual as equações volumétricas de dupla entrada, cujo volume é obtido ao se relacionar com o diâmetro à altura 1,3 m de altura (DAP) e a altura total (HT) ou comercial da árvore (HC), como observado em diversos trabalhos (CAMPOS *et al.*, 1992; AKINDELE e LEMAY, 2006; CRUZ *et al.*, 2008; SCHRÖDER *et al.*, 2013; DRESCHER *et al.*, 2014; SILVESTRE *et al.*, 2014). O emprego de equações volumétricas constitui uma das principais ferramentas para quantificação da produção de povoamentos florestais, sendo base para o manejo sustentável de plantações florestais (LEITE e ANDRADE, 2003).

Dentre os vários modelos existentes para expressar o volume de madeira em função do DAP e da altura, o modelo proposto por Schumacher e Hall (1933) é um dos mais difundidos no meio florestal, devido às suas propriedades estatísticas, uma vez que resulta em estimativas quase sempre livres de tendências (GUIMARÃES e LEITE, 1996; LEITE e ANDRADE, 2003; CRUZ *et al.*, 2008; CAMPOS e LEITE, 2013).

Para o ajuste de modelos de volume é necessário utilizar uma base de dados provenientes de cubagem rigorosa. Esse método, em geral, exige o abate das árvores amostras, previamente selecionadas, em que são feitas as medições de vários diâmetros ao longo do fuste (MACHADO e FIGUEIREDO FILHO, 2006).

No entanto, não há consenso entre o número ideal de árvores para cubagem e quanto à representatividade de árvores de diferentes tamanhos na amostra (LEAL *et al.*, 2015). Segundo Campos e Leite (2013), as árvores-amostra utilizadas na cubagem devem abranger todas as classes de diâmetros, observando-se preferencialmente a mesma frequência por classe. Leal *et al.* (2015) indicam um esforço amostral de oito árvores por classe diamétrica.

Outro aspecto que deve ser levado em consideração em relação ao número de amostras para a cubagem rigorosa é o custo que essa atividade envolve, já que na maioria dos casos essa tarefa é feita pelo método destrutivo (NICOLETTI *et al.*, 2015). Esse custo pode ser minimizado com a medição de árvores em pé, que é considerado um trabalho pouco prático e demorado, pois ao se trabalhar em alturas elevadas, pode acarretar em erros de medição (MACHADO e FIGUEIREDO FILHO, 2006). Assim, alternativas como a redução do número de árvores utilizadas na cubagem rigorosa podem ser consistente, desde que não ocorra a redução significativa de precisão nas estimativas.

Dessa forma, o objetivo do trabalho foi avaliar a intensidade amostral ótima, a respeito do número de árvores a serem cubadas para ajustar equações volumétricas para povoamentos clonais jovens de *Tectona grandis*.

## 2 Material e métodos

### 2.1 Caracterização da área de estudo

A pesquisa foi realizada em um povoamento florestal com *Tectona grandis* (teca) situado no município de Cáceres – MT. O município está localizado na região Centro Sul de Mato Grosso, entre as latitudes 15°27' e 17°37' sul e as longitudes 57°00' e 58°48'

oeste, a uma altitude de 118 m. O clima, segundo classificação de Köppen, é tropical quente e úmido, com inverno seco (NEVES *et al.*, 2011).

O povoamento é de origem clonal, e está implantado em uma área de 10,6 hectares sob o espaçamento de 4×3 m. Para o preparo de solo foram utilizadas: gradagem pesada, subsolagem e gradagem niveladora. O povoamento sofreu desramas anuais, obedecendo ao critério de retirada de 30% da copa.

## 2.2 Base de dados

A coleta de dados foi realizada aos quatro anos de idade do povoamento, com a realização de um inventário piloto, em que foi mensurado o DAP de todos os indivíduos provenientes de dez parcelas retangulares de 480 m<sup>2</sup>, dispostas em campo de modo sistemático. Esse método de amostragem foi eficiente, pois proporcionou um erro amostral de 4,86%, coeficiente de variação 6,95% e intensidade amostral requerida de 2 parcelas.

