



## ESTIMATIVA DA MASSA ESPECÍFICA PONDERADA DE *Eucalyptus saligna* POR MEIO DE VARIÁVEIS DE FÁCIL OBTENÇÃO

Rafael da Rosa Azambuja<sup>1</sup>, Elio José Santini<sup>2</sup>, Joel Telles de Souza<sup>3</sup>, Ângela Maria Klein Hentz<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Eng. Florestal. Mestrando do PPG em Engenharia Florestal – UFPR – Curitiba – PR - Brasil - rafael.r.azambuja@gmail.com

<sup>2</sup> Eng. Florestal, Dr., Professor Associado, Depto. de Ciências Florestais – Centro de Ciências Rurais -UFSM – Santa Maria – RS - Brasil

<sup>3</sup> Eng. Florestal. Doutorando do PPG em Engenharia Florestal – UFSM – Santa Maria – RS - Brasil.

Recebido em: 12/04/2014 – Aprovado em: 27/05/2014 – Publicado em: 01/07/2014

### RESUMO

Neste trabalho objetivou-se ajustar modelos matemáticos para a estimativa da massa específica básica ponderada (Mebp) de indivíduos arbóreos de *Eucalyptus saligna* Sm. a partir de variáveis de fácil mensuração como DAP (diâmetro a altura do peito), altura comercial e massa específica na altura do DAP. Foram testadas 12 equações, a partir dos seguintes parâmetros: coeficiente de determinação ( $R^2$ ), coeficiente de determinação ajustado ( $R^2_{aj}$ ), erro padrão da estimativa em percentual ( $S_{yx}\%$ ), além de análise gráfica dos resíduos. Depois de ajustadas as equações obtiveram-se os coeficientes e os resultados dos parâmetros estatísticos, os quais deram suporte para a escolha da Equação 7 (que utiliza como variáveis independentes a massa específica no DAP e a área basal) como a de melhor ajuste. Também se mostraram superiores as Equações 8, 9 e 10, as quais todas utilizaram a massa específica da madeira no DAP como variável independente além da área basal ou altura. Pela análise dos resíduos não se observou nenhuma tendenciosidade que tornasse o uso das equações impróprio. Dessa forma, observou-se que o uso de equações para estimar Mebp é possível, visto que as equações testadas obtiveram aceitáveis valores de  $R^2_{aj}$  e de erro padrão da estimativa.

**PALAVRAS-CHAVE:** ajuste de equações, densidade básica da madeira, modelos matemáticos, regressão linear.

### ESTIMATION OF DENSITY WEIGHTED OF *Eucalyptus saligna* Sm. FROM VARIABLES EASY TO OBTAIN

#### ABSTRACT

This research had the objective of to fit mathematical models to estimate the specific gravity weighted (Mebp) of individual trees of *Eucalyptus saligna* Sm. from easily measurable variables such as DBH (diameter at breast height), commercial height and density at the height of the DAP. In this work 12 equations were tested, the following parameters to evaluate this equations were: coefficient of determination ( $R^2$ ); adjusted coefficient of determination ( $R^2_{aj}$ ); Standard Error of Estimate in percentage ( $S_{yx}\%$ ); and graphical analysis of the residuals. After adjusting the mathematical models, coefficients were obtained and the results of the statistical

parameters, which provided support for the choice of equation 7 (using independent variables as the specific gravity in DBH and the basal area) as better fit. The parameters also showed superior equations such as 8, 9 and which all use the density of wood in DBH as an independent variable in addition to the basal area or height. The analysis of residues showed none reason to make not the use of this equations. In conclusion, it was observed that the use of equations to estimate Mebp is possible, as the tested equations obtained  $R^2$  acceptable values and estimation of error were low.

**KEYWORDS:** mathematical models; adjustment of equations; linear regression; specific mass.

## INTRODUÇÃO

A massa específica da madeira é a propriedade com maior correlação com as propriedades físicas e tecnológicas da madeira, visto que na prática ela serve como referência para a classificação de qualidade da madeira (MORESCHI, 2010). Apresenta-se como uma variável da qual dependem a maioria das propriedades da madeira (MATTOS et al., 2011). Da mesma forma, SHEIKH et al. (2011) mencionaram que a massa específica apresenta informações sobre o histórico de vida de árvore, além de ser a variável mais importante na estimativa estoques de biomassa e carbono abaixo e acima do solo em florestas.

