

ACURÁCIA DO MÉTODO DE PRESSLER E FATOR DE FORMA NA ESTIMAÇÃO DO VOLUME DE ÁRVORES DE *TECTONA GRANDIS* L. f.

Gilson Fernandes da SILVA¹
Onair Mendes de OLIVEIRA¹
Adriano Ribeiro de MENDONÇA¹
Clayton Vieira FRAGA FILHO¹

- RESUMO: O objetivo deste trabalho foi verificar a acurácia do método de Pressler e o uso do fator de forma na estimação do volume de árvores individuais de teca (*Tectona grandis* L. f.), cubadas por meio do uso do relascópio de Bitterlich. A base de dados para o presente trabalho foi composta de 45 árvores-amostra cubadas em pé pelo seccionamento absoluto do tronco e também pelo método de Pressler. Após a amostragem foram realizadas comparações pelo teste Leite e Oliveira entre o volume obtido com a cubagem tradicional e o volume obtido pelo método de Pressler e fator de forma. As análises indicaram que o método de Pressler fornece estimativas de volume mais próximas das obtidas com a cubagem tradicional, entretanto ligeiramente tendenciosas. Em seguida, foi ajustado o modelo volumétrico de Schumacher-Hall para comparar os métodos de Pressler e cubagem tradicional. O modelo ajustado, a partir do volume obtido por cada método, foi submetido ao teste de identidade de modelos. Os resultados do teste *F* mostraram que existe identidade entre os parâmetros estimados no modelo. Assim, pode-se afirmar que o modelo de Schumacher-Hall pode ser ajustado a partir dos dados de volume obtidos pelo método de Pressler.
- PALAVRAS-CHAVE: Cubagem; volumetria; relascópio de Bitterlich.

1 Introdução

No setor florestal, o investimento em florestas plantadas é uma alternativa que traz diversos benefícios socioeconômicos e também ambientais servindo como principal responsável por agregar valor às matérias primas de base florestal (SANTOS, 2011).

A correta estimação do volume produzido de madeira é ferramenta essencial para o correto manejo e planejamento da produção em povoamentos florestais. De acordo com Souza *et al.* (2008), para que seja possível a obtenção de multiprodutos diversificados e com qualidade, além de um planejamento minucioso, são necessárias também informações precisas da produção florestal em termos de volume comercial e total.

Justificando este pensamento, Silva (2007) afirma ser muito importante um diagnóstico completo e preciso da produção florestal, que é obtido por meio de técnicas adequadas de inventário e manejo. Desta forma, fica evidente que o conhecimento do

¹ Universidade Federal do Espírito Santo, Centro de Ciências Agrárias e Engenharias, Departamento de Ciências Florestais e da Madeira, CEP: 29550-000, Jerônimo Monteiro, ES, Brasil. E-mail: gilson.silva@pq.cnpq.br; onair.oliveira@gmail.com; adriano.mendonca@ufes.br; claytonfraga@gmail.com

estoque florestal se torna uma ferramenta importante, não somente para expressar o crescimento das árvores, mas também para que seja elaborado com maior eficiência o planejamento das atividades do setor a curto, médio e longo prazo (SOARES *et al.*, 2007).

O volume sólido de uma árvore pode ser determinado de diversas formas, dentre elas: por meio do uso de fatores de forma, analiticamente, por meio de cubagem rigorosa; pelo deslocamento de água (método do xilômetro), a partir do peso da árvore (MACHADO e NALDONY, 1991), por meio do ajuste de modelos de regressão (MURTA JÚNIOR *et al.*, 2015; SILVA *et al.*, 2011) e redes neurais artificiais (BINOTI *et al.*, 2014).

Segundo Drescher *et al.*, (2010), o uso do fator de forma constitui uma importante alternativa prática na estimação do volume individual de árvores. O fator de forma pode ser definido com a razão entre o volume total (ou comercial) do fuste e o volume de um cilindro com diâmetro a 1,30 da árvore (*dap*) e a altura total desta (CAMPOS e LEITE, 2013). De acordo com Prodan *et al.* (1997), o fator de forma para uma mesma espécie varia em função de fatores associados ao povoamento, tais como: qualidade do sítio, idade e densidade de plantio.

Apesar da praticidade do método do fator de forma, na maioria das vezes, a determinação deste volume é realizada a partir de dados oriundos de cubagem rigorosa, devido principalmente à sua precisão e acurácia. Entretanto, alguns esforços têm sido realizados no sentido de suprimir os procedimentos de cubagem que são, em geral, onerosos em termos de recursos e tempo. Desta forma é interessante a procura de alternativas que visem à redução no tempo e dificuldade de execução desta atividade sem que seja prejudicada a sua acurácia.