Posteriormente o conjunto de dados de DAP foi separado em classes de diâmetro com amplitude de 2 cm como recomendado por Campos e Leite (2013). De acordo com a distribuição diamétrica do povoamento, foram abatidas e cubadas rigorosamente 80 árvores, obedecendo a mesma frequência em porcentagem para cada classe diamétrica. A verificação da normalidade dos dados de DAP das árvores utilizadas na amostra foi por meio do ajuste da função de densidade probabilística normal - fdp (Equação 1), e o teste de aderência de Shapiro-Wilk (W).

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} \exp \left[ -\frac{1}{2} \left( \frac{x - \mu}{\sigma} \right)^2 \right] \quad (1)$$

em que:  $f(x)$  = função de densidade de probabilidade da variável  $x$ ;  $x$  = DAP em cm;  $\pi$  = constante (3,141592...);  $\exp$  = exponencial;  $\sigma^2$  = variância (1,2955);  $\sigma$  = desvio padrão (1,1382);  $\mu$  = média.

Na cubagem rigorosa, os diâmetros ao longo do fuste foram mensurados nas seguintes posições: 0,1 m, 1,3 m e posteriormente a cada 1 m, até o diâmetro mínimo de 5 cm. A obtenção do volume com casca das seções foi realizada pelo método de Smalian. Um resumo estatístico das principais variáveis do povoamento está apresentado na Tabela 1.

Tabela 1. Estatística descritiva das principais variáveis do povoamento de *Tectona grandis*

Variável	Unidade	Mínimo	Média	Máximo	Desv. Padrão	C. V. (%)
DAP	cm	13,0	16,4	19,1	1,1382	6,94
HT	m	11,0	13,0	14,9	0,8097	6,24
V	m <sup>3</sup>	0,0572	0,1121	0,1582	0,0183	16,29

DAP = diâmetro a 1,3 m de altura; HT = altura total; V = volume; C.V. = coeficiente de variação em porcentagem.

Com objetivo de reduzir a intensidade amostral na cubagem rigorosa para ajustes de modelos volumétricos, foi adotado como procedimento padrão, o ajuste do modelo de volume em sua forma linear proposto por Schumacher e Hall (1933) (Equação 2).

$$\ln(V) = \beta_0 + \beta_1 \ln(DAP) + \beta_2 \ln(HT) + \varepsilon \quad (2)$$

em que:  $\ln$  = logaritmo neperiano;  $V$  = volume total (m<sup>3</sup>);  $DAP$  = diâmetro a 1,3 m de altura (cm);  $HT$  = altura total (m);  $\varepsilon$  = erro associado.

A discrepância logarítmica na estimativa da variável dependente, ao se efetuar a operação inversa para obtenção da variável de interesse, foi corrigida multiplicando-se a altura estimada pelo Fator de Correção de Meyer (FCM), conforme Machado *et al.* (2008) (Equação 3).

$$FCM = e^{0,5*(S_{yx}^2)} \quad (3)$$

em que:  $e$  = exponencial; e  $S_{yx}$  = erro padrão de estimativa.

A escolha desse modelo foi baseada por ser um dos mais difundidos no meio florestal, além de apresentar resultados superiores a outros modelos para as estimativas de volume em teca, comprovado em diversos estudos (PÉREZ e KANNINEN 2003; CRUZ *et al.*, 2008; TONINI *et al.*, 2009; AKOSSOU *et al.*, 2013; DRESCHER *et al.*, 2014; SOUZA *et al.*, 2015).

### 2.3 Cenários avaliados

A redução do número de árvores empregadas para o ajuste do modelo de volume foi realizada em diferentes cenários. O princípio básico foi dividir a base de dados em dois conjuntos, um primeiro utilizado no ajuste do modelo de volume onde o número de árvores variou de 50 a 20, e o segundo na validação das equações, utilizando dados de 30 árvores que não estavam presentes no ajuste. A Tabela 2 detalha cada cenário.

