



UNIVERSIDADE ESTADUAL DO SUDOESTE DA BAHIA - UESB  
CURSO DE ENGENHARIA FLORESTAL

MAGNO PACHECO FRAGA

**ESTIMAÇÃO DE ALTURA E VOLUME DE *Pterogyne nittens* Tull EM PLANTIO  
PURO NO SUDOESTE DA BAHIA**

VITÓRIA DA CONQUISTA – BA

2012

MAGNO PACHECO FRAGA

ESTIMAÇÃO DE ALTURA E VOLUME DE *Pterogyne nittens* Tull EM PLANTIO PURO  
NO SUDOESTE DA BAHIA

Trabalho de Monografia apresentada ao Colegiado de Engenharia Florestal da Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Florestal.

Orientadora: Prof.<sup>a</sup> D.Sc. Patrícia Anjos Bittencourt Barreto

VITÓRIA DA CONQUISTA – BA

2012

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO SUDOESTE DA BAHIA  
CURSO DE ENGENHARIA FLORESTAL**

*Campus* de Vitória da Conquista - BA

**DECLARAÇÃO DE APROVAÇÃO**

Título: Estimação de altura e volume de *Pterogyne nittens* Tull em plantio puro no Sudoeste da Bahia

Autor: Magno Pacheco Fraga

Aprovada como parte das exigências para obtenção do título de BACHAREL EM ENGENHARIA FLORESTAL, pela Banca Examinadora:

---

Prof<sup>a</sup> D.Sc. Patrícia Anjos Bittencourt Barreto  
Presidente

---

Prof. D.Sc. Alessandro de Paula

---

Prof<sup>a</sup> Juliana Gomes Messias

Data da realização: 06 de setembro de 2012.

Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Estrada do Bem Querer, km 04, Vitória da Conquista – BA

Telefone: (77) 3424-8600

E-mail: magnofraga@hotmail.com

## AGRADECIMENTOS

Chegando ao fim de uma jornada em minha vida pelo qual algumas vezes pensei em desistir, mudar de planos... Felizmente continuei, buscando conquistar meus objetivos. Adquiri conhecimentos profissionais, fiz amigos, colegas...

É com enorme satisfação que venho agradecer a todos que fizeram parte desta realização. Primeiramente agradeço a Deus, minha força maior, Ele que nunca nos abandona. A toda minha família, especialmente meus pais, Sr Paulo “o cara” da minha vida e a mulher mais importante dela, Dona Iraci, estes que contribuíram nesta vitória em todos os aspectos de forma intensa, sem eles nada seria. Ao meu irmão Mariel por figurar como irmão mais velho que me inspirou a seguir caminhos semelhantes aos seus e à minha princesa, a 2ª mulher mais importante na minha vida, minha irmã Maíra, a vocês prometo o mais puro e eterno amor. Agradeço meus padrinhos Newzângela e Paulo, à minha namorada Hanna Magalhães, a todos os colegas de faculdade e aos amigos que lá cativei: Diego, Edmar, Juliana, Lucas, Mauricio, Marcos, Nayane, Theotonio, Taciana, Warlei, foram marcantes os momentos que vivemos. Agradeço ainda aos demais amigos que a vida me proporcionou, tenho a certeza da torcida de vocês pela minha vitória sempre. Aos meus professores, que participaram de forma direta nessa conquista, e a minha orientadora de monografia Patrícia Anjos Bittencourt Barreto, que nunca poupou esforços para me ajudar.

Todos vocês fazem parte dessa vitória...

*“A causa da derrota, não está nos obstáculos, ou no rigor das circunstâncias, está na falta de determinação e desistência da própria pessoa. Ninguém pode vencer por você, acredite, só você pode derrubar os obstáculos que surgem no seu caminho.”*

*(Buda/Fellippe Street)*

*A formatação do presente trabalho segue as normas textuais da Revista Caatinga.*

## ESTIMAÇÃO DE ALTURA E VOLUME DE *Pterogyne nittens* Tull EM PLANTIO PURO NO SUDOESTE DA BAHIA

MAGNO PACHECO FRAGA<sup>1</sup>, PATRÍCIA ANJOS BITTENCOURT BARRETO<sup>2\*</sup>

**RESUMO** – As variáveis volume e altura são fundamentais para o entendimento do potencial produtivo de um povoamento florestal. No entanto, estas variáveis não são facilmente mensuráveis, tornando-se necessário a obtenção de estimativas. Esse estudo teve como objetivo testar diferentes modelos hipsométricos e volumétricos e avaliar a eficiência de três métodos para estimar o volume de madeira em plantio puro de *Pterogyne nittens* Tull no município de Vitória da Conquista, BA. Foram abatidas e cubadas rigorosamente árvores para obtenção do volume individual. De posse dos dados da cubagem foram ajustados oito modelos hipsométricos e oito volumétricos. Os melhores modelos foram selecionados com base no critério de seleção do valor ponderado dos escores dos parâmetros estatísticos e distribuição de resíduos. Avaliou-se a obtenção de estimativas de volume obtido por meio de três métodos (fator de forma, quociente de forma e modelos ajustados) que foram comparados ao volume obtido na cubagem. O modelo hipsométrico de Prodan é o mais indicado para estimar a altura total da espécie *Pterogyne nittens* Tull. O modelo de Stoate apresenta melhor performance para estimar o volume total com casca da espécie. O modelo de Hohenald e Krenm também pode ser indicado para a espécie por não ocasionar estimativas tendenciosas do volume, com a vantagem de apresentar apenas o DAP como variável independente. Dentre os métodos utilizados para estimar o volume, o mais recomendado é o emprego de modelos volumétricos ajustados.