Dentre as propriedades influenciadas pela massa específica, citam-se a higroscopicidade, a contração e o inchamento, as propriedades mecânicas, térmicas, acústicas, elétricas além de outras propriedades básicas, bem como as propriedades relacionadas ao processamento industrial da madeira (CASTELO, 2007).

Deve-se considerar, porém que a massa específica básica (Meb) pode ser influenciada por diversos fatores, como: anatomia do lenho, com diferentes tipos, forma, estrutura e organização das células que o compõe, implicando em diferenças entre cerne e alburno, lenho juvenil e adulto e lenho inicial e tardio dentro do anel de crescimento (VALE et al., 2009). Bem como a quantidade de substâncias extrativas presentes por unidade de volume (TREVISAN et al., 2012). A idade, a taxa de crescimento das árvores, o clima, os tratamentos silviculturais, o sítio, o lugar de amostragem no tronco, seja entre espécies, dentro da mesma espécie, em uma mesma árvore, no sentido longitudinal e radial da madeira também são fatores a serem considerados (ALZATE et al., 2005). Desta forma essa é uma propriedade que sempre deve ser determinada, devido a sua grande variabilidade mesmo dentro de uma mesma espécie.

Devido às variações da massa específica dentro das árvores, preferencialmente trabalha-se com a massa específica básica ponderada (Mebp – também encontrada como densidade básica). Essa variável é mensurada utilizando a massa específica básica de diferentes alturas e ponderando os seus valores pelos volumes da árvore como um todo. Partindo do princípio que cada secção da tora representa uma massa específica básica, a média da árvore será uma ponderação de cada secção relacionada com a tora inteira.

A determinação da massa específica ponderada é feita normalmente considerando diferentes alturas, de 5 à 6 posições, sendo 2 alturas absolutas, na base (0,1m) e na posição do DAP (1,3m). As outras alturas costumam variar entre medidas iguais em metros ou em uma porcentagem da altura total de corte. HILLIG et al. (2012), por exemplo, citaram as posições de 25%, 50%, 75% e 95% da altura de corte para determinar essa propriedade. Assim, é necessário fazer a secção da

árvore em no mínimo 5 pontos diferentes, gerando assim uma elevada mão de obra para a determinação dessa propriedade.

Desta forma, buscam-se formas alternativas à determinação de  $M_{eb}$  e  $M_{ebp}$ , sendo encontrados na literatura diversos métodos, como a utilização de ondas de tensão (CASTELO, 2007), estereoscopia (HEIN et al. 2009), resistência a perfuração por broca (GOUVÊA et al., 2011), além da utilização de equações estimativas (MATTOS, et al., 2011; ALZATE et al., 2005; VALE et al., 2009; EISFELD et al., 2009; TREVISAN et al., 2012).

Para ajustes de equações estimativas, pode-se utilizar um grande número de variáveis independentes, a partir das quais é modelada a variável dependente, que no caso de massa específica será  $M_{eb}$  ou  $M_{ebp}$ . Ainda, preferencialmente utilizam-se variáveis independentes de fácil obtenção a campo, de forma que a utilização da equação permita uma redução no trabalho. Normalmente, consideram-se variáveis de fácil obtenção o diâmetro a altura do peito – DAP (ROMAN et al., 2009) e a altura total (BALBINOT et al., 2009).

Portanto o objetivo deste trabalho foi ajustar modelos a fim de encontrar uma equação que melhor estime a massa específica básica ponderada da madeira de *Eucalyptus saligna* Sm., com a utilização de variáveis de fácil obtenção.

## MATERIAL E MÉTODOS

### MATERIAL DE ESTUDO

A madeira utilizada no presente trabalho foi proveniente da espécie *Eucalyptus saligna* Sm., com 16 anos de idade, da empresa FLOSUL. A empresa está situada no município de Capivari do Sul, que se classifica no clima Cfa, segundo a classificação climática de Köppen-Geiger, ou seja, temperado úmido com verão quente.

