

## COMPARAÇÃO DE MODELOS PARA RELAÇÃO HIPSOMÉTRICA EM FLORESTA DE *Pinus taeda* L. NO MUNICÍPIO DE ENÉAS MARQUES, PARANÁ

Kemely Alves Atanazio<sup>1\*</sup>; Sandra Mara Krefta<sup>1</sup>; Elisabete Vuaden<sup>2</sup>; Danieli Regina Klein<sup>3</sup>; Gustavo Silva Oliveira<sup>1</sup>; Maycon Thuan Saturnino da Silva<sup>1</sup>

SAP 15336 Data envio: 19/10/2016 Data do aceite: 15/08/2017

Sci. Agrar. Parana., Marechal Cândido Rondon, v. 16, n. 4, out./dez., p. 535-541, 2017

**RESUMO** - O presente estudo teve como objetivo estimar a altura em função do diâmetro à altura do peito por meio do ajuste de equações matemáticas em um povoamento de *Pinus taeda* L., no município de Enéas Marques, PR. Para isso, foi realizado um inventário florestal por meio da amostragem sistemática. Em cada parcela foi realizada a medição da circunferência à altura do peito de todos os indivíduos, e a altura total apenas de 30% dos mesmos, sendo as demais alturas estimadas pela equação escolhida. Para o ajuste dos modelos hipsométricos foi usado o procedimento PROC REG, onde foram testados dez modelos matemáticos. Destes, foram selecionados modelos que apresentaram os melhores resultados do coeficiente de determinação ajustado, coeficiente de variação, F calculado, erro padrão da estimativa e análise gráfica dos resíduos. O melhor modelo escolhido foi  $\frac{1}{\sqrt{r}} = 0,20641 + 1,59479 \cdot \frac{1}{d}$ , apresentando um coeficiente de determinação ajustado de 0,7419, um coeficiente de variação de 8,89 e o melhor e maior valor de F de 1722,95.

**Palavras-chave:** espécie exótica, inventário florestal, mensuração florestal.

### *HIPSOMETRIC OF Pinus taeda* L. RELATIONSHIP IN THE MUNICIPALITY OF ENÉAS MARQUES – PARANÁ

**ABSTRACT** - This study aimed to estimate the height of the diameter at breast height by adjusting mathematical equations in a *Pinus taeda* L. population in the municipality of Eneas Marques, Paraná State, Brazil. For this, we conducted a forest inventory through systematic sampling. In each plot was carried out to measure the circumference at breast height of all individuals, and the overall height of only 30% of them, and other times estimated by the chosen equation. To adjust the hypsometric models was used PROC REG procedure, where ten mathematical models were tested. Of these models were selected that showed the best results of the adjusted determination coefficient, coefficient of variation, calculated F, standard error of the estimate and graphical analysis of waste. Best model chosen was  $\frac{1}{\sqrt{r}} = 0.20641 + 1.59479 \cdot \frac{1}{d}$ , presenting an adjusted coefficient of determination of 0.7419 a 8.89 coefficient of variation and the best and highest value of F of 1722.95 and a standard error of 0.02.

**Key words:** exotic species, forest inventory, forest measurement.

### INTRODUÇÃO

O setor florestal brasileiro de florestas plantadas procede proporcionando um aumento da produtividade florestal. Além dos fatores ambientais favoráveis para a silvicultura, novas tecnologias são utilizadas para aumentar a produtividade, tais como melhoramento genético de sementes e clonagem de espécies florestais. Esse aprimoramento leva o Brasil a se destacar na produtividade florestal tanto de coníferas como de folhosas (FLORESTAS DO BRASIL, 2013).

Nesse aspecto, ressalta-se que entre as espécies florestais, aquelas do gênero *Pinus* apresentam uma grande concentração na região Sul do Brasil, com uma área

superior a 1,3 milhões ha, sendo as espécies mais plantadas *Pinus elliottii* e *Pinus taeda* (IBÁ, 2016).

O *P. taeda* pode alcançar 45 m de altura e 1,30 m de diâmetro, e sua madeira possui alburno amarelo claro e o cerne possui coloração marrom avermelhado. Evidencia-se ainda que a sua madeira é resistente e dura, com textura média, podendo ser empregada para diversas finalidades (USDA FOREST SERVICE, 2008).