**Termos para indexação:** madeira nova, modelos hipsométricos, modelos volumétricos, fator de forma, quociente de forma

## ESTIMATION OF HEIGHT AND VOLUME OF *Pterogyne nittens* Tull IN PURE PLANTATION IN THE SOUTHWEST OF BAHIA

**ABSTRACT** – The variable volume and height are critical to understanding the potential yield of a forest stand. However, these variables are not easily measured, making it necessary to obtain estimates. This study aimed to test different models and volumetric hypsometric and evaluate the effectiveness of three methods to estimate the volume of timber pure planting *Pterogyne nittens* Tull in Vitória da Conquista, BA. Were slaughtered and rigorously scaled trees to obtain the individual volume. Armed with the cubage data were adjusted eight hypsometric and eight volumetric. The best models were selected based on the selection criterion of the value of the weighted scores of statistical parameters and distribution of waste. Was evaluated to obtain estimates of the volume obtained by three methods (shape factor, quotient and adjusted models) were compared to that obtained in volume scaling. The hypsometric model of Prodan is the most appropriate to estimate the total height of the species *Pterogyne nittens*. The Stoate model shows better performance to estimate the total volume of shelled species. The model Hohenald and Krenm may also be suitable for the species since no biased estimates of the volume, with the advantage of only the DAP as an independent variable. Among the methods used to estimate the volume, the most recommended is the use of adjusted volumetric models.

**Keywords:** madeira nova, hypsometric models, volumetric models, form factor, form quotient

---

\*Autor para correspondência.

<sup>1</sup> Graduando em Engenharia Florestal, Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia - UESB, Estrada do Bem Querer, km 4, Caixa Postal 95, CEP: 45.031-900 - Vitória da Conquista – Bahia; magnofraga@hotmail.com

<sup>2</sup> Professora do Departamento de Engenharia Agrícola e Solos, UESB; Estrada do Bem Querer, km 4, Caixa Postal 95, CEP: 45.031-900 - Vitória da Conquista – Bahia; patriciabarroto@uesb.edu.br

## INTRODUÇÃO

Em consequência da elevada demanda energética vegetal, na Bahia a lenha e o carvão ainda constituem os recursos florestais mais requeridos e utilizados, representando cerca de 30 % da energia primária da região (MMA, 2012). No Sudoeste do Estado da Bahia, apesar da maior parte desses produtos florestais serem oriundos de remanescentes de matas nativas, principalmente da caatinga, o progressivo aumento das áreas plantadas com espécies do gênero *Eucalyptus* vem contribuindo para o suprimento de produtos florestais.

A utilização de espécies florestais nativas em plantios homogêneos também pode representar uma importante alternativa para o fornecimento de produtos florestais. No entanto, como a escolha de espécies deve considerar não apenas a aptidão em relação ao sítio, mas também a sua produtividade (LAMPRECHT, 2000), as espécies nativas muitas vezes vêm deixando de ser utilizadas por não conseguirem despertar interesse equivalente, na maioria das vezes, pela inexistência de informações relativas a sua ecologia, silvicultura e biometria (TONINI et al., 2005). De fato, ainda hoje são escassos os estudos relacionados a povoamentos homogêneos dessas espécies, o que limita o entendimento do seu potencial produtivo e utilização adequada.

A estimativa do potencial disponível em um povoamento florestal é normalmente obtida com base no volume madeireiro, por meio de inventário florestal que utiliza o conhecimento de variáveis de uma amostra para inferir sobre os parâmetros da população (COUTO et al.1989; SOARES et al., 2006). Como o volume não é facilmente mensurável, vários métodos são utilizados para a sua estimativa. De acordo com Soares et al. (2006), os mais comumente utilizados são o fator de forma, o quociente de forma e modelos volumétricos ajustados a partir de dados de cubagem rigorosa. Nesses modelos, o volume, como variável dependente, está associado a variáveis independentes, como o diâmetro à altura do peito (DAP) e a altura (MACHADO et al., 2002). De acordo com Santana e Imaña-Encinas (2004), o emprego de modelos volumétricos constitui o procedimento mais eficiente para a quantificação da produção em volume de um povoamento florestal.

De forma semelhante ao volume, como a medição da altura das árvores é um processo exaustivo e sujeito a erros é comum o emprego de modelos hipsométricos para obtenção de

estimativas de alturas a partir de variáveis de fácil mensuração como o DAP (SCOLFORO, 1993).

Muitas equações matemáticas foram propostas e utilizadas para estimar a altura e o volume de árvores e, apesar da eficiência de alguns modelos, estes nem sempre se ajustam a todas as espécies e condições das populações florestais, sendo recomendável testá-los e, por meio de testes estatísticos, elege-se o modelo que melhor se adéqua a cada caso (COUTO & BASTOS, 1987). Assim, a seleção de equações é fundamental no trabalho do inventário florestal, já que qualquer erro de tendência na estimativa do volume por árvore terá reflexos na estimativa da população (CAMPOS et al., 1985).

No Brasil, existe um grande número de estudos analisando diferentes métodos de estimação do volume e equações hipsométricas para espécies exóticas, de rápido crescimento, principalmente para os gêneros *Eucalyptus* e *Pinus* em diferentes regiões do país. No entanto, ainda são restritos os estudos voltados para obtenção variáveis dendrométricas de espécies florestais nativas em plantios homogêneos, o que evidencia a importância de estudos relacionados ao tema.

Dentre as espécies nativas que apresentam potencial para utilização no Estado da Bahia, a madeira-nova (*Pterogyne nittens* Tull) destaca-se por ser adaptada as condições ambientais da região, possuir rápido crescimento e gerar madeira de valor econômico para diferentes finalidades (CARVALHO, 1994), além da facilidade de estabelecimento em solos pobres em nutrientes e matéria orgânica, como consequência da capacidade da espécie de fixar nitrogênio pela simbiose com bactérias diazotróficas e fungos micorrízicos (FRANCO et al., 1995).