Escolheram-se 20 árvores dentro do povoamento de forma homogênea e representativa, as quais foram mensuradas quanto a DAP (Diâmetro à Altura do Peito) à 1,30m de altura ao nível do solo e altura de corte (h), e posteriormente cortadas. Destas foram retirados 6 discos com o auxílio de motosserra, representando diferentes posições axiais da tora nas alturas: base (0,10m); DAP (1,30m); 25%, 50%, 75% e 100% do total da altura de corte.

De cada um dos discos foram retiradas duas cunhas, partindo do centro da medula até a extremidade do alburno, desta forma obtendo-se representatividade da extensão radial da tora, os quais serviram para a obtenção da massa específica básica da madeira. Os corpos de prova já cortados foram mantidos submersos em água até as suas devidas medições.

### OBTENÇÃO DAS VARIÁVEIS

A massa específica básica ( $M_{eb}$ ) pode ser mensurada a partir da razão entre peso seco (g) e volume úmido ( $cm^3$ ) das cunhas, de acordo com a norma ASTM (1997) e descrita pela Equação 1.

$$M_{eb} = \frac{M_s}{V_{sat}}$$

Equação 1

Em que:

$M_{eb}$ = Massa específica básica ( $g/cm^3$ );

$M_s$ = Massa seca (g);

$V_{sat}$ = Volume saturado ( $cm^3$ ).

As variáveis para obtenção da massa específica básica (massa seca e volume saturado), foram mensuradas obedecendo as especificações de VITAL (1984), onde o volume saturado da madeira é obtido por imersão em água e seu valor é representado pelo deslocamento da mesma. Para obter a massa seca dos corpos de prova toda a água da madeira foi retirada, usado a técnica de secagem em estufa, na qual os corpos de prova foram mantidos em estufa de ventilação forçada a uma temperatura de 103°C por um período de 24 horas até estarem com massa constante.

Foi também calculada a área basal (g) dos indivíduos, que consiste na área da circunferência na altura do DAP, dada pela Equação 2.

$$g = \frac{\pi D^2}{4} \quad \text{Equação 2}$$

Em que:

g= área basal (cm<sup>2</sup>);

D= diâmetro da tora na altura do DAP (cm).

Calculados os valores das massas específicas básicas e utilizando as suas respectivas alturas e áreas basais das secções, obtive-se a massa específica básica ponderada (Mebp), através da Equação 3.

$$Mebp = \sum_{i=6}^6 \frac{\{[(Meb_i + Meb_{i+1})/2] * Vsec\}}{Vtotal} \quad \text{Equação 3}$$

Em que:

Mebp = Massa específica básica ponderada (g/cm<sup>3</sup>);

i = Altura (30 cm, DAP, 25%, 50%, 75%, 100%);

Vsec = Volume da secção (cm<sup>3</sup>);

Vtotal = Somatório dos volumes das secções (cm<sup>3</sup>).

## AJUSTE DOS MODELOS MATEMÁTICOS

Para gerar uma equação matemática prática para a estimativa da massa específica básica ponderada, procurou-se utilizar variáveis de fácil mensuração, como diâmetro na altura do peito (DAP), altura comercial de corte da árvore (h), área basal (g) e massa específica básica no DAP (Meb<sub>DAP</sub>).

Na tentativa de gerar uma equação mais precisa, os modelos levaram em consideração todas as variáveis possíveis, e as diversas combinações entre elas. Devido á grande gama de possíveis modelos, neste trabalho serão apresentadas e comparados os que obtiveram os melhores resultados, sendo excluídas por exemplo modelos com variáveis com pouca correlação com o Mebp. Desta forma, os modelos testados estão apresentadas na tabela a seguir.