Tabela 2. Número de árvores de *Tectona grandis* utilizadas no ajuste e validação das equações em cada cenário avaliado

Cenário	Ajuste	Validação
C1	50	30
C2	40	30
C3	30	30
C4	20	30

Para garantir a casualização e representação diamétrica nos ajustes, as árvores de cada cenário foram definidas através de sorteio, e a normalidade foi verificada pelo teste de Shapiro-Wilk. Dessa forma, ao total foram avaliados quatro cenários, resultando em quatro equações de volume, as quais foram avaliadas pelo coeficiente de correlação -  $r_{v\hat{v}}$  (Equação 4), raiz quadrada do erro médio em porcentagem - RMSE% (Equação 5), análise gráfica de resíduos em porcentagem - E% (Equação 6) e dispersão dos volumes observados versus estimados.

$$r_{v\hat{v}} = \frac{cov(V, \hat{V})}{\sqrt{S^2(V)S^2(\hat{V})}} \quad (4)$$

$$RMSE_{\%} = \frac{100}{\bar{V}} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (V_i - \hat{V}_i)^2}{n}} \quad (5)$$

$$E_{\%} = \frac{V - \hat{V}}{V} 100 \quad (6)$$

em que:  $cov$  = covariância;  $S^2$  = variância;  $V$  = volume observado;  $\hat{V}$  = volume estimado; e  $n$  = número de casos.

A avaliação da qualidade das predições em cada cenário foi por meio do teste  $t$ , verificando assim, possíveis diferenças entre os volumes observados e preditos pelas equações, no conjunto de dados separados para validação.

Para o ajuste dos modelos e as análises estatísticas foi utilizado o software R (R CORE TEAM, 2015), versão 3.2.2. Em todas as análises do presente estudo foi utilizado um nível de 95% de significância.

### 3 Resultados e discussão

Foi verificado (Figura 1) que a base de dados das 80 árvores cubadas apresentou distribuição de diâmetros de forma simétrica de acordo com a linha estimada pela função de densidade, e comprovado pelo teste de aderência  $W$  ( $p$ -value > 0,05). Segundo Soares *et al.* (2011) esse comportamento é esperado em florestas plantadas, visto que a maior frequência de indivíduos está próxima à média do povoamento.

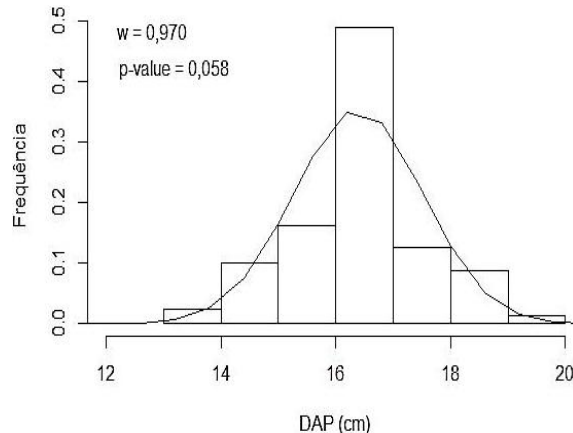


Figura 1 - Distribuição diamétrica das árvores cubadas de *Tectona grandis*.

As árvores sorteadas para o ajuste do modelo de volume em cada cenário (C1, C2, C3 e C4) foram representativas e atenderam ao pressuposto de normalidade da distribuição ( $p$ -value > 0,05) de acordo com teste de aderência de Shapiro-Wilk (Figura 2). Essa avaliação foi conduzida com objetivo verificar a variação diamétrica em cada cenário, pois segundo Campos e Leite (2013), em ajustes de modelos de volume, é crucial que as árvores utilizadas abranjam todas as classes de diâmetro do povoamento.