Portanto, este trabalho teve como objetivos selecionar modelos hipsométricos e volumétricos e avaliar a eficiência de três diferentes métodos para estimar o volume de madeira (fator de forma, quociente de forma e emprego de equações volumétricas ajustadas) para a espécie *Pterogyne nittens* Tull. Em plantio puro, localizado em Vitória da Conquista, BA.

## **MATERIAL E MÉTODOS**

### **Localização e caracterização da área**

O estudo foi realizado em um povoamento puro de *Pterogyne nitens* Tull, com cerca de seis anos de idade, localizado no Campo Agropecuário da Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Vitória da Conquista, Bahia.



A região apresenta temperatura média anual de 21°C e precipitação variando entre 700 mm e 1100 mm anuais. O clima da região é o tropical de altitude (Cwb), segundo a classificação de Köppen, e o relevo é plano a levemente ondulado, com altitude em torno de 880 m. O solo pertence a classe Latossolo Amarelo Distrófico. A vegetação predominante é classificada como Floresta Estacional Semidecidual Montana, também denominada de “Mata de Cipó” (Novaes et al., 2008).

### **Inventário florestal expedito e distribuição diamétrica**

Com propósito de obter medidas de altura total (H) e diâmetro a altura do peito (DAP) de toda população e, com isso, conhecer as diferentes classes de diâmetro dessas variáveis, foi realizado um inventário 100% do povoamento. Em virtude de a espécie estudada possuir crescimento cespitoso, ou seja, uma mesma planta contém vários fustes, foi realizada a medição de todas as árvores e fustes originados de ramificações abaixo de 1,3 m de altura, que foram, então, considerados como árvores individuais.

As medidas de DAP foram agrupadas em classes de diâmetro com amplitude de 2,1 cm (valor equivalente ao desvio padrão das medidas obtidas) método estatístico proposto por Scolforo e Figueiredo (1998). (Tabela 1).

**Tabela 1.** Distribuição diamétrica dos fustes de árvores de madeira nova em povoamento puro no Sudoeste da Bahia

Classes de diâmetro (cm)	Centro de classe (cm)	Frequência	Número de fustes selecionados
1,0 - 3,09	2,0	92	14
3,1 - 5,19	4,2	306	16
5,2 - 7,29	6,3	181	16
7,3 - 9,39	8,4	62	15
9,4 - 11,49	10,5	19	15
11,5 - 13,60	12,6	5	5

### **Cubagem rigorosa**

Foram selecionadas e abatidas 30 árvores. A cubagem foi realizada através do método de Smalian, tomando-se cada um dos fustes originados abaixo de 1,3 m como uma árvore

individual. As árvores abatidas continham 1 a 3 fustes, distribuídos nas diferentes classes de diâmetro, conforme Tabela 1, totalizando um número de 81 fustes cubados.

Em cada um dos fustes, foram medidas as circunferências com casca nas posições 0,1 m, 0,3 m, 0,7 m, 1,3 m, 2 m e 2,8 m do nível do solo e a partir desse ponto as secções foram medidas de 1m em 1m. Após a medição da última seção de 1 metro, obteve-se também o comprimento da ponta.

As medidas de circunferências e alturas das árvores abatidas foram obtidas com auxílio de fita métrica e trena, respectivamente. Após a transformação das circunferências para diâmetros, foram calculados os volumes por seção. O volume total de cada árvore foi obtido pelo somatório do volume de todas as seções mais o volume da ponta.

### Modelos Hipsométricos

Para avaliar a estimativa da variável altura, foram testados oito modelos matemáticos encontrados na literatura, conforme a Tabela 2, a fim de identificar os mais adequados para a espécie e condição estudada.

**Tabela 2.** Modelos hipsométricos utilizados para estimar a altura total

Nº	Modelo	Autor
1	$Ht = \beta_0 + \beta_1 \cdot DAP + \varepsilon$	Linha reta
2	$Ht = \beta_0 + \beta_1 \cdot (DAP) + \beta_2 \cdot DAP^2 + \varepsilon$	Parabólico
3	$\ln(Ht) = \beta_0 + \beta_1 \left( \frac{1}{DAP} \right) + \varepsilon$	Curtis
4	$\ln(Ht) = \beta_0 + \beta_1 \cdot \ln(DAP) + \varepsilon$	Stofel
5	$Ht = B_0 + \beta_1 \cdot \ln(DAP) + \varepsilon$	Henriksen
6	$Ht = \frac{DAP^2}{\beta_0 + \beta_1 \cdot DAP + \beta_2 \cdot DAP^2} + \varepsilon$	Prodan
7	$\ln(Ht) = \beta_0 + \beta_1 \cdot \ln(DAP) + \beta_2 \left( \frac{1}{DAP} \right) + \varepsilon$	Silva (1980) [9]
8	$DAP / \sqrt{HT} = \beta_0 + \beta_1 \cdot (1/DAP) + \beta_2 \cdot DAP^2$	Azevedo et al (2011)

$\beta_i$  = coeficientes dos modelos; Ht = altura total (m); DAP = diâmetro à altura do peito (cm); Ln = Logaritmo neperiano.

### Métodos para predição do volume

Foram avaliados três métodos utilizados para estimativa do volume de madeira:

*Fator de Forma (f)* - obtido pela razão entre o volume real, adquirido a partir do método de Smalian, e o volume do cilindro com diâmetro na altura de 1,30 m (Soares et al., 2006).

*Quociente de Forma (Q)* - definido pela razão entre diâmetros. Foi utilizado o quociente de forma de Schiffel que é dado por:  $Q = \frac{D_{1/2H}}{DAP}$ , onde  $D_{1/2H}$  corresponde ao diâmetro medido na metade da altura total da árvore.