**TABELA 1** – Modelos ajustados para a estimativa da massa específica básica ponderada de *Eucalyptus saligna*

<b>Equações ajustadas</b>	
Modelo 1	$Me_{bp} = \beta_0 + \beta_1 * h$
Modelo 2	$Me_{bp} = \beta_0 + \beta_1 * Me_{bDAP}$
Modelo 3	$Me_{bp} = \beta_0 + \beta_1 * (Me_{bDAP})^2$
Modelo 4	$Me_{bp} = \beta_0 + \beta_1 * Me_{bDAP} * h$
Modelo 5	$Me_{bp} = \beta_0 + \beta_1 * Me_{bDAP} * DAP$
Modelo 6	$Me_{bp} = \beta_0 + \beta_1 * Me_{bDAP} * g$
Modelo 7	$Me_{bp} = \beta_0 + \beta_1 * (Me_{bDAP})^5 * g$
Modelo 8	$Me_{bp} = \beta_0 + \beta_1 * Me_{bDAP} + \beta_2 * h$
Modelo 9	$Me_{bp} = \beta_0 + \beta_1 * Me_{bDAP} + \beta_2 * g$
Modelo 10	$Me_{bp} = \beta_0 + \beta_1 * Me_{bDAP} + \beta_2 * DAP$
Modelo 11	$Me_{bp} = \beta_0 + \beta_1 * Me_{bDAP} + \beta_2 * DAP + \beta_3 * h$
Modelo 12	$Me_{bp} = \beta_0 + \beta_1 * Me_{bDAP} + \beta_2 * DAP + \beta_3 * g + \beta_4 * h$

Me<sub>bp</sub> = Massa específica básica ponderada estimada, em g/cm<sup>3</sup>;  $\beta_0$ ,  $\beta_1$ ,  $\beta_2$ ,  $\beta_3$  e  $\beta_4$  = coeficientes das equações a serem obtidos; Me<sub>bDAP</sub> = massa específica básica na posição do DAP, em g/cm<sup>3</sup>; DAP = diâmetro na altura do peito (1,3 metros) em cm; g = área basal, em m<sup>2</sup>; h = altura, em m.

Para cada um dos modelos ajustados foi realizada a análise de regressão linear por meio de *software* estatístico STATGRAPHICS Centurion XV.II, e desta forma obtidos os coeficientes das equações e os respectivos valores de Me<sub>bp</sub> estimados.

### SELEÇÃO DA MELHOR EQUAÇÃO

Para avaliar qual ou quais as melhores equações obtidas, estas foram avaliadas por alguns parâmetros, como o coeficiente de determinação múltipla (R<sup>2</sup>), o coeficiente de determinação múltipla ajustado (R<sup>2</sup><sub>aj</sub>), o erro padrão da estimativa S<sub>yx</sub> e S<sub>yx</sub>%, além da análise gráfica de resíduos. A partir da análise destes parâmetros foi possível definir quais as equações apresentam um ajuste melhor ao conjunto de dados.

O coeficiente de determinação (R<sup>2</sup>), expressa a quantidade de variação da variável dependente que é explicada pelas variáveis independentes. Quanto mais próximo de 1 for o valor de R<sup>2</sup>, melhor terá sido o ajuste (MIGUEL et al., 2010).

Segundo WEBER (2007) na medida em que mais variáveis são adicionadas ao modelo o valor de R<sup>2</sup> aumenta, portanto, pela simples inclusão de todas as variáveis disponíveis obtém-se o maior R<sup>2</sup>. Ainda segundo o mesmo autor, a melhor equação de regressão não usa, necessariamente, todas essas variáveis e, portanto a comparação de diferentes equações de regressão múltipla é feita mais adequadamente com o ajuste do coeficiente de determinação ajustado (R<sup>2</sup><sub>aj</sub>) para o número de variáveis e o tamanho amostral.

Desta forma, foram avaliados os dois parâmetros, R<sup>2</sup> e R<sup>2</sup><sub>aj</sub>, obtidos, respectivamente, pelas equações 4 e 5.

$$R^2 = \frac{\sum_{i=0}^n (\hat{Y}_i - \bar{Y})^2}{\sum_{i=0}^n (Y_i - \bar{Y})^2}$$

Equação 4

$$R_a^2 = 1 - (1 - R^2) \frac{n-1}{n-p-1}$$

Equação 5

Em que:

$R^2$  = Coeficiente de determinação múltipla (adimensional);

$Y_i$  = variável dependente observada (g/cm<sup>3</sup>);

$\hat{Y}_i$  = variável dependente estimada pela equação ajustada (g/cm<sup>3</sup>);

$\bar{Y}$  = Média aritmética da variável dependente observada (g/cm<sup>3</sup>);

$n$  = tamanho da amostra (adimensional);

$p$  = número de coeficientes da equação ajustada (adimensional);

$R_{aj}^2$  = coeficiente de determinação múltipla ajustado (adimensional).