As variáveis dendrométricas diâmetro, altura, área basal, volume, entre outras, são variáveis importantes, a partir das quais se consegue obter informações sobre uma floresta, possibilitando o conhecimento do potencial produtivo da mesma, e visando estabelecer metas

<sup>1</sup>Mestrando(a) Pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Universidade do Estado de Santa Catarina, UDESC, Lages, Santa Catarina, Brasil. E-mail: [kemely\\_alves@hotmail.com](mailto:kemely_alves@hotmail.com); [sandra\\_krefta@hotmail.com](mailto:sandra_krefta@hotmail.com); [gustavo\\_ccp@hotmail.com](mailto:gustavo_ccp@hotmail.com); [mayconthuan@hotmail.com](mailto:mayconthuan@hotmail.com). \*Autor para correspondência

<sup>2</sup>Dra., Professora do Departamento de Engenharia Florestal, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, UTFPR, Dois Vizinhos, Paraná, Brasil. E-mail: [elisabetev@utfpr.edu.br](mailto:elisabetev@utfpr.edu.br)

<sup>3</sup>Mestre em Engenharia Florestal, pelo Programa de Pós Graduação em Engenharia Florestal, UDESC. E-mail: [drkleinn@gmail.com](mailto:drkleinn@gmail.com)

comerciais de manejo, pesquisa e ordenação florestal (JESUS et al., 2012).

Dentre as variáveis dendrométricas, a mais utilizada em inventários florestais é a altura, sendo usada para calcular o incremento em altura para florestas, calcular e estimar o volume, o que auxilia no ordenamento da produção, ajudando na identificação dos índices de sítio (JESUS et al.; 2015).

Em função de possuir grande empregabilidade, a variável altura torna-se essencial em inventários e para que a mesma seja determinada de maneira eficaz e rápida, são utilizadas as relações hipsométricas também conhecidas como relação h/d, as quais tem como objetivo estimar as alturas das árvores através da relação diâmetro à altura do peito (DAP) e altura total da árvore (THIERSCH, et al., 2013).

Drescher (2004) afirma que em povoamento cujos sítios são bem delimitados, conduzidos e formados, espera-se uma forte correlação entre as variáveis altura e diâmetro, já que haverá maior homogeneidade na população considerada. Em povoamentos mal conduzidos ou em sítios não muito bem definidos terá uma fraca correlação pela maior heterogeneidade da população.

A relação hipsométrica é importante para os inventários florestais, por diminuir o tempo de medição das árvores na parcela, o custo de medição e dificuldades na hora da operação, tornando inventários florestais mais econômicos e precisos.

Para se chegar a um modelo matemático que descreva a relação h/d de uma árvore ou população qualquer, deve-se testar vários modelos e selecionar aquele de melhor ajuste, segundo o critério de seleção usado (FINGER, 2006).

Vários trabalhos têm sido realizados quanto a escolha do modelo mais adequado para o ajuste da relação hipsométrica, testando modelos lineares e não lineares, considerando apenas o diâmetro como variável independente, ou ainda outras variáveis adicionais como a idade e a altura dominante.

Aranda et al. (2005) consideram que a estimação precisa da relação altura/diâmetro é importante, depois da altura, sendo a variável mais difícil e de preço elevado de medir no campo do que o diâmetro, e que, geralmente, mede-se em uma amostra de árvores. Aguilar (2004) cita que as relações altura-diâmetro, para qualquer espécie, dependem da qualidade do sítio e da densidade do talhão. Portanto, os modelos baseados unicamente nessas duas variáveis são específicos para cada talhão.

Costas et al. (2005) utilizaram a equação de Prodan ( $h = b_0 + b_1 \cdot \log d$ ) para prever as alturas não medidas de árvores de cada parcela em povoamentos de *P. taeda* L. de sete anos, em Misiones, Argentina.

Drescher (2004) encontrou que a equação que melhor expressa os valores de relação hipsométrica para *Tectona grandis* Linn. F., que foi  $\sqrt{h_i} = \beta_0 + \beta_1 (d_i) + \beta_2 \ln(d_i)$ , apresentando um coeficiente de determinação de 90% e um erro padrão da estimativa de 4,9%.

Dacosta (2008), realizando um estudo das relações biométricas em povoamentos jovens de *P. taeda* L. na província de Corrientes, Argentina, utilizou a

equação  $\frac{d}{\sqrt{h}} = \beta_0 + \beta_1 \cdot d$ , com valores de  $b_0$  de 1,63568 e  $b_1$  de 0,22125, para descrever a relação hipsométrica das árvores da espécie *P. taeda* L., por apresentar um coeficiente de determinação ajustado elevado, com todos os coeficientes significantes, e coeficiente de variação de 8,5%.