*Modelos Volumétricos* – as equações adotadas apresentam como variável dependente o volume (V) em função das variáveis independentes, altura total (Ht) e/ou do diâmetro a altura do peito (DAP). Foram testados oito modelos encontrados na literatura (Tabela 2), com o intuito de avaliar qual ou quais destes, são mais adequados para a espécie *Pterogyne nittens*.

Os volume individuais obtidos por meio do fator de forma e do quociente de forma, foram calculados com base na média aritmética dos valores individuais de *f* e *Q* dos fustes, a qual foi multiplicada pelo volume do cilindro.

**Tabela 3.** Modelos de relação volumétrica utilizados para estimar o volume de árvores individuais

Número	Modelo	Autor
1	$V = \beta_0 + \beta_1 \cdot DAP + \varepsilon$ $Ln(V) = \beta_0 + \beta_1 \cdot Ln(DAP) + \beta_2 \cdot Ln(Ht) + \varepsilon$	Equação da reta
2	$\varepsilon$	Schumacher e Hall (logaritimizado)
3	$Ln(V) = \beta_0 + \beta_1 \cdot Ln(DAP^2 \cdot Ht) + \varepsilon$	Spurr
4	$V = \beta_0 + \beta_1 \cdot DAP^2 + \varepsilon$	Koperzky e Gehrhardt
5	$V = \beta_0 + \beta_1 \cdot DAP + \beta_2 \cdot DAP^2 + \varepsilon$	Hohenald e Krenm
6	$V = \beta_0 + \beta_1 \cdot Ln(DAP) + \beta_2 \cdot Ln(Ht) + \varepsilon$	Schumacher e Hall modificado
7	$V = \beta_0 + \beta_1 DAP^2 + \beta_2 DAP^2 Ht + \beta_3 Ht + \varepsilon$	Stoate
8	$V = \beta_0 + \beta_1 \cdot DAP + \beta_2 Ht$	Schumacher e Hall

$\beta_i$  = coeficientes dos modelos; Ht = altura total (m); DAP = diâmetro com casca a altura do peito (cm); Ln = Logaritmo neperiano; e  $\varepsilon$  = erro aleatório.

### Seleção dos modelos matemáticos

Tanto para a altura quanto para o volume, a escolha do modelo de regressão mais adequado foi baseada nas seguintes estatísticas:

*Coefficiente de determinação (R<sup>2</sup>)* - expressa a quantidade da variação total explicada pela regressão. Os valores de *R<sup>2</sup>* foram ajustados conforme expressão (1), para que fosse possível

comparar os valores encontrados, já que os graus de liberdade da regressão diferem entre os modelos (Scolforo, 1993),

$$R_{aj}^2 = 1 - \left( \frac{n-1}{n-p} \right) * \left( \frac{SQ_{res}}{SQ_{tot}} \right) \quad (1)$$

Em que:  $R_{aj}^2$  = coeficiente de determinação ajustado;  $n$  = número de dados observados;  $p$  = número de coeficientes do modelo;  $SQ_{res}$  = soma dos quadrados do resíduo e  $SQ_{tot}$  = soma dos quadrados total para a variável de interesse.

*Erro-Padrão da Estimativa* - indica a precisão do ajuste de um modelo matemático, informando o quanto o modelo erra, em média, ao estimar a variável dependente (MACHADO et al., 2008). Foi obtido com a aplicação da fórmula (2). Nos modelos em que a variável dependente sofreu algum tipo de transformação logarítmica, o erro padrão foi corrigido na escala original, para possibilitar a comparação com os modelos aritméticos. Assim, multiplicou-se o volume estimado pelo fator de correção de Meyer (3), para então proceder o recálculo, utilizando a fórmula (4).

$$S_{yx} = \sqrt{QM_{res}} \quad (2)$$

Em que:  $S_{yx}$  = Erro-Padrão da Estimativa;  $QM_{res}$  = Quadrado Médio do resíduo, obtido na análise da variância.

$$Fator\ de\ Meyer = e^{0,5 \cdot S_{yx}^2} \quad (3)$$

Em que:  $e = 2,718281828$  e  $S_{yx}$  = erro padrão da estimativa ( $m^3$ ).

$$S_{yx\ recalc} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{(n-p)}}$$

(4)

Em que:  $S_{yx\ recalc}$  = erro padrão da estimativa recalculado;  $y_i$  = valor real de cada observação;  $\hat{y}_i$  = valor estimado de cada observação;  $n$  = número de dados;  $p$  = número de coeficientes de cada equação, incluindo  $\beta_0$ .

*Coefficiente de Variação (CV)* - possibilita a comparação de equações com variáveis dependentes de diferentes unidades. Esse coeficiente na forma percentual é obtido pela fórmula (5):

$$CV = \frac{S_{yx}}{\bar{Y}} * 100 \quad (5)$$

Em que: CV = Coeficiente de Variação em percentagem;  $S_{yx}$  = Erro-Padrão da Estimativa;  $\bar{y}$  = média aritmética da variável dependente. Dessa forma, quanto menor o valor do coeficiente de variação, melhor e mais precisa é a estimativa.

*Valor de F* - corresponde ao valor de F calculado na análise da variância e também foi utilizado como um dos parâmetros estatísticos na determinação do melhor modelo matemático. Quanto maior o valor de F, melhor o ajuste da equação.

*Valor Ponderado dos Escores dos Parâmetros Estatísticos (VP)* - considera todas as variáveis estatísticas anteriormente descritas, e por isso sintetiza os resultados, facilitando o processo de seleção do melhor modelo matemático. O Valor Ponderado foi determinado atribuindo-se valores ou pesos aos parâmetros estatísticos. As estatísticas foram ordenadas de acordo com a sua eficiência, sendo atribuído peso 1 para a equação mais eficiente, 2 para a segunda e assim sucessivamente (*ranking*), conforme metodologia descrita por Thiersch (1997). Após essa classificação individual, efetuou-se o somatório da pontuação para cada modelo matemático, sendo que a equação de volume que recebeu a menor soma foi recomendada como mais adequada para uso.