Já o erro padrão da estimativa avalia a dispersão média entre os valores observados e estimados ao longo da linha da regressão. Obtendo seu valor em percentual ( $S_{yx}\%$ ) é possível atribuir o nível de qualidade de ajuste do modelo, pois quanto mais baixo o valor do  $S_{yx}\%$  menor terá sido a dispersão dos pontos ao longo da linha de regressão, o que significa melhor qualidade do ajuste (WEBER, 2007). As equações para obter  $S_{yx}$  e  $S_{yx}\%$  são apresentadas nas equações abaixo (equações 6 e 7).

$$S_{yx} = \sqrt{\frac{SQRes}{n-p}}$$

Equação 6

$$S_{yx}(\%) = \frac{S_{yx}}{Mebp} * 100$$

Equação 7

Em que:

$S_{yx}$  = Erro padrão da estimativa (g/cm<sup>3</sup>);

$S_{yx}(\%)$  = erro padrão da estimativa em porcentagem (%);

$SQRes$  = Soma de Quadrados dos Resíduos (g/cm<sup>3</sup>);

$n$  = tamanho da amostra (adimensional);

$p$  = número de coeficientes da equação ajustada (adimensional);

$Mebp$  = Média do valor de Massa Específica Básica Ponderada (g/cm<sup>3</sup>).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os modelos foram ajustados e então obtem-se os coeficientes de cada equação. Também foram determinados os parâmetros de avaliação, mencionados anteriormente, para a comparação entre eles. Os valores dos coeficientes e a comparação entre as equações estão apresentados na Tabela 2.

**TABELA 2 - Comparação entre as equações**

Equação	$\beta_0$	$\beta_1$	$\beta_2$	$\beta_3$	$\beta_4$	$R^2$	$R^2_{aj}$	$S_{yx}$ (%)
1	0,3513	0,0035				0,0808	0,0195	6,8368
2	0,1403	0,7069				0,4796	0,4449	5,1445
3	0,2983	0,7864				0,4855	0,4512	5,1149
4	0,2772	0,0146				0,4088	0,3694	5,4831
5	0,2600	0,0110				0,3593	0,3166	5,7079
6	0,3809	1,2512				0,1561	0,0999	6,5507
7	0,3864	31,0421				0,5815	0,5536*	4,6133*
8	0,0545	0,6988	0,0033			0,549	0,4846	4,9569
9	0,0494	0,7914	0,4400			0,586	0,5269	4,7491
10	-0,0046	0,7884	0,0028			0,5803	0,5204	4,7818
11	-0,0105	0,8079	0,0034	-0,0010		0,5816	0,485	4,9548
12	0,3584	0,7774	-0,0154	2,7320	0,0008	0,5989*	0,4652	5,0491

\* representa o melhor valor de cada estatística;  $\beta_0$ ,  $\beta_1$ ,  $\beta_2$ ,  $\beta_3$  e  $\beta_4$  = coeficientes das equações;  $R^2$  = Coeficiente de determinação múltipla;  $R^2_{aj}$  = coeficiente de determinação múltipla ajustado;  $S_{yx}$  (%) = erro padrão da estimativa em porcentagem.

A equação de melhor ajuste foi a 7, pois se obteve o melhor coeficiente de determinação múltipla ajustado (0,5536) e ao mesmo tempo o menor valor de erro padrão de estimativa em porcentagem (4,6133). Desta forma, a equação de estimativa aconselhada é a seguinte (equação 8):

$$Mebp = 0,396382400010307 + 31,04207453 * (Meb_{DAP})^5 * g \quad \text{Equação 8}$$

Em que:

Mebp = Massa específica básica ponderada estimada ( $g/cm^3$ );

Meb<sub>DAP</sub> = massa específica básica na posição do DAP ( $g/cm^3$ );

g = área basal ( $m^2$ ).