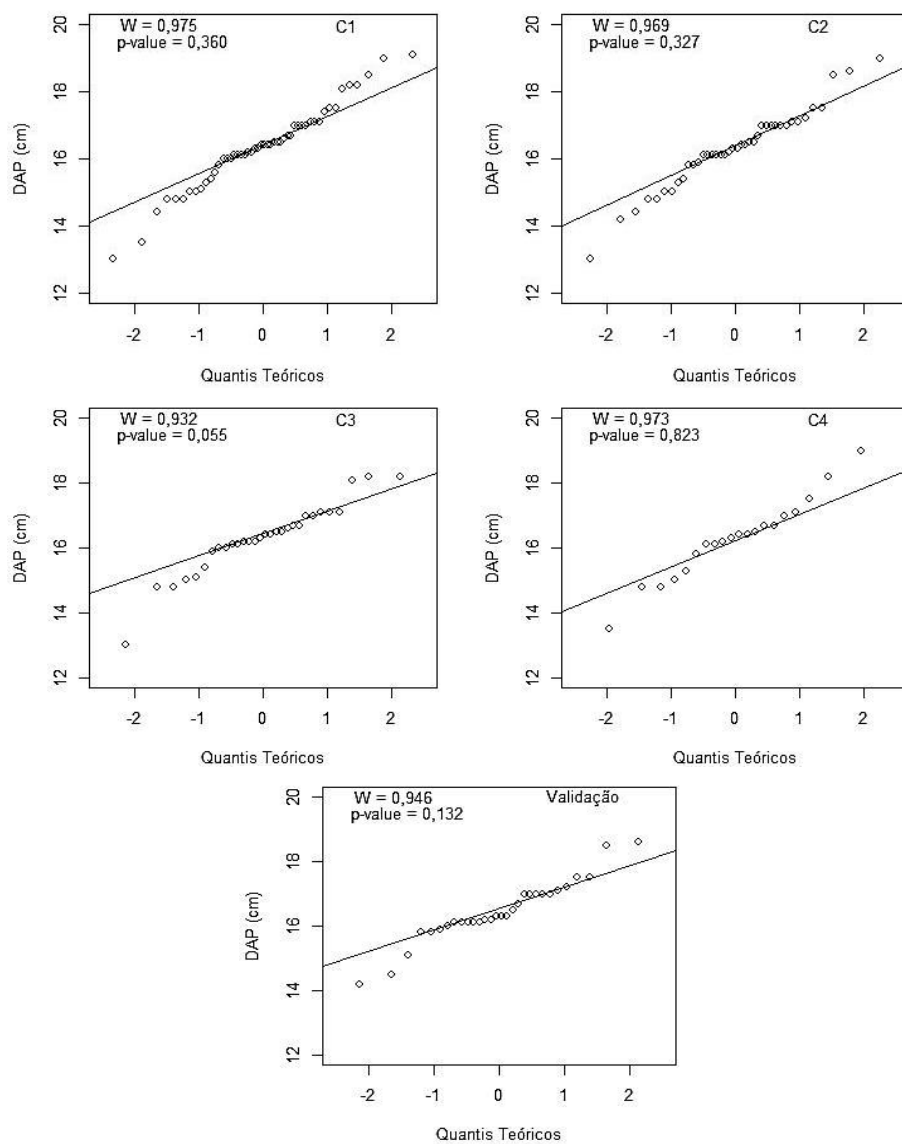


Figura 2 - Diâmetros observados em função dos quantis teóricos esperados para a distribuição normal das amostras utilizadas nos ajustes das equações nos diferentes cenários (C1, C2, C3 e C4) e dos dados separados para validação.

Observando o comportamento das equações, pelos valores dos critérios estatísticos utilizados, nota-se que os ajustes foram satisfatórios, denotando que a variável dependente (V) é explicada pelas variáveis independentes (DAP e HT). As equações apresentaram estatísticas de ajuste, com alto coeficiente de correlação (acima de 0,90) e baixos valores de erro (abaixo de 10,92%), para o conjunto de ajuste (Tabela 3). Quando avaliado a

aplicação da equação ajustada (validação) foi observado uma ligeira redução de precisão em relação aos indicadores estatísticos ( $r_{v\hat{v}}$  e RMSE%) principalmente no cenário 4, devido ao baixo número de árvores (20) empregadas no ajuste. De um modo geral, os valores de  $r_{v\hat{v}}$  e RMSE% estão de acordo com estudos com modelos de volume para teca (PEREZ, 2008; VENDRUSCOLO *et al.*, 2014).