*Análise gráfica dos resíduos* – os modelos selecionados com base nos valores de VP foram analisados quanto a distribuição gráfica dos resíduos para avaliar a ocorrência de tendência nas estimativas da variável dependente.

### **Avaliação dos métodos para obtenção do volume**

A fim de verificar qual método apresentou maior eficiência na estimativa do volume total de cada árvore, tendo como referência o valor obtido pela cubagem rigorosa, foram comparados os resultados de volume total encontrados por meio do fator de forma, do quociente de forma e dos três modelos volumétricos selecionados em função do melhor desempenho.

Os resultados de volume obtidos foram analisados separadamente segundo um delineamento inteiramente casualizado com cinco tratamentos (cubagem rigorosa, fator de forma, quociente de forma, modelos de Koperzky e Gehhardt, Hohenald e Krenm e Schumacher e Hall logaritimidado) e 81 repetições. Adotou-se o teste F a 5%. De forma complementar, para comparação de médias, utilizou-se o teste de Tukey a 5% de significância. As análises foram realizadas empregando-se o programa de análises estatísticas SAEG® v.9.1.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Modelos hipsométricos

Os coeficientes e parâmetros estatísticos provenientes do ajuste dos oito modelos hipsométricos testados para a estimativa da variável altura total (Ht) estão apresentados na Tabela 4. Os valores de  $R^2_{aj}$  demonstram desempenhos variados dos modelos testados para a estimativa da altura total. Os melhores resultados foram verificados nos modelos 6 (93,07%) e 8 (90,27%), enquanto os demais modelos apresentaram  $R^2_{aj}$  variando entre 11,82 e 54,55%. O baixo desempenho da maior parte dos modelos pode ser atribuído à baixa correlação da variável dependente (altura) com a independente (diâmetro) (SCOLFORO, 1998), possivelmente intensificada pela grande heterogeneidade do povoamento estudado, que foi estabelecido em diferentes espaçamentos e sem ocorrência de tratos silviculturais, como desrama e desbaste. Tonini et al. (2008) encontraram valores entre 54 e 70%, para populações nativas de *Bertholletia excelsa* Bonpl.

**Tabela 4.** Coeficientes e parâmetros estatísticos obtidos no ajuste dos modelos hipsométricos para povoamento de *Pterogyne nittens* Tull, com seis anos de idade, no município de Vitória da Conquista, Bahia.

Modelo	$\beta_0$	$\beta_1$	$\beta_2$	$R^2_{aj}$ %	$S_{y.x}$	CV %	F	VP
1	3,738023	0,503268		11,82	3,9174	0,56	11,59	31
2	0,008445	1,95478	-0,1118	15,22	3,8411	0,55	8,09	29
3	2,38507	-2,70396		54,55	0,3208	0,17	95,82	11
4	0,748197	0,620387		50,88	0,3334	0,18	82,86	18
5	1,626953	3,092214		15,58	3,8330	0,54	15,58	24
6	0,253113	0,407182	0,078541	93,07	1,1717	0,17	531,72	9
7	2,40337	-0,00709	-2,73287	53,96	0,3228	0,17	47,30	16
8	1,982736	-1,78484	0,016761	90,27	0,2813	0,11	367,47	6

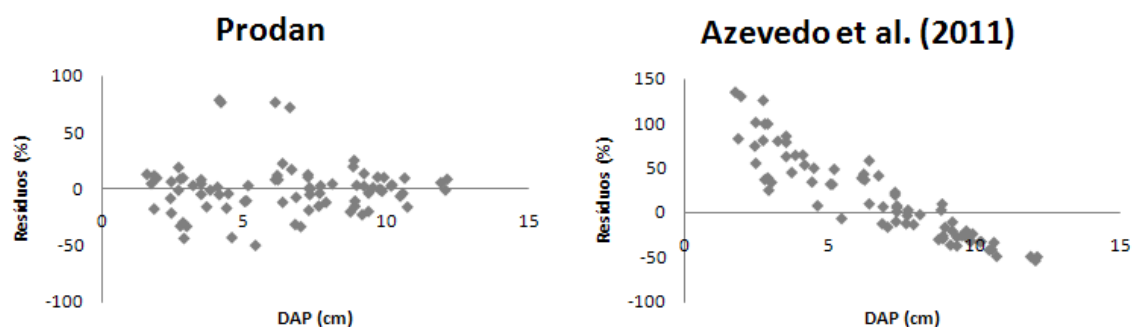
$\beta_i$  = coeficientes dos modelos;  $R^2$  = coeficiente de determinação ajustado;  $S_{y.x}$  = erro-padrão da estimativa; CV = coeficiente de variação; F = valor de F de análise de variância; VP = valor ponderado dos escores.

Para os valores de erro padrão da estimativa (Syx), o modelo 8 foi o que propiciou melhor ajuste, apresentando o menor valor para este parâmetro (0,2813).

O menor CV% também foi observado no modelo 8 (0,11%), seguido do modelo 6 (0,17%). Os valores de F calculado também indicam melhor ajuste dos modelos 6 e 8, que apresentaram valores superiores aos demais modelos.