Uma das grandes dificuldades em se aplicar os métodos tradicionais de cubagem é a necessidade em se derrubar as árvores. Além de tornar o trabalho mais oneroso e caro e pode exigir algum tipo de restrição legal, no caso de espécies nativas. Além disso, em regiões em que se trabalha com fomento florestal, não é tarefa fácil convencer o pequeno produtor a derrubar árvores para ajustar equações de volume tendo-se como fonte de dados a cubagem rigorosa. Assim, métodos que permitem a cubagem de árvores em pé, desde que não exijam grandes esforços, como a escalada das mesmas, passam a ser uma alternativa importante.

Existem na literatura alguns métodos para estimar o volume de árvores individuais em pé, podendo-se citar: o método de Pressler, o método do quociente de forma, o método do quociente de Girard e ainda, o método da altura relativa ou método geométrico (ANDRADE *et al.*, 2006).

Segundo Machado e Figueiredo Filho (2009), o cálculo do volume pelo método de Pressler parte do pressuposto de que a forma dendrométrica principal da árvore amostrada seja um conóide. No entanto, para Loetsch (1973), este método também fornece volumes com acurácia para árvores com formas dendrométricas paraboloides com boa aproximação para neilóides. No caso específico de formas neilóides, de acordo com Gomes (1957), *apud* Machado e Figueiredo Filho (2009), os erros quando se aplica este método são insignificantes. Uma possível desvantagem deste método seria a dificuldade de visualização da copa. Porém, para Bitterlich (1970), *apud* Loetsch (1973), este problema pode ser resolvido facilmente pela mudança do ponto de observação com o relascópio.

Tendo em vista o exposto, o objetivo deste estudo foi verificar a acurácia do método de Pressler e o uso do fator de forma na estimação do volume de árvores individuais de teca (*Tectona grandis* L. f.).

2 Material e métodos

2.1 Caracterização do local

A pesquisa foi desenvolvida em um plantio puro de teca (*Tectona grandis* L. f.), com idade de sete anos e densidade de 1667 árvores ha⁻¹ (espaçamento de 3 x 2 metros), localizado no município de Cachoeiro de Itapemirim, Espírito Santo. A altitude da área da pesquisa é de 120 m e o clima segundo a classificação de Köppen é do tipo Cwa, que se caracteriza pelo inverno seco e verão chuvoso.

2.2 Descrição do método de Pressler

O método de Pressler é utilizado para obter o volume de árvores individuais ainda em pé, baseado na medida de um diâmetro superior e sua altura associada. Este método, de acordo com o citado em Loetsch *et al.* (1973), se baseia na chamada altura ou ponto de Pressler, que é aquela altura onde o diâmetro do tronco é igual à metade de um diâmetro da base referência, normalmente o *dap*. Ainda, de acordo com este autor, a chamada “altura de Pressler” é um bom indicador da forma e conseqüentemente do volume da árvore. Assim, de acordo com este princípio, os volumes de paraboloides e cones podem ser estimados por meio da seguinte expressão:

$$Y_p = \frac{2}{3}gh + gm = \frac{2}{3}g\left(h + \frac{3}{2}m\right) \quad (1)$$

em que: Y_p = volume da árvore obtido pela fórmula de Pressler (m³); g = área basal (m²) obtida a partir do diâmetro a 1,30 metros do nível do solo (*dap*); h = altura de Pressler, isto é, distância entre a altura do *dap* e o ponto em que o diâmetro é igual à metade do *dap*(m); m = distância entre o nível do solo e o *dap*(m).

2.3 Levantamento de dados

Foram selecionadas, aleatoriamente, 45 árvores-amostra dentro do plantio de teca, distribuídas em oito diferentes classes de diâmetro (Tabela 1). Após a marcação das árvores escolhidas, foi mensurado o *dap* com o auxílio de uma suta.

Tabela 1 - Distribuição de frequência em diâmetro e altura total das árvores-amostra de *Tectonagrandis*

Centro de Classe de Dap (cm)	Centro de Classe de altura total (m)						TOTAL
	8	10	12	14	16	18	
10	1		1				2
12		2	2	4			8
14				2	1		3
16			1	3	2	1	7
18				1	8		9
20					4	4	8
22					1	4	5
24						3	3
TOTAL	1	2	4	10	16	12	45

Com o intuito de verificar a acurácia do método de Pressler, as árvores-amostra foram cubadas de duas formas diferentes: empregando-se o método tradicional de Smalian e empregando-se o método de Pressler. Para aplicar o método de Smalian, admitindo que as árvores-amostra estavam em pé, foram feitas medidas dos diâmetros com a suta começando pelo diâmetro da base e em intervalos de um metro ao longo da altura da árvore até um diâmetro mínimo de cinco centímetros. Para se medir os diâmetros mais altos, empregaram-se técnicas de escalada. Para o cálculo do volume foi empregada a fórmula de Smalian.