Tabela 3. Coeficientes, estatísticas de ajuste e da validação e resumo do teste t aplicado ao conjunto de validação

Cenário	$\beta_0$	$\beta_1$	$\beta_2$	Ajuste		Validação		Teste t <i>p-value</i>
				$r_{v\hat{v}}$	RMSE%	$r_{v\hat{v}}$	RMSE%	
1	-8,904	2,058	0,372	0,93	6,81	0,89	6,27	0,545 <sup>ns</sup>
2	-9,004	2,237	0,216	0,94	6,16	0,89	6,44	0,473 <sup>ns</sup>
3	-8,983	2,203	0,246	0,89	7,91	0,89	6,45	0,295 <sup>ns</sup>
4	-8,704	1,020	1,414	0,89	7,51	0,82	8,63	0,047*

$\beta_i$  = coeficientes de regressão;  $r_{v\hat{v}}$  = coeficiente de correlação; RMSE% = raiz quadrada do erro médio em porcentagem; <sup>ns</sup> = não significativo ao nível de 95% de probabilidade; \* = significativo ao nível de 95% de probabilidade.

No entanto, apesar das estatísticas serem bons indicadores da qualidade dos ajustes, a análise gráfica de resíduos é fundamental (MIGUEL *et al.*, 2015), visto que erros podem ocorrer em determinados cenários e não serem detectados pelas demais estatísticas. Os gráficos dos volumes observados versus estimados e de resíduos para o conjunto de ajuste e validação não apresentaram tendências nas estimativas para os quatro cenários. Os valores dos resíduos se concentraram em  $\pm 15\%$ , no entanto, percebe-se que à medida que se reduz o número de árvores utilizadas nos ajustes do modelo, ocorre maior dispersão dos resíduos na validação (Figura 3).

As estimativas de volume apresentaram valores estatisticamente iguais aos observados pelo teste *t*, até quando utilizado 30 árvores para o ajuste. Quando reduzido o número de árvores para 20 (C4) foi verificada diferença entre os volumes ajustados e os estimados, comprometendo a predição volumétrica das árvores.

O número de árvores utilizado em ajustes de modelos de volume é um critério particular de cada estudo, visto que as árvores devem representar a variação diamétrica da população ou ainda atender a critérios estatísticos relacionados à suficiência amostral. Verifica-se que o número de árvores utilizados em ajustes volumétricos para teca varia significativamente, a exemplo de 24 árvores (PASSOS *et al.*, 2006), 373 árvores (MORA; HERNÁNDEZ, 2007), 60 árvores (CRUZ *et al.*, 2008), 122 árvores (TONINI *et al.*, 2009), 30 árvores (VENDRUSCOLO *et al.*, 2014) e 80 árvores (SOUZA *et al.*, 2015).

Campos e Leite (2013) preconizam que a frequência dos dados de cubagem está diretamente relacionada com a variação em diâmetro e forma das árvores da população, e por isso as árvores-amostra devem abranger todas as classes de diâmetro a partir de um diâmetro mínimo especificado até os maiores diâmetros. No caso de pinus e eucaliptos é usual utilizar de 100 a 150 árvores para o ajuste de um modelo, com a mesma frequência por classe de diâmetro (CAMPOS e LEITE, 2013).