Dessa forma, de acordo com o valor ponderado dos escores estatísticos (VP), os modelos 8 (Prodan) e 6 (Azevedo et al., 2011) são os mais satisfatórios para estimar a altura da madeira nova nas condições analisadas no presente trabalho, pois apresentaram menores valores para esse critério (VP = 6 e VP = 9, respectivamente). Este resultado está associado aos baixos valores de Syx e CV%, além dos altos valores de  $R^2_{aj}$  e F observados para esses modelos. Tonini et al. (2005) também observaram melhor desempenho do modelo de Prodan para estimar a altura da Castanheira-do-Brasil (*Bertholletia excelsa* Bonpl). Por outro lado, Bartoszeck, et al. (2002), analisando modelos hipsométricos para a Bracatinga (*Mimosa Scabrella* Benth), e Machado et al. (2008), para o pinheiro-do-paraná (*Araucaria angustifolia*), verificaram maior eficiência do modelo de Curtis (Modelo 3), que não apresentou desempenho satisfatório para a espécie estudada neste trabalho.

A distribuição gráfica dos resíduos entre a altura observada e a altura estimada, em função do DAP, demonstra comportamentos distintos dos modelos selecionados (Figura 1).



**Figura 1** - Distribuição dos resíduos dos modelos hipsométricos selecionados para plantio puro de *Pterogyne nittens*, Vitória da Conquista, Bahia.

Os valores residuais do modelo de Prodan apresentaram-se melhor distribuídos, sem tendências nítidas e com menor amplitude de variação, em relação ao modelo de Azevedo et al.(2011), que apresentou maior dispersão dos resíduos, verificando-se tendência de superestimar a altura das árvores com menores diâmetros (abaixo de 5 cm) e de subestimar altura das árvores com maiores diâmetros (acima de 10 cm). Assim, o modelo de Prodan apresenta maior precisão para estimar a altura em função do diâmetro, sendo o mesmo recomendado para povoamentos de *Pterogyne nittens* com idade de seis anos na região Sudoeste da Bahia.

### Estimativas de volume

Os resultados dos ajustes das equações de volume total com casca, partindo de dados de cubagem rigorosa, estão apresentados na Tabela 5. Os valores observados para o parâmetro  $R^2_{aj}$  revelam que quatro dos modelos testados (2, 4, 5 e 7) apresentaram bom desempenho estatístico, variando de 90,2 a 91,0%, o que demonstra melhor ajuste de descrição da variável dependente (volume) pelas variáveis independentes (DAP ou DAP e Ht).

**Tabela 5.** Coeficientes e parâmetros estatísticos obtidos no ajuste dos modelos volumétricos para povoamento de *Pterogynes nitens*, com 6 anos de idade, no município de Vitória da Conquista, região Sudoeste do Estado da Bahia.

Modelo	$\beta_0$	$\beta_1$	$\beta_2$	$\beta_3$	$R^2_{aj}$ %	$S_{y,x}$	CV %	F	VP
				—		0,005			
1	-0,00948	0,00410	—	—	85,73	0	29,88	481,97	21
				—		0,004			
2	-7,59897	1,74593	0,04255	—	90,20	1	0,09	369,17	15
				—		0,006			
3	-7,87645	0,63741	—	—	85,62	0	0,13	477,50	19
				—		0,004			
4	0,00057	0,00032	—	—	90,82	0	23,96	793,06	10
				—		0,004			
5	0,00172	-0,00042	0,00036	—	90,74	0	24,07	393,17	16
				—		0,006			
6	-0,01706	0,02288	-0,00312	—	73,63	8	0,40	112,72	25
				—		0,004			
7	0,00057	0,00032	3,44E-09	1,42E-06	90,96	0	23,78	269,54	12
				—		0,004			
8	-0,00962	0,00426	-0,00014	—	86,45	9	29,12	256,24	26



$\beta_i$  = coeficientes dos modelos;  $R^2$  = coeficiente de determinação ajustado;  $S_{yx}$  = erro-padrão da estimativa; CV = coeficiente de variação; F = valor de F de análise de variância; VP = valor ponderado dos escores.

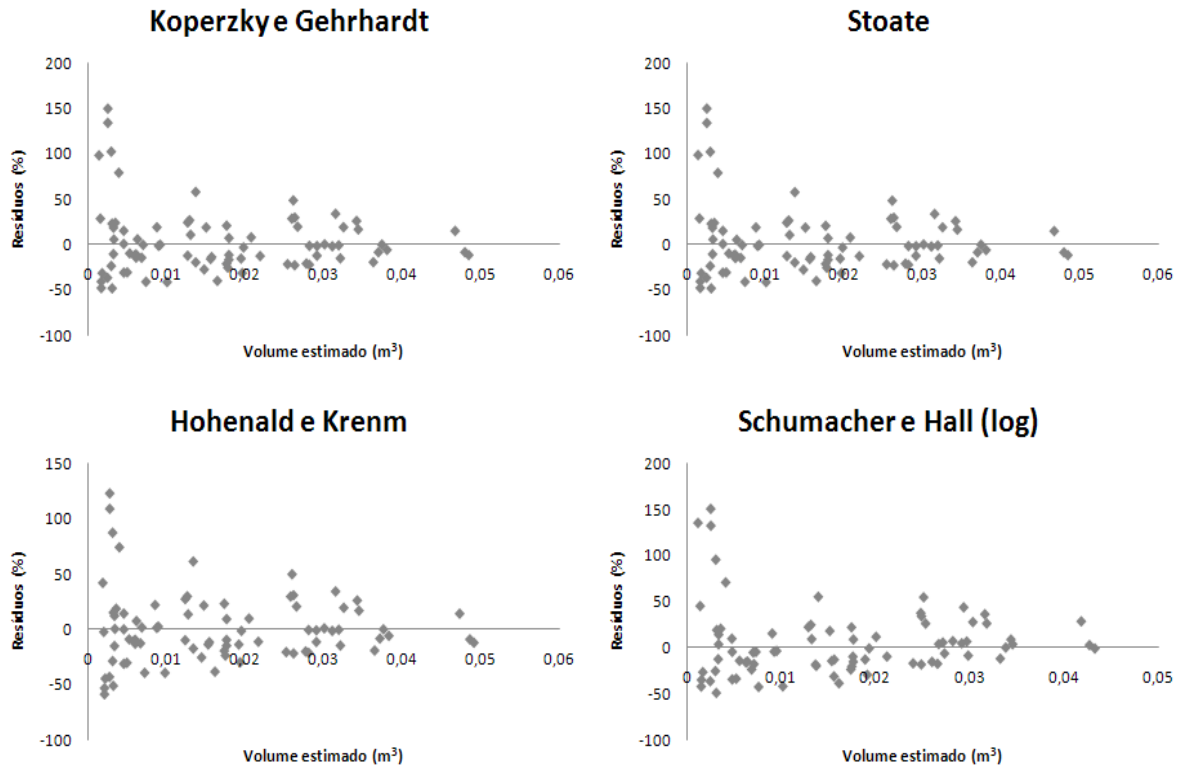
Dentre os modelos testados, os menores valores de CV% foram verificados nos modelos 2, 3 e 6 (0,09; 0,13 e 0,4%, respectivamente), o que representa baixa variabilidade dos dados estimados a partir desses modelos e demonstra boa capacidade para extrapolação dos resultados. Os demais modelos apresentaram resultados variando de 23,8% (Modelo 7) a 29,9% (Modelo 1).