A Equação 7, apresentou menor  $R^2$  em comparação com a Equação 12, no entanto, foi considerada melhor pelas metodologias citadas por WEBER (2007). O  $R^2$  aumenta de acordo com o maior número de variáveis, sem necessariamente que este maior número aumente a confiança da equação, e também apresenta o erro menor em porcentagem. O erro da Equação 7 é de no máximo  $0,0206 g/cm^3$  para mais ou para menos do valor de Mebp.

VALE et al. (2009) ao estudarem a madeira de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* (Sénécl.), afirmaram que a altura, com melhor correlação para se obter a densidade média da árvore, é a 12,5% da altura total do fuste. Já MATTOS et al. (2011) determinaram para as espécies de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze, *Pinus elliottii* Engelm. e *Pinus taeda* L., que a posição que melhor representa a massa específica média da árvore são aos 25% e 50% da altura do corte comercial, ou seja altura da árvore que pode ser usada para sua finalidade. No presente estudo se considerou a altura ao nível do DAP como posição para se obter a densidade, devido a facilidade de obtenção desta variável, fator que foi considerado também na escolha das outras variáveis, cujo objetivo era determinar uma equação de fácil aplicação.

Os valores médios de massa específica básica ponderada ( $0,448g/cm^3$ ) foram semelhantes a TREVISAN et al. (2012) que obtiveram valores que variaram de

0,390 a 0,462g/cm<sup>3</sup> para *Eucalyptus grandis* W. Hill de 18 anos. ELOY et al. (2013) encontrou para *Eucalyptus grandis* com idades muito menores ao presente estudo, 3 anos, valores de massa específica ponderada de 0,366 à 0,384 g/cm<sup>3</sup>. Esses valores mais baixos podem ser justificados pela variação da massa específica em função da idade (ALZATE et al., 2005; WASHUSEN et al., 2005; MELO et al., 2013).

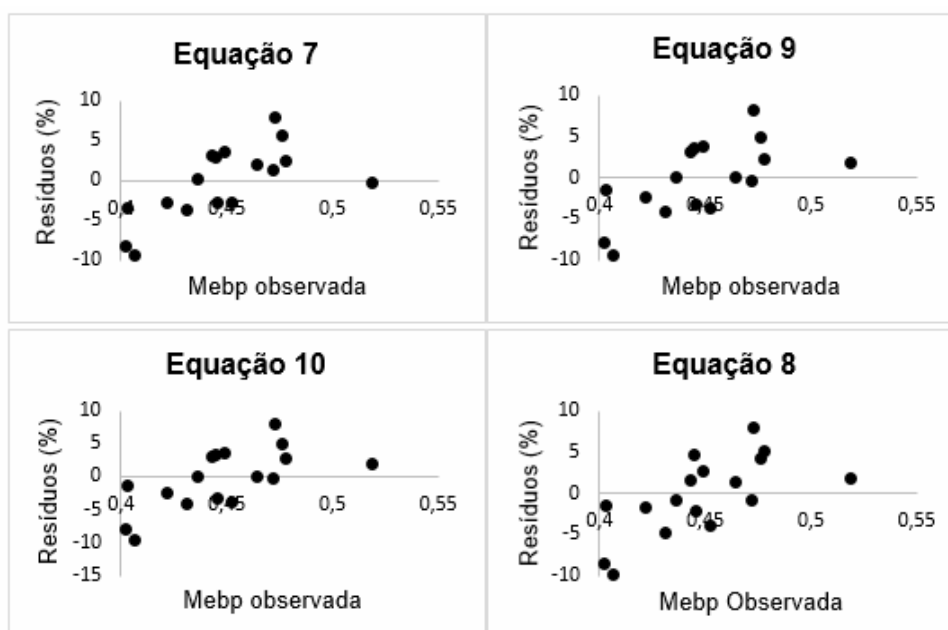
EISFELD et al. (2009) ao estudarem clones de *Eucalyptus* para obter uma modelagem para estimar a massa específica básica de cavacos, afirmaram que o modelo correlacionado com a massa específica básica dos discos de madeira foram os melhores. Essa afirmação comprova o que ocorreu nesse estudo, todas as equações que relacionaram  $Meb_{DAP}$  para obter massa específica básica ponderada estimada foram melhores em relação as outras variáveis, a exemplo da Equação 1, na qual só havia altura como variável.