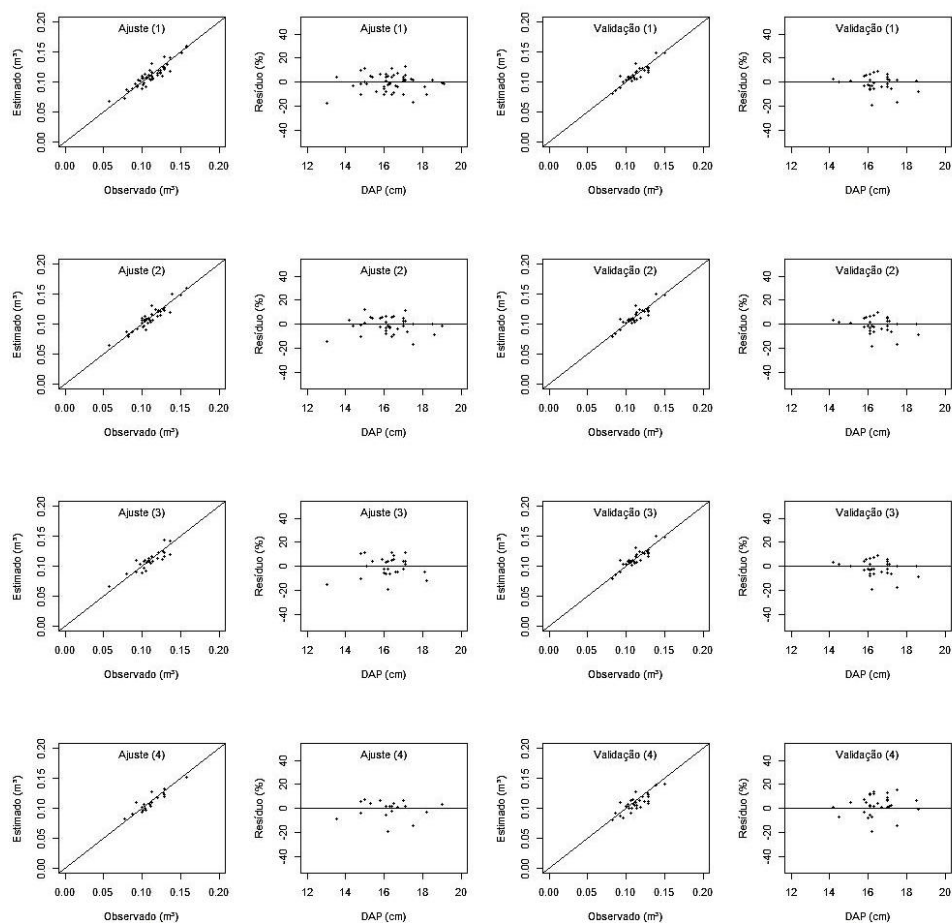


Figura 3 - Volume total observado versus estimado e dispersão dos resíduos para o conjunto de ajuste e validação nos quatro cenários avaliados (1, 2, 3, 4).

Alguns autores recomendam a utilização de um mesmo número de árvores amostras por classes de diâmetro (CAMPOS e LEITE 2013; LEAL *et al.*, 2015). No entanto, a forma de sorteio empregada no presente estudo permitiu a utilização de diferentes números de árvores por classes, sendo que nas classes centrais (mais próximas da média) o número de árvores-amostra foram maiores. Essa metodologia mostrou-se eficiente para árvores clonais jovens de *Tectona grandis*, proporcionando previsões de volume confiáveis com apenas 30 árvores utilizadas para o ajuste do modelo de Schumacher e Hall (1933).

Valores próximos em relação ao número de árvores cubadas em povoamentos de teca, foi encontrado no trabalho de Miranda *et al.* (2015). No estudo, os autores utilizaram 35 árvores para o ajuste do modelo de volume, e essa quantidade de árvores foi suficiente para validar os resultados, quanto ao tamanho de parcelas e precisão na estimativa das variáveis. Outro aspecto importante, é que a redução do número de amostras, desde que



não diminua a precisão, facilita a coleta de dados, diminui os custos que são diretamente influenciados pelo tempo de medições a campo (GUIMARÃES e LEITE, 1996).

#### 4 Conclusões

Equações de volume quando ajustadas com um número reduzido de árvores podem gerar predições volumétricas tendenciosas.

O emprego de um número elevado de árvores deve ser evitado em função do aumento de custos e tempo para realização das coletas em campo.

O modelo de Schumacher e Hall, ajustado a partir de 30 árvores gera predições volumétricas individuais precisas em povoamentos clonais de *Tectona grandis*.

#### Agradecimentos

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa de mestrado. A equipe do Laboratório de Mensuração, Crescimento e Produção Florestal da FENF/UFMT; ao Sr. Fernando Gouveia por disponibilizar a área para esta pesquisa e ao Sr. Ademar pelo acompanhamento e suporte técnico.

VENDRUSCOLO, D.G.S.; GAVA, F.H.; DESCHER, R.; SOUZA, H.S.; CALDEIRA, G.V.; SILVA, R.S. Intensity optimum sample for cubing of *Tectona grandis* L.f.. *Rev. Bras. Biom.*, Lavras, v.34, n.4, p.564-574, 2016.