Para aplicar o método de Pressler, a medição mais difícil a ser feita é a altura de Pressler (h), tal como apresentado na expressão (1). Para se realizar esta medição, o primeiro passo é localizar, empregando-se um relascópio, no caso deste trabalho, o diâmetro correspondente à metade do dap . Para o uso do relascópio, a distância horizontal entre o mensurador e a árvore foi constante e igual a 15 metros. Uma vez identificada esta variável ($dap/2$), o passo seguinte é medir a altura em que ela ocorre. No caso deste trabalho, foi empregada uma régua telescópica de 15 metros, uma vez que a amplitude de variação das alturas que compuseram a amostra permitiu a utilização desse aparelho, além do que, por ser este um método direto de medição, as alturas medidas são mais confiáveis. Em povoamentos com árvores mais altas, como são os casos de plantios de eucalipto, a régua telescópica pode ser substituída por hipsômetros baseados em princípios trigonométricos.

Para obtenção dos volumes a partir do fator de forma, primeiramente foi calculado o fator de forma artificial ($f_{1,3h}$) para cada árvore. De acordo com Prodan (1997), este fator é calculado da seguinte forma:

$$f_{1,3h} = \frac{\text{Volume rigoroso}}{\text{Volume do cilindro}} \quad (2)$$

em que: *volume rigoroso* = volume do fuste pela cubagem rigorosa (m³); *volume do cilindro*(m³)= $g \times ht$ (g = área basal, em m²; ht = altura total, em m).

Após esta etapa, foi obtido um fator de forma artificial médio para as 45 árvores-amostra. O volume individual das árvores-amostra foi obtido, também, a partir deste fator de forma médio.

2.4 Análises estatísticas

A partir dos dados coletados pelos dois métodos de cubagem descritos, as análises foram divididas em três etapas. Na primeira etapa, foi realizada uma análise gráfica com o intuito de verificar a distribuição das diferenças percentuais referentes à obtenção do volume das árvores-amostra com o uso do método de Pressler e do fator de forma. Neste caso, os gráficos para esta avaliação tiveram como variável independente o volume estimado pelos métodos avaliados (Pressler ou fator de forma) e como variável dependente a diferença percentual referente à estimativa do volume pelo método de Pressler ou fator de forma.

$$E(\%) = \left(\frac{Y_c - Y_i}{Y_c} \right) 100 \quad (3)$$

em que: $E(\%)$ = erro percentual; Y_c = volume obtido a partir do método de cubagem tradicional (m³); Y_i = volume (m³) obtido a partir do método sendo $i = 1$, método de Pressler e $i = 2$, fator de forma.

Na etapa dois, com o intuito de complementar as análises propostas foram calculadas as estatísticas viés (V), média das diferenças absolutas (MD) e desvio-padrão das diferenças (DPD). As estatísticas citadas podem ser calculadas pelas seguintes expressões:

$$V = \frac{\sum_{i=1}^n Y_c - \sum_{i=1}^n Y_i}{n} \quad V(\%) = 100 \frac{V}{\bar{Y}} \quad (4)$$

$$MD = \frac{\sum_{i=1}^n |Y_c - Y_i|}{n} \quad MD(\%) = 100 \frac{MD}{\bar{Y}} \quad (5)$$

$$DPD = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n d_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n d_i \right)^2 / n}{n - p}} \quad DPD(\%) = 100 \frac{DPD}{\bar{Y}} \quad (6)$$

em que: n = número de observações; p = número de parâmetros e $d_i = (Y_c - Y_i)$.

A partir deste cálculo foi possível ordenar o desempenho dos diferentes métodos testados. Para tanto, foram atribuídos pesos (notas) variando de um a três, de acordo com o seu desempenho na estatística avaliada. O método que apresentar a menor soma de pesos será considerado de melhor desempenho. Este procedimento de análise trata de uma estatística descritiva empregada por diversos autores (LIMA, 1986; MENDONÇA *et al.*, 2007; SOUZA *et al.*, 2008) em situações semelhantes.

Na terceira etapa, os volumes estimados pelo método de Pressler e pelo método tradicional foram empregados no ajuste do modelo volumétrico de Schumacher-Hall.

$$V = \beta_0 dap^{\beta_1} Ht^{\beta_2} \varepsilon \quad (7)$$

em que: V = volume total da árvore (m^3); dap = diâmetro a 1,3 m do solo (cm); Ht = altura total da árvore; ε = erro estocástico.

Com a finalidade de estabelecer comparações entre os modelos volumétricos ajustados para cada situação e ainda validar a sua utilização na verificação da acurácia do método de Pressler, foram utilizadas as seguintes medidas de precisão: coeficiente de determinação ajustado (R_{aj}^2); erro padrão absoluto (S_{yx}), em metros cúbicos; erro padrão relativo ($S_{yx\%}$) e análise gráfica dos resíduos.