GOUVÊA et al. (2011) ao utilizarem métodos não destrutivos de estimativa da densidade média de árvores da espécie *Eucalyptus*, determinaram valores pouco precisos quando utilizado apenas a massa específica de discos do DAP. Os mesmos autores determinaram a existência de correlação de 30% entre a massa específica da madeira na altura do DAP e da massa específica média da árvore.

Esses valores de correlação citados de 30% são inferiores aos obtidos na presente pesquisa, portanto contrariando as conclusões do trabalho de GOUVÊA et al. (2011) que afirmaram que a massa específica básica da madeira na altura do DAP não é suficiente para estimar a densidade média da madeira de toda árvore.

Resultados de bom ajuste com essa variável foram observados por VALERI et al. (1990), que ao trabalharem com *Eucalyptus grandis* encontraram que a massa específica básica da madeira ao nível do DAP estima a massa específica básica da árvore, sendo desta maneira representativa para converter volume em peso seco.

Foram elaborados os gráficos de resíduos das quatro melhores equações, segundo o  $R^2_{aj}$  e  $S_{yx}(\%)$ , neste caso e em ordem de melhor ajuste, as Equações 7, 9, 10 e 8. Os resíduos foram plotados em porcentagem e sob o eixo de valores de  $Mebp$  real observado e, podem ser observados na Figura 1.



**FIGURA 1** - Resíduos plotados sob a variável Massa específica básica ponderada real ( $Mebp$ ) de *Eucalyptus saligna* para as quatro equações de melhor ajuste.



Observa-se na Figura 1 que os resíduos das quatro equações apresentam-se muito semelhantes, com ligeira tendência de subestimativa para os valores de baixo Mebp e superestimava para os altos valores de Mebp. Porém, em nenhuma das equações existem grandes tendências nem problemas que desqualifiquem o uso das mesmas, além do que, em nenhum caso os resíduos ultrapassaram 10% de erro, tanto no eixo negativo quanto positivo.

### CONCLUSÕES

A análise dos parâmetros estatísticos considerados neste trabalho,  $R^2_{aj}$  e  $S_{yx}\%$ , evidenciaram que o modelo que melhor descreve a estimativa de massa específica básica ponderada para a espécie de *Eucalyptus saligna* nas condições do estudo é a equação:  $Mebp = 0,396382400010307 + 31,04207453 * (Meb_{DAP})^5 * g$

Com o estudo é possível prever a massa específica básica ponderada utilizando apenas a massa específica básica ao nível do DAP e a área basal, ambas variáveis de simples mensuração se comparadas a todo o procedimento para obtenção da Mebp.

### REFERÊNCIAS

ALZATE, S.B.A.; FILHO, M. T.; PIEDADE, S. M. S. Variação longitudinal da densidade básica da madeira de clones de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden, *E. saligna* Sm. e *E. grandis x urophylla*. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n.68, p.87-95, 2005.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS – ASTM. Specific gravity of wood and wood-based materials: **ASTM D2395 - 93**. Philadelphia, PA, 1997. 8p.

BALBINOT, R.; KOEHLER, H. S.; WATZLAWICK, L. F.; MARCENE, E. A. Ajuste de equações alométricas para *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze. utilizando análise de componentes principais conjuntamente com análise de regressão. **Floresta**, Curitiba, v. 39, n. 2, p. 231-237, 2009.

CASTELO, P. A. R. **Avaliação da qualidade da madeira de *Pinus taeda* em diferentes sítios de crescimento e espaçamentos, através do método não destrutivo de emissão de ondas de tensão**. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2007.

EISFELD, R.; EISFELD, C. L.; FERREIRA, J. M.; PIMENTEL, A.; RODRIGUES, F.; ALMEIDA, A. Modelagem da massa específica básica dos cavacos a partir de variáveis dendrométricas e da massa específica do disco. **Floresta**, Curitiba, PR, v. 39, n. 4, p. 877-886, 2009.

ELOY, E.; CARON, B. O.; TREVISAN, R.; BEHLING, A.; SOUZA, V.Q.; Schmidt, D. Variação axial e efeito do espaçamento na massa específica da madeira de *Eucalyptus grandis* e *Acacia mearnsii*. **Ciência da Madeira**, Pelotas, v. 04, n. 02, p. 215-227, 2013.