- **ABSTRACT:** This study aimed to evaluate the sampling intensity, about the number of trees to be cubed to fit volumetric equations for young clonal stands of *Tectona grandis* (teak). The stand was four years old and it was measured in a 10.6 hectare area, under 4×3 m spacing. The database comes from 80 representative tress cubed. To evaluate the reducing effect of sampling intensity, in the quality of model fit, were tested four scenarios, oscillating the number of trees from 50 to 20. The volume model used was Schumacher and Hall, and for each scenario the equations were validated. The validation criteria of estimates were by statistical parameters and graphical analysis of residue. In addition, the observed values were compared with estimated calculating *t* test for equations. Equations from different scenario presented appropriate goodness-of-fit statistics, and through this research, it can be verified that the Schumacher and Hall fitted model from 30 produce reliable volumetric predictions in individual clonal stands of young teak.
- **KEYWORDS:** Diametric distribution; volumetric equations; volume prediction; Schumacher and Hall.

#### Referências

AKINDELE, S. O.; LEMAY, V. M.; Development of tree volume equations for common timber species in the tropical rain forest area of Nigeria. *Forest Ecology and Management*, v.26, p.41-48, 2006.

AKOSSOU, A. Y. J.; ARZOUMA, S.; ATTAKPA, E. Y.; FONTON, N. H.; KOKOU, K. Scaling of teak (*Tectona grandis*) logs by the xylometer technique: accuracy of volume equations and influence of the log length. *Diversity*, v.5, p.99–113, 2013.

CAMPOS, J.C.C.; LEITE, H.G. *Mensuração florestal: perguntas e respostas*. 4ª Edição Viçosa: UFV, 2013. 605p.

CAMPOS, J. C. C.; SILVA, J. Á.; VITAL, B. R. Volume e biomassa do tronco e da copa de Eucalipto de grande porte. *Revista Árvore*, v.16, n.3, p.319-336, 1992.

CRUZ, J. P.; LEITE, H. G.; SOARES, C. P. B.; CAMPOS, J. C. C.; SMIT, L.; NOGUEIRA, G. S. Curvas de crescimento e de índice de local para povoamentos de *Tectona grandis* em Tangará da Serra, Mato Grosso. *Revista Árvore*, v.32, n.4, p. 679-685, 2008.

DRESCHER, R.; GAVA, F. H.; PELISSARI, A. L.; ACOSTA, F. C.; SILVA, V. S. M. Equações volumétricas para *Tectona grandis* Linn F. em povoamentos jovens no estado de Mato Grosso. *Advances in Forestry Science*, v.1, n.2, p.65-70, 2014.

GUIMARÃES, D. P.; LEITE, H. G. Influência do número de árvores na determinação de equação volumétrica para *Eucalyptus grandis*. *Scientia Forestalis*, n.50, p.37-42, 1996.

LEAL, F. A.; CABACINHA, C. D.; CASTRO, R. V. O.; MATRICARDI, E. A. T. Amostragem de árvores de *Eucalyptus* na cubagem rigorosa para estimativa de modelos volumétricos. *Revista Brasileira de Biometria*, v.33, n.1, p.91-103, 2015.

LEITE, H. G.; ANDRADE, V. C. L. Importância das variáveis altura dominante e altura total em equações hipsométricas e volumétricas. *Revista Árvore*, v.27, n.3, p.301-310, 2003.

LEITE, H. G.; OLIVEIRA-NETO, R. R. D.; MONTE, M. A.; FARDIN, L.; ALCANTARA, A. M. D.; BINOTI, M. L. M. S.; CASTRO, R. V. O. Modelo de afilamento de cerne de *Tectona grandis* L.f. *Scientia Forestalis*, v.39, n.89, p.053-059, 2011.

MACHADO, A. S.; FIGUEIREDO FILHO, A. *Dendrometria*. 2ed. Guarapuava: Unicentro, 2006. 316 p.

MACHADO, S. A.; NASCIMENTO, R. G. M.; AUGUSTYNCZIK, A. L. D.; SILVA, L. C. R.; FIGURA, M. A.; PEREIRA, E. M.; TÊO, S. J. Comportamento da relação hipsométrica de *Araucaria angustifolia* no capão da Engenharia Florestal da UFPR. *Pesquisa Florestal Brasileira*, n.56, p.5-16, 2008.