Com relação ao  $S_{yx}$ , os modelos testados apresentaram valores de 0,004 (Modelos 2, 4, 5 e 7), 0,005 (Modelos 1 e 8), 0,006 (Modelo 3) e 0,007 (Modelo 6), sugerindo menor eficiência destes últimos modelos.

De acordo com os valores de F, destacaram-se os modelos 4 (793,0), 1 (482,0) e 3 (477,5). No entanto, considerando os valores ponderados dos escores estatísticos (VP), os melhores resultados foram observados no modelo 4 (Koperzky e Gehrhardt), seguido pelos modelos 7 (Stoate), 5 (Hohenald e Krenm) e 2 (Schumacher e Hall logaritimizado).

Como a determinação da altura das árvores é uma operação onerosa e sujeita a erros (Couto & Bastos, 1987), o melhor desempenho do Modelo 4 (Koperzky e Gehrhardt), identificado pelo menor valor de VP, pode constituir um aspecto positivo para futuras estimativas de volume da espécie estudada, uma vez que esse modelo estima o volume em função de apenas uma variável independente (DAP), o que na prática representará redução de tempo e custos nas operações de inventário florestal.

A distribuição gráfica dos resíduos, em função do volume total estimado, dos quatro modelos selecionados com base nos valores de VP está apresentada na Figura 2.



**Figura 2** - Distribuição dos resíduos em função do volume total estimado para os modelos selecionados para plantio de *Pterogyne nittens*, com aproximadamente 5 anos de idade no Município de Vitória da Conquista, BA.

A dispersão dos resíduos apresentaram grande semelhança entre os modelos de Koperzky e Gehrhardt, Hohenald e Krenm e de Schumacher e Hall (logaritimizado), verificando-se uma pequena diferenciação destes em relação do modelo de Stoate, que apresentou distribuição mais uniforme dos resíduos em relação a média, sugerindo maior precisão desse na estimativa do volume.

### Comparação de métodos para estimativa do volume total

Os valores médios de fator de forma ( $f$ ) e quociente de forma ( $Q$ ) das árvores de madeira nova foram de 0,6 e 0,66, respectivamente. Tonini et al.(2005), estudando métodos de estimativa de volume de espécies nativas, encontraram fatores de forma de 0,5 para as espécies Andiroba (*Carapa guianensis* Aubl) e Castanha-do-Brasil (*Bertholletia excelsa* Bonpl) e de 0,4 para Ipê roxo (*Tabebuia avellanadae* Lorentz ex Griseb) e jatobá (*Hymenaea courbaril* L.).

A Tabela 6 apresenta os valores médios do volume real e dos volumes estimados através de fator de forma médio, quociente de forma médio e dos modelos ajustados que apresentaram menores VP (Koperzky e Gehrhardt, Hohenald e Krenm e Stoate).

**Tabela 6.** Estimativas de volume de árvores de *Pterogyne nitens* Tull. em plantio puro, obtidas por meio de cubagem rigorosa, fator de forma, quociente de forma e modelos volumétricos.

V(CR)	V(f)	V(Q)	V (Mod. 4)	V (Mod. 5)	V (Mod. 7)
0,0169 b	0,0230 a	0,0212 a	0,0167 b	0,0169 b	0,0169 b

V(CR)= volume médio da cubagem rigorosa; V(f)= volume médio estimado em função do fator de forma; V(Q)= volume médio estimado em função do quociente de forma; V (Mod.4)= volume médio estimado em função do modelo ajustado de Koperzky e Gehrhardt; V (Mod.5)= volume médio estimado em função do modelo ajustado de Hohenald e Krenm V (Mod.7)= volume médio estimado em função do modelo de Stoate; Médias seguidas pela mesma letra na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância.

Os volumes estimados por meio do fator de forma e quociente de forma apresentaram valores estatisticamente iguais entre si e superiores ao volume obtido com a cubagem, demonstrando tendência, tanto do fator quanto do quociente de forma, de superestimar o volume. Por outro lado, o volume estimado pelas equações ajustadas não apresentaram diferenças significativas em relação ao volume da cubagem, evidenciando a maior eficiência dos modelos como método para estimação do volume da espécie estudada. Júnior et al., (2010), estudando volumetria da Catingueira (*Poincianella bracteosa* Tul L.P.Queiroz) observou tendências a superestimação do volume dos fustes de menor diâmetro pelo de Schumacher-Hall (Modelo 8). Tonini et al. (2005) verificou maior precisão do modelo de Stoate como método de estimativa de volume do Jatobá (*Hymenaea courbaril* L).