O R_{aj}^2 foi calculado conforme proposto por Kvalseth (1985):

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2}{\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2}; R_{aj}^2 = 1 - a (1 - R^2)$$

em que: R^2 = coeficiente de determinação; R_{aj}^2 = coeficiente de determinação ajustado; Y_i = i -ésimo valor observado para a variável dependente Y ; \hat{Y}_i = i -ésimo valor estimado para a variável dependente Y ; \bar{Y} = média dos valores observados para a variável dependente Y ; n = número de observações; p = número de parâmetros do modelo; $a = \frac{n-1}{n-p-1}$, se o modelo inclui o intercepto e $a = \frac{n}{n-p}$, se o modelo não inclui o intercepto.

O modelo ajustado teve suas medidas de precisão comparadas, sendo em seguida submetidos a um teste de identidade de modelos com o objetivo de verificar se as fontes de dados relativas à cubagem rigorosa tradicional e cubagem feita pelo método de Pressler conduziram a equações estatisticamente semelhantes.

Os testes de identidade de modelos são necessários para que se possa inferir a respeito da possibilidade de utilização dos modelos ajustadas a partir do método de Pressler na estimação de volume total. Após o ajuste dos modelos, foi calculado também a estatística t para os estimadores dos parâmetros das equações ajustadas, sendo rejeitados os coeficientes quando $p > 0,05$.

O modelo volumétrico utilizado neste estudo foi ajustado a partir de dados de volume oriundos de dois métodos diferentes, desta forma é necessário verificar a semelhança das estimativas obtidas por cada método. Sendo assim, foi aplicado um teste de identidade de modelos no sentido de se verificar igualdade estatística dos parâmetros estimados para as equações obtidas a partir da cubagem tradicional e método de Pressler.

A igualdade estatística dos coeficientes das equações de volume obtidas nas situações avaliadas foi verificada a partir do teste de hipótese:

H_0 : Os parâmetros ajustados para os modelos são idênticos

H_a : Pelo menos um dos parâmetros ajustados para os modelos difere dos demais.

A não rejeição de H_0 indica que o modelo ajustado a partir dos dados de cubagem tradicional é idêntico ao ajustado a partir do método de Pressler. Neste caso foi utilizado o teste F para identidade de modelos, o qual a estatística é:

$$F(H_0) = \frac{(SQR_w - SQR_\Omega)/(p_\Omega - p_w)}{(SQR_\Omega)/(N - p_\Omega)} \quad (8)$$

em que: SQR_w = soma de quadrados do resíduo para o modelo reduzido; SQR_Ω = soma de quadrados do resíduo para o modelo completo; p = número de parâmetros do modelo; N = número total de dados do modelo completo.

Entretanto, de acordo com Souza (1998) a razão entre os quadrados médios deste teste não possui uma distribuição F exata, assim em modelos não lineares como no caso do modelo de Schumacher-Hall, esta análise é apenas aproximada. Maiores esclarecimentos a respeito do teste para identidade de modelos podem ser vistos em Regazzi e Silva (2004, 2010).

Finalmente surge a necessidade da realização de uma análise de resíduos, que permita a visualização dos erros referentes às estimativas de volume por meio da equação de Schumacher-Hall. Neste sentido os resíduos foram analisados de três formas distintas conforme as expressões a seguir:

$$E(\%)_1 = \left(\frac{Y_c - \hat{Y}_1}{Y_c} \right) 100; E(\%)_2 = \left(\frac{Y_p - \hat{Y}_2}{Y_p} \right) 100; E(\%)_3 = \left(\frac{Y_c - \hat{Y}_2}{Y_c} \right) 100$$

em que: $E(\%)_n$ = erro relativo, em que $n = 1, 2, 3$; \hat{Y}_1 = volume obtido pela equação estimada a partir da cubagem tradicional (Smalian); \hat{Y}_2 = volume obtido pela equação estimada a partir do volume de Pressler. Y_p = volume da árvore obtido pela fórmula de Pressler.

3 Resultados e discussão

Neste estudo, o valor médio encontrado para o fator de forma foi de 0,74. Figueiredo *et al.* (2005) encontrou valores de fator de forma médio de 0,61 para árvores até quatro anos; de 0,52 para árvores entre cinco e sete anos; e de 0,48 para árvores entre oito e, aproximadamente, 9 anos e 6 meses. Já Drescher *et al.* (2010), estudando a variação do fator de forma em povoamentos jovens de teca (entre dois e 10 anos) no Mato Grosso, observou que árvores com *dap* maior que 6 cm apresentaram fator de forma variando entre 0,4038 e 0,6443. Esta diferença era esperada, pois vários fatores relativos à árvore e ao povoamento podem afetar os valores desta medida, incluindo a idade, classe de diâmetro e posição sociológica.