Sendo assim, o presente trabalho teve por objetivo ajustar modelos matemáticos e selecionar o que melhor descreva a relação hipsométrica para um povoamento de *Pinus taeda* L. no município de Enéas Marques, Paraná.

## MATERIAL E MÉTODOS

### Descrição da área

O estudo foi realizado em uma floresta de *P. taeda* (L.) no município de Enéas Marques, PR. A região possui clima Cfa, conforme classificação de Köppen de transição Subtropical Úmido Mesotérmico, verões quentes com temperatura média de 22 °C e inverno com geadas pouco frequentes. Possui temperatura média inferior a 18 °C, com as quatro estações do ano bem definidas, chuvas frequentes, sempre acima de 60 mm por mês, e com pluviosidade média anual de 1.800 a 2.000 mm (MAACK, 2012).

O solo predominante da região é classificado como LATOSSOLO VERMELHO Distroférico, na área de Enéas Marques o solo é um pouco pedregoso e o terreno apresentam em torno de 30% de declividade média.

O povoamento estudado foi implantado entre abril e setembro de 2007, com um espaçamento de 3,0 x 2,0 m, totalizando 1.666 árvores por ha no momento do plantio e com uma área de 50 ha.

### Amostragem

Para a obtenção das variáveis dendrométricas foi realizado um inventário florestal com 15 unidades amostrais de 600 m<sup>2</sup> de área útil para cada unidade amostral (30 x 20 m). O método de amostragem utilizado foi o de área fixa, sendo um dos mais conhecidos e usados, e por apresentar economia de tempo, praticidade.

O processo de amostragem foi a sistemática restrita, sendo que a justificativa da utilização deste processo sistemático é que o mesmo apresenta algumas vantagens, como: as unidades amostrais são selecionadas a partir de um esquema de sistematização, consegue cobrir toda a população, apresenta maior confiabilidade nos dados, o tempo gasto em deslocamento é reduzido, assim como o custo de amostragem e apresenta boa estimativa da média.

Em cada parcela foi realizada a medição da circunferência à altura do peito (CAP) de todos os indivíduos, e a altura total apenas de 30% dos mesmos, sendo as demais alturas estimadas pelo melhor modelo selecionado que descreve a altura em função do diâmetro à altura do peito (DAP). O CAP foi mensurado utilizando uma fita métrica e altura total com o auxílio do hipsômetro Vertex IV. Após a medição do CAP o mesmo foi transformado em DAP (cm).

### Ajuste de modelos hipsométricos

Para determinar a melhor equação que estima altura em função do diâmetro à altura do peito, foram

testados dez modelos matemáticos previamente estabelecidos, como pode ser observado na Tabela 1.

**TABELA 1.** Modelos hipsométricos ajustados para estimativa da variável altura.

| Equações | Modelos   | Autor              |
|----------|---|--------------------|
| 1        | $h = \beta_0 + \beta_1 \cdot d$   | -                  |
| 2        | $\frac{1}{\sqrt{h}} = \beta_0 + \beta_1 \cdot \frac{1}{d}$                  | -                  |
| 3        | $\sqrt{h} = \beta_0 + \beta_1 \cdot \ln d$                                  | -                  |
| 4        | $\ln h = \beta_0 + \beta_1 \cdot \ln d$                                     | Stofells           |
| 5        | $\ln h = \beta_0 + \beta_1 \cdot \ln \frac{1}{d}$                           | Curtis             |
| 6        | $h = \beta_0 + \beta_1 \cdot d + \beta_2 \cdot d^2$                         | Trorey             |
| 7        | $h = \beta_0 + \beta_1 \cdot \ln d + \beta_2 \cdot \ln^2 d$                 | Backman Modificada |
| 8        | $\ln h = \beta_0 + \beta_1 \cdot \frac{1}{d} + \beta_2 \cdot \frac{1}{d^2}$ | -                  |
| 9        | $h - 1,30 = \beta_0 + \beta_1 \cdot d + \beta_2 \cdot d^2$                  | Schneider (1986)   |
| 10       | $h = \beta_0 + \beta_1 \cdot \frac{1}{d}$                                   | Schneider (1986)   |

Em que:  $\beta_0, \beta_1, \beta_2$ : são parâmetros dos modelos; ln: logaritmo natural; hi: altura total da i-ésima árvore (m); di: diâmetro à altura do peito da i-ésima árvore (cm).