MIGUEL, E. P.; REZENDE, A. V.; LEAL, F. A.; MATRICARDI, E. A. T.; VALE, A. T.; PEREIRA, R. S. Redes neurais artificiais para a modelagem do volume de madeira e biomassa do cerradão com dados de satélite. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.50, n.9, p.829-839, 2015.

MIRANDA, D. L. C.; SANDER, A.; GOUVEIA, D. M.; Tamanho e forma de parcelas de área fixa em plantios de teca no norte de Mato Grosso. *Nativa*, v.3, n.2, p.89-94, 2015.

MORA, F.; HERNÁNDEZ, W. Estimación del volumen comercial por producto para rodales de teca en el pacífico de Costa Rica. *Agronomía Costarricense*, v.31, n.1, p.101-112, 2007.

NEVES, A. M. A. S.; NUNES, M. C. M.; NEVES, R. J. Caracterização das condições climáticas de Cáceres/MT Brasil, no período de 1971 a 2009: subsídio às atividades

agropecuárias e turísticas municipais. *Boletim Goiano de Geografia*, v.31, n.2, p.55-68, 2011.

NICOLETTI, M. F.; BATISTA, J. L. F.; CARVALHO, S. P. C.; CASTRO, T. N.; HESS, A. F. Exatidão de dendrômetros ópticos para determinação do volume de árvores em pé. *Ciência Florestal*, v.25, n.2, p.395-404, 2015.

PASSOS, C. A. M.; BUFULIN JUNIOR, L.; GONÇALVES, M. R. Avaliação silvicultural de *Tectona grandis* L.f em Cáceres – MT. *Ciência Florestal*, v.16, n.2, p.225-232, 2006.

PEREZ, D. Growth and volume equations developed from stem analysis for *Tectona grandis* in Costa Rica. *Journal of Tropical Forest Science*. v.20, n.1, p.66-75, 2008.

PÉREZ, L. D.; KANNINEN, M. Provisional equations for estimating total and merchantable volume of *Tectona grandis* trees in Costa Rica. *Forests, Trees Livelihoods*, v. 13, n. 4, p. 345-359, 2003.

R CORE TEAM. *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria: 2015. Disponível em <<http://www.R-project.org/>>.

SCHRÖDER, T.; PEREIRA, L. D.; HOFIÇO, N. S. A. Comparação de métodos de estimativa de volume total para *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden. *Floresta e Ambiente*, v.20, n.4, p.480-486, 2013.

SCHUMACHER, F. X.; HALL, F. S. Logarithmic expression of timber-tree volume. *Journal of Agricultural Research*, v.47, n.9, p719-734, 1933.

SILVESTRE, R.; BONAZZA, M.; STANG, M.; LIMA, G. C. P.; KOEPESEL, D. A.; MARCO, F. T.; CIARNOSCHI, L. D.; SCARIOT, R.; MORÊS, D. F. Equações volumétricas em povoamentos de *Pinus taeda* L. no município de Lages-SC. *Nativa*, v.2, n.1, p.1-5, 2014.

SOARES, C. P. B.; NETO, F. de P.; SOUZA, A. L. de. *Dendrometria e Inventário Florestal*. 2.ed. Viçosa: Ed. UFV, 2011. 272p.

SOUZA, H. S.; CHAVES, A. G. S.; VENDRUSCOLO, D. G. S.; SILVA, R. S.; MOTTA, A. S. Processos de amostragem para estimativa de produção em plantio de teca. *Agrarian Academy*, v.2, n.3, p.81-89, 2015.

TONINI, H.; COSTA, M. C. G; SCHWENGBER, L. A. M. Crescimento da teca (*Tectona grandis*) em reflorestamento na Amazônia setentrional. *Pesquisa Florestal Brasileira*, v.59, n.5, p.5-14, 2009.

VENDRUSCOLO, D. G. S.; SILVA, R. S.; SOUZA, H. S.; CHAVES, A. G. S; MOTTA, A. S. Modelos volumétricos para teca em diferentes espaçamentos em Cáceres, Mato Grosso. *Enciclopédia Biosfera*, v.10, n.19, p.1333-1341, 2014.

Recebido em 16.11.2015

Aprovado após revisão em 10.05.2016