GOUVÊA, A. F. G.; TRUGILHO, P. F.; GOMIDE, J. L.; SILVA, J. R. M.; ANDRADE, C. R.; ALVES, I. C. N. Determinação da densidade básica das madeiras de

*Eucalyptus* por diferentes métodos não destrutivos. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.35, n.2, p.349-358, 2011.

HEIN, P. R. G.; CAMPOS, A. C. M.; TRUGUILHO, P. F.; LIMA, J. T.; CHAIX, G. Near infrared spectroscopy for estimating wood basic density in *Eucalyptus urophylla* and *Eucalyptus grandis*. **Cerne**, Lavras, v.15, n.2, p.133-141, 2009.

HILLIG É.; MACHADO G. O.; HOLK D. L.; CORRADI G. M.; Propriedades físicas da madeira de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Kuntze em função da posição no fuste para diferentes idades. **Cerne**, Lavras, v.18 n.2 p. 257–263, 2012.

MATTOS, B. D.; GATTO, D. A.; STANGERLIN, D. M.; CALEGARI, L.; MELO, R. R.; SANTINI, E. J. Variação axial da densidade básica da madeira de três espécies de gimnospermas. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v. 6, n. 1, p. 121 - 126, 2011.

MELO, R. R.; SILVESTRE, R.; OLIVEIRA, T. M.; PEDROSA, T. D. Variação radial e longitudinal da densidade básica da madeira de *Pinus elliottii* Engelm. com diferentes idades. **Ciência da Madeira**, Pelotas, v. 04, n. 01, p. 83-92, 2013.

MIGUEL, E. P.; CANZI, L. F.; RUFINO, R. F.; SANTOS, G. A. Ajuste de Modelo Volumétrico e Desenvolvimento de Fator de Forma Para Plantios de *Eucalyptus grandis* Localizados no Município de Rio Verde – GO. **ENCICLOPÉDIA BIOSFERA**, Goiânia, v. 6, n. 11, 2010.

MORESCHI, J. C. **Propriedades da madeira**. Ministério da Educação e do Desporto. Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná. Curitiba: Departamento de Engenharia e Tecnologia Florestal. 3ª edição. 175p. 2010.

ROMAN, M.; BRESSAN, D. A.; DURLO, M. A. Variáveis Morfométricas e Relações Interdimensionais Para *Cordia trichotoma* (Vell.) Arráb. ex Steud. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 19, n. 4, p. 473-480, 2009.

SHEIKH, M. A.; KUMAR, M.; BHAT, J. A. Wood specific gravity of some tree species in the Garhwal Himalayas, India. **Forestry Studies in China**, v. 13, n. 3, p. 225–230, 2011.

TREVISAN, R.; ELOY, E.; DENARDI, L.; HASELEIN, C. R.; CARON, B. C. Variação axial e efeito do desbaste na massa específica das árvores centrais de *Eucalyptus grandis*. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.42, n.2, 2012.

VALE, A. T.; ROCHA, L. S.; DEL MENEZZI, C. H. S. Massa específica básica da madeira de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* cultivado em cerrado. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 37, n. 84, p. 387-394, 2009

VALERI, S. V.; AGUIAR, I. B.; BANZATTO, D. A. Variação da densidade básica da madeira de *Eucalyptus grandis* Hill ex-Maiden com a altura do caule e aplicação de fósforo e calcário dolomítico. In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 6, Campos do Jordão, 1990. **Anais...** Campos do Jordão: SBS, 1990.

VITAL, B. R. **Métodos de determinação da densidade da madeira.** SIF/UFV Boletim Técnico, n. 1, p. 1-21, 1984.

WEBER, K. S.; **Manejo da Bracatinga (*Mimosa scabrella* Benth.) baseado no crescimento diamétrico de árvores individuais. 2007. 141f.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal). Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2007.

WASHUSEN, R., BAKER, T.; MENS, D.; MORROW, A. Effect of thinning and fertilizer on the cellulose crystallite width of *Eucalyptus globulus*. **Wood Science and Technology**, Berlin, v.39, n.7, p.569-578, 2005.