3.1 Avaliação dos métodos de Pressler e fator de forma

Na Figura 1 estão os gráficos referentes aos erros percentuais ($E\%$) para os volumes estimados para os dois métodos testados. Esta análise sugere que os dois métodos proporcionam estimativas de volume com certa tendência, embora em diferentes intervalos. Assim, para a base de dados em questão, o método de Pressler, de forma geral, tende a superestimar o volume das árvores, enquanto que para o fator de forma ocorre uma subestimação do volume nas menores árvores (abaixo de 14 cm de *dap*).

Estes resultados são condizentes com os encontrados por Silva (1978), que ao avaliar a eficiência do método de Pressler em plantios de *Pinus taeda* L. na região sul do país, verificou que este possui tendência em superestimar os volumes por árvore individual. Entretanto, Boeni et. al. (2010) constataram que este método apresentava tendência em subestimar o volume em *Eucalyptus grandis* para todas as classes de diâmetro estudadas quando comparada com a cubagem pelo método de Smalian.

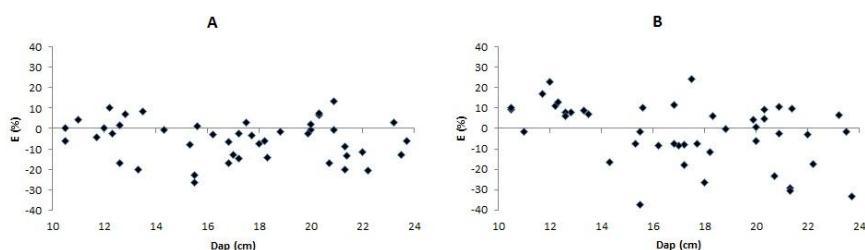


Figura 1 - Erro percentual ($E\%$) para o volume estimado pelo método de Pressler (A) e Fator de Forma (B) para a espécie *Tectona grandis*.

Na Tabela 1 estão as estatísticas viés (V), média das diferenças absolutas (MD) e desvio-padrão das diferenças (DPD) e as notas atribuídas, para as estimativas do volume de *Tectona grandis* pelos diferentes métodos testados.

Tabela 2 - Estatísticas: viés ($V\%$), média das diferenças absolutas (MD) e desvio padrão das diferenças (DPD) e as notas atribuídas (entre parênteses), para as estimativas do volume de *Tectona grandis* pelos diferentes métodos testados

Método	$V\%$	$MD\%$	$DPD\%$	Total
Pressler	-5,72 (2)	8,41 (1)	6,62 (1)	4
Fator de forma	-4,47 (1)	12,21 (2)	13,86 (2)	5

Após análise dos resultados da Tabela 1, verifica-se, quando comparado com o fator de forma, o método de Pressler mostrou-se mais exato, com valores residuais mais próximos de zero e resíduos mais homogêneos, de acordo com as estatísticas MD e DPD , respectivamente, porém mais viesado (maior $V\%$) o que de certa forma corrobora os resultados observados na Figura 1.

Quando se analisa apenas o $V\%$, nota-se que ele é relativamente reduzido e muito próximo entre os dois métodos. Por outro lado, quando se analisa a exatidão das

estimativas (*MD* e *DPD*), a diferença entre o método de Pressler e o fator de forma fica mais evidente.

3.2 Avaliação do ajuste do modelo volumétrico

O coeficiente de determinação ajustado (R^2_{aj}), erro padrão da estimativa (S_{yx}), erro padrão relativo ($S_{yx\%}$) calculados em função da cubagem por Smalian, assim como os parâmetros estimados para as equações são apresentados na Tabela 2, para cada método estudado.

Tabela 3 - Estimativa dos parâmetros para o modelo de Schumacher-Hall e medidas de acurácia calculadas para os diferentes métodos testados na estimação do volume de *Tectona grandis*

Método	β_0	β_1	β_2	R^2_{aj}	$S_{v,x}(m^3)$	$S_{yx\%}$
Cubagem	0,000258	1,983007	0,3071	96,72	0,01240	8,56
Pressler	0,000226	1,993344	0,3822	94,61	0,01585	10,98
Fator de Forma	-	-	-	-	0,02679	18,56

A análise dos resultados da Tabela 3 mostra que as equações ajustadas para o modelo testado apresentaram coeficiente de determinação ajustado semelhantes e acima de 90% e também um erro-padrão das estimativas satisfatório, o que é esperado quando se trabalha com modelos volumétricos de dupla entrada, como é o caso de Schumacher-Hall.

Neste sentido, os valores S_{yx} e $S_{yx\%}$, indicam que o ajuste deste modelo volumétrico a partir dos dados de volume de Pressler, fornece estimativas de volume com medidas de precisão próximas aos da cubagem com a suta. Esta informação é válida, pois para todos os métodos neste estudo, o quadrado médio do resíduo associado a estas medidas foi obtido a partir do volume da cubagem com a suta. Verifica-se que o erro na estimação do volume associado ao Fator de Forma é superior aos demais, o que reforça os resultados anteriormente encontrados.