## CONCLUSÃO

1. O modelo hipsométrico de Prodan é o mais indicado para estimar a altura total da espécie *Pterogyne nittens* nas condições estudadas.
2. O modelo de Stoate apresenta melhor performance para estimar o volume total com casca da espécie;

3. O modelo volumétrico de Hohenald e Krenm também pode ser indicado para a espécie por não ocasionar estimativas tendenciosas volume, com a vantagem de apresentar apenas o DAP como variável independente;
4. Dentre os métodos utilizados para estimar o volume, o mais recomendado é o emprego de modelos volumétricos ajustados.

## REFERÊNCIAS

- AZEVEDO, G. B.; SOUSA, G. T. O. SILVA, H. F. BARRETO, P. A. B. NOVAES, A. B. Selecao de modelos hipsometricos para quatro espécies florestais nativas em plantio misto no planalto da conquista na Bahia. **Enciclopédia Biosfera**, Centro Cientifico Conhecer-Goiania, vol.7, N.12; 2011.
- BARTOSZECK, A. C. P. S.; MACHADO, S.A.. FILHO, A. F. OLIVEIRA, E. B. Modelagem da relação hipsométrica para Bracatingais da região metropolitana de Curitiba- PR. **Revista Floresta**, 32 (2) 189-204, 2002.
- 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**, n.65, p.162-175, 2004.

BOECHAT, S. CARLOS, P. BOLZAN, M. F.; URIAS, L. J. H. FERNANDES, S.G; MOREIRA, F. LÍVIA, T. Equações hipsométricas, volumétricas e de taper para onze espécies nativas. **Revista Árvore**, v.35, n.5, p.1039-1051, 2011.

CAMPOS, J. C. C.; TREVIZOL JÚNIOR, T. L.; PAULA NETO, F. Ainda, sobre a seleção de equações de volume. **Revista Árvore**, v.9, n.2, p.115-126, 1985.

CARVALHO, P. E. R. **Espécies florestais brasileiras: recomendações silviculturais, potencialidades e uso da madeira**. Colombo, Paraná, EMBRAPA/CNPQ, 1994. 640 p.

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**, Piracicaba, SP, n. 37.p. 33-34, dez. 1987

FRANCO, A. A., DIAS, L.E. FARIA, S.M. CAMPELLO, E.F.C. SILVA, E.M.R. Uso de leguminosas florestais noduladas e micorrizadas como agentes de recuperação e manutenção da vida no solo: um modelo tecnológico. **Oecologia Brasiliensis**, v.1, p.459-467, 1995.

JÚNIOR, I.J.H.M; FERREIRA, R.L.C. JÚNIOR, F.T.A, FERRAZ, J.S.F. CÉSPEDES, G.H.G. Biomassa verde e volumetria da catingueira (*Poincianella bracteosa* (Tul.) L.p. Queiroz) em uma área de caatinga, Floresta-PE. In: X jornada de ensino, pesquisa e extensão – JEPEX 2010. Anais... UFRPE: Recife, 18 a 22 de outubro.

LAMPRECHT, H. **Silvicultura nos trópicos: ecossistemas florestais e respectivas espécies arbóreas – possibilidades e métodos de aproveitamento sustentado**. Dt.Ges.für Techn.Zusammenarbeit, Rossdorf, República Federal da Alemanha. 343 p.

LORENZI, H. **Árvores brasileiras: manual de cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil**. Nova Odessa: Plantarum, v.1, 1998.

MACHADO, S.A; NASCIMENTO, R.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**, Colombo, n.56, p.5-16, jan./jun. 2008.

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*. **Revista Ciências Exatas e Naturais**, Curitiba, v. 4, n. 2, p. 185-196, 2002.

Ministério do Meio Ambiente - MMA. **Manejo para produção de lenha**. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/informma/item/8513-manejo-para-produ%C3%A7%C3%A3o-de-lenha>>. Acessado em 24 ago. 2012.

SANTANA, O. A.; ENCINAS, J. I. Equações volumétricas para uma plantação de *Eucalyptus urophylla* destinada a produção de lenha. **In:** Simpósio Latino-Americano sobre manejo florestal, 3. **Anais...** Santa Maria: UFSM/PPGEF, p. 107-111, 2004.

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

SCOLFORO, J. R. S. **Modelagem do crescimento e da produção de florestas plantadas e nativas.** LAVRAS: UFLA/FAEPE, 1998. v. 1. 443 p.

SCOLFORO, J. R. S. e FIGUEIREDO FILHO, A. **Biometria Florestal: medição e volumetria de árvores.** Lavras: UFLA/FAEPE, 1998. 310p.: il.

SOARES, C. P. B.; NETO, F. P.; SOUZA, A. L. **Dendrometria e inventário florestal.** Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 2006. 276p.

THIERSCH, A. **A eficiência das distribuições diamétricas para prognose da produção de *Eucalyptus camaldulensis*.** Lavras, 1997. 155f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 1997.

TONINI, H.; ARCO-VERDE, M. F.; SÁ, S. P. P. Dendrometria de espécies nativas em plantios homogêneos no Estado de Roraima - Andiroba (*Carapa guianensis* Aubl), Castanha-do-Brasil (*Bertholletia excelsa* Bonpl.), Ipê-roxo (*Tabebuia avellanedae* Lorentz ex Griseb) e Jatobá (*Hymenaea courbaril* L.). **Acta Amazonica**, v. 35(3): 353 – 362, 2005

TONINI, H.; COSTA, P. KAMINSKI, P. E. Estrutura e produção de duas populações nativas de Castanheira-do-Brasil (*Bertholletia excelsa* O. Berg) em Roraima. **Floresta**, v.38,n.3, 2008.