Os dados foram analisados no pacote estatístico SAS versão 9.2 (Statistical Analysis System) e Microsoft Office Excel<sup>®</sup> 2007. Os parâmetros estatísticos para a escolha do melhor modelo matemático foram: maior coeficiente de determinação ajustado ( $R^2_{aj}$ ), menor coeficiente de variação (CV%), maior valor de F calculado e a melhor distribuição dos resíduos no gráfico.

O Coeficiente de Variação (CV%) é uma medida de variabilidade relativa, usada para comparar duas ou mais distribuições, sendo que quanto menor, melhor e mais preciso é o modelo.

Pelo coeficiente de determinação ( $R^2$ ) verifica-se a quantidade da variação total explicada pela regressão. Como o coeficiente de determinação cresce à medida que se inclui uma nova variável ao modelo matemático, foi utilizado o coeficiente de determinação ajustado ( $R^2_{aj}$ ) para o número de coeficientes da equação, quanto mais próximo de 1 o valor, melhor será o ajuste.

O erro padrão da estimativa tem como objetivo identificar quão próximos os valores estimados ficaram dos valores observado, quanto menor, melhor será o modelo (JESUS, et al., 2015). Para o F calculado quanto maior o valor, melhor o ajuste. Já a distribuição dos resíduos tem como objetivo verificar se o modelo selecionado pelo ranking do menor valor apresenta alguma tendência na estimativa da variável dependente altura.

Foi elaborado um ranking entre os valores de cada critério estatístico analisado, sendo que, dentro de cada condição, o melhor valor recebeu nota 1, seguindo por notas superiores (2, 3, ...) até o pior valor de cada condição. Após a elaboração do ranking, os valores das notas foram somados em cada modelo, sendo que o melhor modelo testado foi aquele que obteve o menor somatório de notas.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Ao analisar os dados de altura e diâmetro à altura do peito medidos no inventário florestal (Figura 1), verificou-se que, apesar do povoamento possuir a mesma idade, ocorreu uma grande amplitude de variação dessas variáveis. Foram encontrados valores de diâmetro mínimo de 2,86 cm e máximo de 29,29 cm, quanto a altura encontraram-se valores mínimo de 2 m e máximo de 15,60 m.

Essa heterogeneidade pode estar associada ao solo, inclinação, como também ao espaçamento, visto que no povoamento, além de apresentar algumas falhas, foi realizado desbaste, o que fez com que algumas árvores ficassem com suas copas expostas a luz solar, realizando mais fotossíntese que as demais e consequentemente apresentando um crescimento maior.

Aliado a isso, Caldeira et al. (1996) enfatizam que fatores genéticos (origem), qualidade de sítio, grau de competição e condições biológicas, edáficas e climáticas também podem afetar e influenciar o crescimento das espécies florestais, ressaltando aspectos que ocorreram na área analisada.

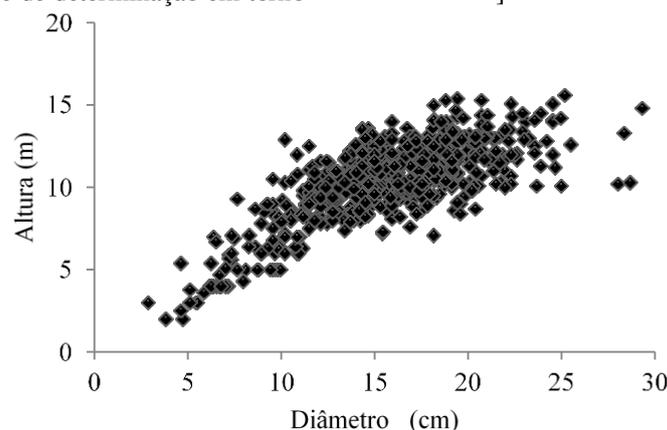
As equações obtidas a partir do ajuste dos diferentes modelos podem ser verificadas na tabela 2.

Na tabela 3 estão apresentados os resultados pertinentes aos ajustes dos dez modelos de relação hipsométrica e seus respectivos parâmetros estatísticos de precisão ( $R^2_{aj}$ , CV%, e F).

Observando a Tabela 2, verifica-se que os valores de coeficiente de determinação ajustado ( $R^2_{aj}$ ) variaram de 0,55 a 0,74, e que o coeficiente de variação (CV), variou de 6,73 a 16,03. Já o F calculado apresentou valores de 519,88 a 1.722.