3.3 Teste de identidade de modelos e análise gráfica dos resíduos

O teste de identidade de modelos utilizado neste estudo comparou se os parâmetros estimados para o modelo ajustado a partir do método tradicional de cubagem são estatisticamente iguais ao ajustado a partir do método de Pressler. Os resultados mostraram que a hipótese H_0 não foi rejeitada ($p>0,05$). Desta forma, as duas equações não diferem estatisticamente.

Entretanto, a partir da análise gráfica dos resíduos (Figura 2C) detecta-se um comportamento diferente dos mesmos, pois o valor observado de referência não é o mesmo. A Figura 2A, como esperado, evidencia que as estimativas obtidas com o modelo de Schumacher-Hall a partir do método da cubagem foram precisas e livres de tendências.

Comparando os resíduos das Figuras 2B e 2C, percebe-se uma diferença notável na eficiência do método de Pressler. Na Figura 2B os resíduos foram obtidos a partir do volume observado de Pressler, desta forma seus valores se apresentaram livres de

tendência e com magnitudes relativamente baixas. Este resultado é esperado, pois como demonstrado pelos valores de R^2_{aj} existe uma alta correlação entre os valores de *dap* e *ht* com o volume de Pressler.

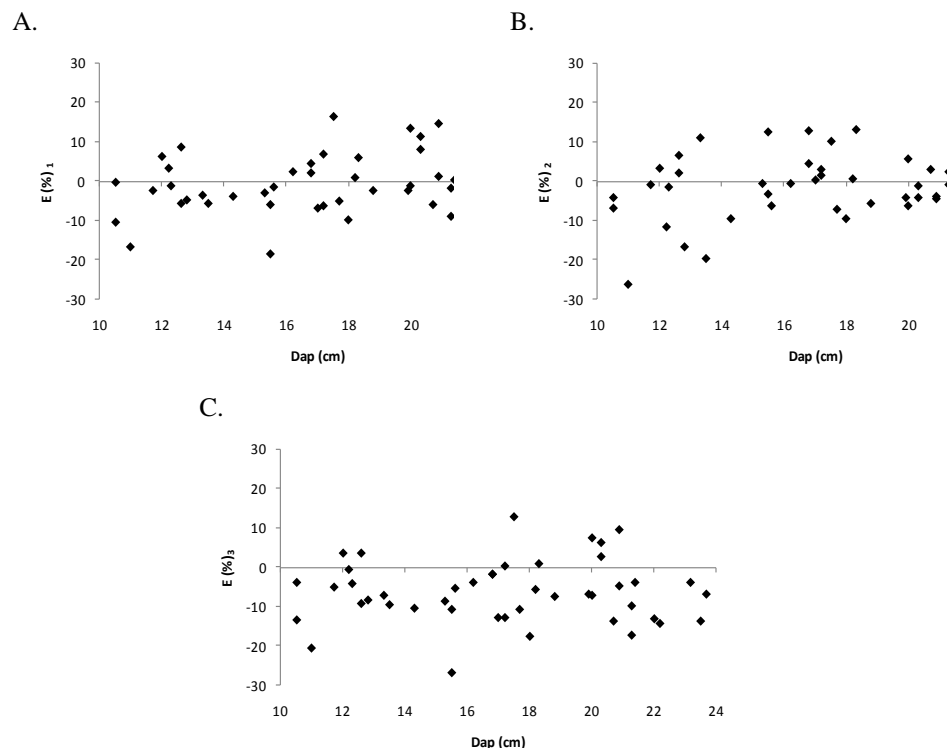


Figura 2- Distribuição dos resíduos percentuais das estimativas de volume de *Tectona grandis* para o modelo de: Schumacher-Hall sendo: (A) resíduo da cubagem a partir do volume observado da cubagem $E(\%)_1$; (B) resíduo de Pressler a partir do volume observado de Pressler $E(\%)_2$; (C) resíduo de Pressler a partir do volume observado na cubagem $E(\%)_3$.

A Figura 2C evidencia que as estimativas de volume obtidas pelo modelo testado foram subestimadas quando comparados com os valores da cubagem tradicional. Este resultado é coerente com o encontrado na Figura 1A, ou seja, há grande semelhança da distribuição dos resíduos quando se compara as Figuras 1A e 2C. De certo modo este resultado é esperado uma vez a equação ajustada para os dados oriundos do método de Pressler apenas reproduz a tendência contida naqueles dados.