Mendonça et al. (2015), em plantio de *Pinus caribaea*, em Nova Ponte, Minas Gerais, obtiveram valores máximos de coeficiente de determinação em torno

de 0,81 utilizando modelos com maior número de coeficientes.



**FIGURA 1** - Distribuição da altura em função do diâmetro à altura do peito de árvores de *Pinus taeda* no município de Enéas Marques, PR.

**TABELA 2.** Resultados dos coeficientes ajustados para descrever a altura em função do diâmetro à altura do peito para *Pinus taeda* no município de Enéas Marques, PR.

| Número | Modelos matemáticos   |
|--------|---|
| 1      | $h = 3,87046 + 0,41601 \cdot d$   |
| 2      | $\frac{1}{\sqrt{h}} = 0,20641 + 1,59479 \cdot \frac{1}{d}$                  |
| 3      | $\sqrt{h} = 0,39972 + 1,03394 \cdot \ln d$                                  |
| 4      | $\ln h = 0,28191 + 0,74799 \cdot \ln d$                                     |
| 5      | $\ln h = 0,28190 - 0,74899 \cdot \ln \frac{1}{d}$                           |
| 6      | $h = -1,47928 + 1,17530 \cdot d - 0,02478 \cdot d^2$                        |
| 7      | $h = -11,4792 + 10,73389 \cdot \ln d - 0,96583 \cdot \ln^2 d$               |
| 8      | $\ln h = 3,02847 - 11,2418 \cdot \frac{1}{d} + 12,5242 \cdot \frac{1}{d^2}$ |
| 9      | $h - 1,30 = -2,77928 + 1,17530 \cdot d - 0,02478 \cdot d^2$                 |
| 10     | $h = 14,71601 - 61,20896 \cdot \frac{1}{d}$                                 |

**TABELA 3.** Estatística de ajustes e precisão referentes aos modelos testados.

| Equações | R <sup>2</sup> aj | CV (%) | F calc  | V ponderado |
|----------|-------------------|--------|---------|-------------|
| 1        | 0,55              | 15,47  | 760,77  | 26          |
| 2        | 0,74              | 8,89   | 1722,95 | 7           |
| 3        | 0,65              | 7,52   | 1162,78 | 10          |
| 4        | 0,67              | 7,34   | 1227,4  | 9           |
| 5        | 0,67              | 7,60   | 1227,39 | 11          |
| 6        | 0,63              | 14,01  | 529,67  | 21          |
| 7        | 0,63              | 14,10  | 519,88  | 24          |
| 8        | 0,72              | 6,73   | 787,19  | 9           |
| 9        | 0,63              | 16,03  | 529,7   | 26          |
| 10       | 0,59              | 14,84  | 876,55  | 22          |

Em que: R<sup>2</sup>aj: coeficiente de determinação ajustado; CV%: coeficiente de variação; F: F calculado; V ponderado: valor ponderado dos escores.

Evidencia-se que as equações 2, 3, 4, 5 e 8 apresentaram bons ajustes. No entanto, com base nos critérios de seleção das equações matemáticas, a que obteve o menor valor ponderado dos escores e, portanto, a que melhor descreveu a relação hipsométrica foi a equação 2:

$$\frac{1}{\sqrt{h}} = 0,20641 + 1,59479 \cdot \frac{1}{d}$$

Apresentando valores de  $\beta_0 = 0,20641$  e  $\beta_1 = 1,59479$ , sendo significativos ao nível de 1% de probabilidade de erro, e o melhor e maior coeficiente de determinação ajustado ( $R^2_{aj} = 0,7419$ ), o quinto menor coeficiente de variação (CV = 8,89) e o melhor e maior valor de F ( $F = 1722,95$ ). O melhor e menor erro padrão ( $S_{yx} = 0,02$ ).

Visando estudar a relação hipsométrica para *P. elliottii* Engelm em diferentes posições sociológicas no município de Dois Vizinhos - Paraná, Martins et al. (2016) realizaram um censo em uma área de 0,25 ha localizado no campus da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, onde testaram-se sete modelos hipsométricos, dos quais dois coincidem com os modelos 6 e 7 do presente trabalho. Os autores perceberam que o que melhor se ajustou aos dados  $\ln h = 2,7654 - 15,62751 \cdot \frac{1}{\sqrt{d}}$ , apresentando um coeficiente de determinação ajustado de 0,53 e um coeficiente de variação de 4,57. Os modelos 6 e 7, os quais são os mesmos empregados neste estudo, apresentaram valores de coeficientes de determinação ajustado de 0,44 e 0,48, valores próximos dos encontrados neste trabalho.