De forma geral, pode-se avaliar que o uso de Fator de Forma mostrou ser a alternativa menos recomendável, o método de Pressler mostrou ser uma alternativa intermediária, principalmente pela presença de viés, e o método de cubagem tradicional ainda se mostra aquele que apresenta os melhores resultados. Admitindo que a quantidade de informação produzida, isto é, o tamanho e a representatividade da amostra, são muito

importantes para se obter resultados mais fidedignos, os resultados encontrados estão de acordo com o que se esperava, isto é, no método de cubagem tradicional o esforço de amostragem é bem maior o que leva a resultados melhores, o contrário acontecendo com os demais métodos avaliados. Por outro lado, a busca por reduzir o esforço de amostragem com conseqüente redução de custos e também como uma alternativa operacional, especialmente para o pequeno produtor florestal, ainda continua sendo um relevante tema de pesquisa. Embora o método de Pressler tenha apresentado alguma deficiência, especialmente no que diz respeito ao viés, é possível que o mesmo seja adaptado, acrescentando alguma variável adicional em seu cálculo que não onere o seu desempenho e que possa reduzir o problema detectado nesse trabalho de modo a viabilizar o seu uso prático.

Conclusões

A partir dos resultados obtidos, podem-se chegar as seguintes conclusões:

- O Fator de Forma mostrou ser o método menos recomendado, em termos de precisão e exatidão, para estimar o volume de árvores em pé.
- O Método de Pressler, em termos de precisão e exatidão, se apresenta como uma alternativa intermediária entre o Fator de Forma e os métodos tradicionais de cubagem.
- Por último, quando se compara o Método de Pressler com o método tradicional de cubagem nota-se um viés, mesmo que reduzido, que se propaga para a equação de volume.

SILVA, G. F.; OLIVEIRA, O. M.; MENDONÇA, A. R. Accuracy of Pressler's method and form factor in estimating the volume of *Tectona grandis* L. f. trees. *Rev. Bras. Biom.*, Lavras, v.35, n.2, p.213-225, 2017.

- **ABSTRACT:** *The aim of this paper was to verify the accuracy of Pressler's method in the estimation of the individual volume of teak trees (Tectona grandis L. f.), scaled by using the Bitterlich's relaskop. The database for this study consisted of 45 sample trees standing scaled by absolute isolation of the trunk and also by the Pressler's method. After sampling, comparison tests were made by using the Leite and Oliveira's test between the volume obtained with the traditional cube and the volume obtained by both the Pressler's and Form Factor methods. The analyzes indicated that the method provides estimates of the volume by Pressler's method closer to that obtained with traditional scaling, however slightly biased. Then, the Schumacher-Hall volumetric model was fitted to compare methods of scaling by Pressler and traditional. The fitted model, from the volume obtained by each method, was submitted to the model identity test. The results of the F test showed that there is identity among the parameters estimated in the model. Thus, one can say that the Schumacher-Hall model can be fitted from the volume data obtained by Pressler's method.*
- **KEYWORDS:** *Cubing; volumetry; Bitterlich's relaskop.*

Referências

- ANDRADE, V. C. L.; LEITE, H. G. Um método para condução de inventários florestais sem o uso de equações volumétricas. *Ciência Florestal*, Santa Maria, v.16, n.3, p.303-317, 2006.
- BINOTI, M. L. M. S.; BINOTI, D. H. B.; LEITE, H. G.; GARCIA, S. L. R.; FERREIRA, M. Z.; RODE, R.; SILVA, A. A. da S. Redes neurais artificiais para estimação do volume de árvores. *Revista Árvore*, Viçosa, v.38, n.2, p.283-288, 2014.
- BOENI, A. F. B.; FINGER, C. A. G.; FINGER, A. P. Acurácia na estimativa do volume de árvores individuais de *Eucalyptus grandis* (Hill.) ex.Maiden pelo método de Pressler e Smalian. In: JORNADA ACADÊMICA INTEGRADA, 25, 2010, Santa Maria, RS. *Anais...* Santa Maria, RS: UFSM, 2010, p. 73.
- CAMPOS, J. C. C.; LEITE, H. G. *Mensuração florestal: perguntas e respostas*. 4ed. Viçosa: UFV, 2013. 605 p.
- DRESCHER, R.; PELISSARI, A. L.; GAVA, F. H. Fator de forma artificial para povoamentos de *Tectona grandis* em Mato Grosso. *Pesquisa Florestal Brasileira*, Colombo, v.30, n.63, p.191-197, 2010.
- FIGUEIREDO, E. O.; SCOLFORO, J. R. S.; OLIVEIRA, A. D. *Estimativa do percentual de casca e do fator de forma em povoamentos jovens de teca (Tectona grandis L.f.)*. EMBRAPA-CPAFAC, n.165, 5p. 2005. (Comunicado Técnico).
- GUIMARÃES, D. P. *Novos métodos para estimativa do volume de árvores em pé*. EMBRAPA-CPAC, n.12, 16p. 1982. (Boletim Técnico).
- GRAYBILL, F. A. *Theory and application of the linear model*. Massachusetts: Ouxburg Press, 1976. 704 p.
- KVALSETH, T. O. Cautionary notes about R². *The American Statistician*, v.39, n.4, p. 279–285, 1985.
- LIMA, F. *Análise de funções de taper destinadas à avaliação de multiprodutos de árvores de Pinus elliottii*. 1986. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.
- LOETSCH, F.; ZÖHRER, F.; HALLER, K. E. *Forest inventory*. Munich: Verlagsgesellschaft, 1973. 469p.
- MACHADO, S. A.; FIGUEIREDO FILHO, A. *Dendrometria*. Curitiba: UFPR, 2003. 309 p.
- MACHADO, S. A.; NADOLNY, M. C. Comparação de métodos de cubagem rigorosa e de diversos comprimentos de seção. In: CONGRESSO FLORESTAL E DO MEIO AMBIENTE DO PARANÁ, 3., 1991, Curitiba. *Anais...* Curitiba: SBS-SBEF, 1991. 376p.
- MENDONÇA, A. R.; SILVA, G. F.; OLIVEIRA, J. T. S.; NOGUEIRA, G. S.; ASSIS, A. L. Avaliação de funções de afilamento visando a otimização de fustes de *Eucalyptus* sp. para multiprodutos. *Cerne*, Lavras, v.13, n.1, p.71-82, 2007.
- MURTA JÚNIOR, L. S.; OLIVEIRA, M. L. R.; NOGUEIRA, G. S.; LEITE, H. G.; CASTRO, R. V. O.; ABRAHÃO, C. P. Avaliação do método da similaridade de perfis na