Figueiredo et al. (2009), ao realizarem uma comparação de modelos para expressar a relação hipsométrica em plantios de *P. taeda* L. na região Planalto Norte do Estado de Santa Catarina, testaram oito modelos, e de acordo com os critérios de seleção, o melhor ajuste foi obtido com o modelo de Curtis que incluiu a idade e o diâmetro como variáveis independentes,  $\ln h = 4,0900 - 12,9563 \cdot \frac{1}{d} - 10,992 \cdot \frac{1}{idade} + 66,073 \cdot \frac{1}{d \cdot idade}$ , com valores de coeficiente de determinação ajustado de 0,86 e erro padrão de 2,30.

Donadoni et al. (2010) estudaram a relação hipsométrica para *Pinus caribaea* var. *hondurensis* e *Pinus tecunumanii* em povoamento homogêneo no Estado de Rondônia, onde foram ajustados dez modelos e o que melhor se ajustou para este povoamento foi o modelo  $\frac{d}{\sqrt{h}} = \beta_0 + \beta_1 \cdot d$ , apresentando  $R^2_{aj}$  de 0,896 e  $S_{yx}\%$  de 3,941% para o *P. caribaea* var. *hondurensis* e  $R^2_{aj}$  de 0,973 e  $S_{yx}\%$  de 6,319% para o *P. tecunumanii*.

Foram analisados os gráficos dos resíduos, onde foi verificado que as equações apresentaram boas estatísticas com razoável distribuição dos resíduos (Figura 2), sendo que, de maneira geral, as distribuições gráficas apresentaram comportamento semelhante, com amplitude variando de -8 a +8.

No entanto, a equação 2, apesar de apresentar uma leve tendência de subestimar as alturas menores, foi a

escolhida por apresentar uma das melhores distribuições dos resíduos e as melhores estatísticas em comparação com as demais.

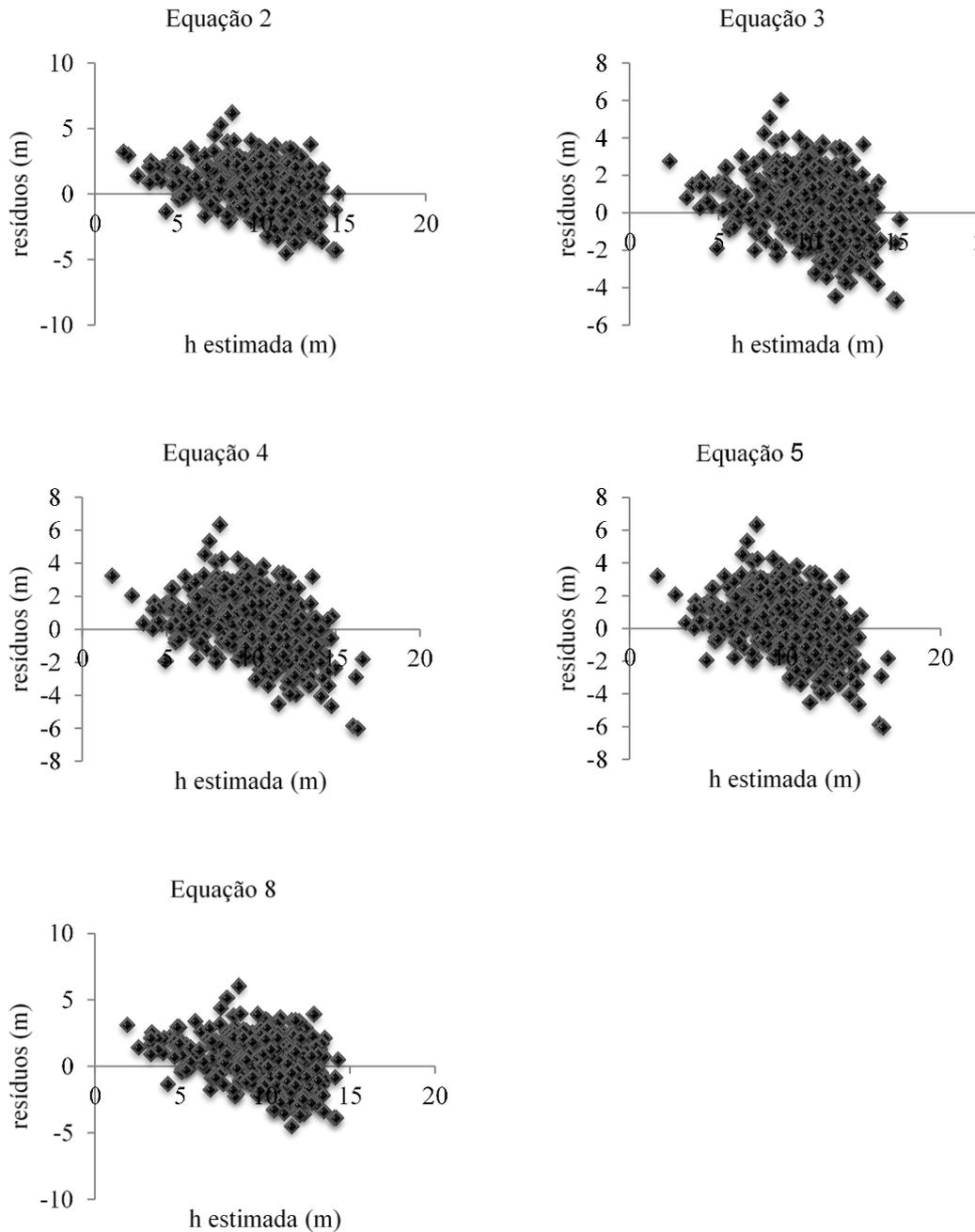
A Figura 3 mostra distribuição dos valores observados e os estimados pela equação escolhida  $\frac{1}{\sqrt{h}} = 0,20641 + 1,5479 \cdot \frac{1}{d}$ . Assim, a partir dessa equação verifica-se um ajuste adequado e eficiente para descrever a relação hipsométrica de *P. taeda* aos dados amostrados.