estimação do volume de árvores. *Scientia Forestalis*, Piracicaba, v.43, n.106, p.435-444, 2015.

PRODAN, M.; PETERS, R.; COX, F.; REAL, P. *Mensura forestal*. San José, Costa Rica: IICA, 1997. 586p.

REGAZZI, A. J.; SILVA, C. H. O. Teste para verificar a igualdade de parâmetros e a identidade de modelos de regressão não-linear. I. dados no delineamento inteiramente casualizado. *Revista de Matemática e Estatística*, São Paulo, v.22, n.3, p.33-45, 2004.

REGAZZI, A. J.; SILVA, C. H. O. Teste 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-MG, v.57, n.3, p.315-320, mai/jun, 2010.

SILVA, G. F.; XAVIER, A. C.; RODRIGUES, F. L.; PETERNELLI, L. A. Análise da influência de diferentes tamanhos e composições de amostras no ajuste de uma relação hipsométrica para *Eucalyptus grandis*. *Revista Árvore*, Viçosa-MG, v.31, n.4, p.685-694, 2007.

SILVA, J. A. Estimativa dos erros sistemáticos na cubagem de troncos pelo método de Hohenadl e Pressler. *Floresta*, Curitiba, v.9, n.1, p.8-13, 1978.

SANTOS, R. B. N. Eficiência técnica na indústria de base florestal brasileira via metas intermediárias. *Revista Árvore*, Viçosa-MG, v.35, n.6, p.1319-1326, 2011.

SILVA, F. DALLA CORTE, A. P.; SANQUETA, C. R. Equações de afilamento para descrever o volume total do fuste de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* na região do Triângulo Mineiro. *Scientia Forestalis*, Piracicaba, v.39, n.91, p.367-376, 2011.

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

SOARES, T. S.; GARCIA, H. G.; VALE, A. B.; SOARES, C. P. B.; SILVA, G. F. Avaliação de um modelo de passo invariante na predição da estrutura de um povoamento de *Eucalyptus* sp. *Revista Árvore*, Viçosa-MG, v.31, n.2, p.275-283, 2007.

SOUZA, C. A. M.; SILVA, G. F.; XAVIER, A. C.; CHICHORRO, J. F.; SOARES, C. P. B.; SOUZA, A. L. Avaliação de modelos de afilamento segmentados na estimação da altura e volume comercial de fustes de *Eucalyptus* sp. *Revista Árvore*, Viçosa-MG, v.32, n.3, p.453-463, 2008.

SOUZA, C. A. M. de; SILVA, G. F.; XAVIER, A. C.; MENDONÇA, A. R.; ALMEIDA, A. Q. Avaliação de modelos de afilamento não-segmentados na estimação da altura e volume comercial de *Eucalyptus* sp.. *Ciência Florestal*, Santa Maria, v.18, n.3, p. 393-405, 2008.

SOUZA, G. S. *Introdução aos modelos de regressão linear e não-linear*. Brasília: Serviço de Produção de Informação, 505p. 1998.

Recebido em 15.12.2015

Aprovado após revisão em 01.08.2016