## CONCLUSÕES

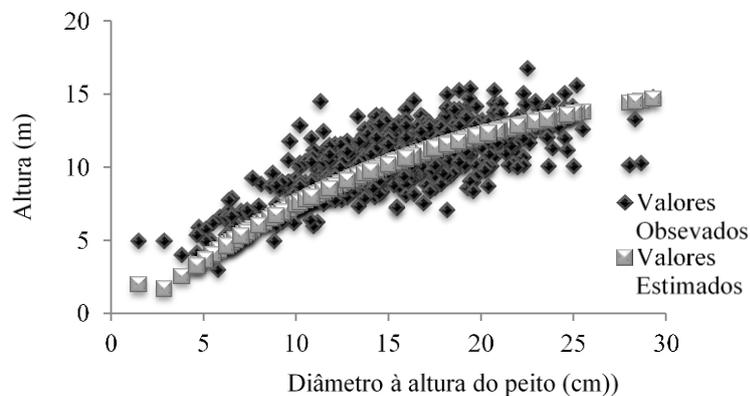
Diante dos resultados obtidos, dentre os modelos hipsométricos testados, o modelo  $\frac{1}{\sqrt{h}} = 0,20641 + 1,59479 \cdot \frac{1}{d}$ , apresentou resultados superiores de ajuste e precisão, tornando o modelo recomendado para a estimativa da variável altura em um povoamento de *Pinus taeda*, no município de Enéas Marques, Paraná.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARANDA, U.D.; ANTA, M.B.; DORADO, F.C.; GONZALEZ, J.G.A. Relación altura-diámetro generalizada para masa de *Pinus sylvestris* L. procedentes de repoblación en el noroeste de España. **Revista Investigación Agraria**, Madrid, v.14, n.2, p.229-241, jul./dez. 2005. Disponível em: <<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=1223642>>. Acesso em: 04 out. 2016.
- AGUILAR, D.A. Estudio de las relaciones altura-diámetro para seis especies maderables utilizadas en programas de reforestación en la Zona Sur de Costa Rica. **Revista Florestal Kurú**, Cartago, v.1, n.2, p.1-11, set. 2004. Disponível em: <[https://www.researchgate.net/publication/242602671\\_Estudio\\_de\\_las\\_relaciones\\_altura-diámetro\\_para\\_seis\\_especies\\_maderables\\_utilizadas\\_en\\_programas\\_de\\_reforestacion\\_en\\_la\\_Zona\\_Sur\\_de\\_Costa\\_Rica](https://www.researchgate.net/publication/242602671_Estudio_de_las_relaciones_altura-diámetro_para_seis_especies_maderables_utilizadas_en_programas_de_reforestacion_en_la_Zona_Sur_de_Costa_Rica)>. Acesso em: 04 out. 2016.
- CALDEIRA, M.V.W.; TONINI, H.; HOPPE, J.M.; WATZLAWICK, L.F.; SELLE, G.L. Definição de sítios em povoamentos de *Pinus elliottii* Engelm. na região de Encruzilhada do Sul, RS. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v.6, n.1, p.1-13, 1996. Disponível em: <<http://coral.ufsm.br/cienciaflorestal/artigos/v6n1/art1v6n1.pdf>>. Acesso em: 04 out. 2016.
- COSTAS, R.; DONAGH, P.M.; WEBER, E.; FIGUEREDO, S.; IRSCHICK, P. Influencias de la densidad y podas sobre la producción de *Pinus taeda* L. a los 7 años de edad. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v.15, n.3, p.275-284, jul./set. 2005. Disponível em: <<https://periodicos.ufsm.br/cienciaflorestal/article/view/1865/1112>>. Doi: <<http://dx.doi.org/10.5902/198050981865>>. Acesso em: 04 out. 2016.
- DACOSTA, L.P.E.; **Relações biométricas em povoamentos jovens de *Pinus taeda* L. na província de Corrientes, República Argentina**. 2008. 128p. Dissertação (Doutorado em Área de Concentração em Manejo Florestal) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2008.
- DONADONI, A.X.; PELISSARI, A.L.; DRESCHER, R.; ROSA, G.D. Relação hipsométrica para *Pinus caribaea* var. *hondurensis* e *Pinus tecunumanii* em povoamento homogêneo no Estado de Rondônia. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.40, n.12, p.2499-2504, dez. 2010. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/cr/v40n12/a806cr3907.pdf>>. Doi: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0103-84782010001200010>>. Acesso em: 04 out. 2016.
- DRESCHER, R. **Crescimento e produção de *Tectona grandis* Linn F., em povoamentos jovens de duas regiões do estado de Mato Grosso - Brasil**. 2004. 116 p. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2004.



**Figura 2** - Gráficos de dispersão dos resíduos. Fonte: Os autores (2015).



**Figura 3** - Distribuição dos valores observados e estimados a partir da equação:  $\frac{1}{\sqrt{h}} = \beta_0 + \beta_1 \cdot \frac{1}{d}$  para *Pinus taeda*.

- FINGER, C.A.G. **Fundamentos da biometria florestal**. Santa Maria: UFSM/CEPEF/FATEC, 2006. 269p.
- FIGUEIREDO, R.; NASCIMENTO, F.A.F.; FILHO, A.F.; MIRANDA, G.M.; ARCE, J.E.; DIAS, A.N. Comparação de modelos para expressar a relação hipsométrica em plantios de *Pinus taeda* L. In: SEMANA DE INTEGRAÇÃO ENSINO, PESQUISA E EXTENSÃO, 1., 2009, Irati, PR. **Anais...** Irati, PR, 2009.
- Florestas do Brasil em resumo. Ministério do Meio Ambiente; Serviço Florestal Brasileiro. Brasília: 2013. 188p.
- INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES - IBÁ. **Indústria brasileira de árvores**. 2016. 64p. Disponível em: <[http://iba.org/images/shared/Biblioteca/IBA\\_RelatorioAnual2016\\_.pdf](http://iba.org/images/shared/Biblioteca/IBA_RelatorioAnual2016_.pdf)>. Acesso em: 03 out. 2016.
- JESUS, C.M.; MIGUEL, E.P.; ENCINAS, J.I. Avaliação de diferentes hipsômetros para medição da altura total em um povoamento clonal de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*. **Enciclopédia Biosfera, Centro Científico Conhecer**, Goiânia, v.8, n.15, p.291-299, 2012. Disponível em: <<http://www.conhecer.org.br/enciclop/2012b/ciencias%20agrarias/avaliacao%20de%20diferentes.pdf>>. Acesso em: 03 out. 2016.
- JESUS, C.M.; MIGUEL, E.P.; AZEVEDO, G.B.; AZEVEDO, G.T.O.S.; PEREIRA, R.S. Modelagem hipsométrica em povoamento clonal de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* no Distrito Federal. **Enciclopédia Biosfera, Centro Científico Conhecer**, Goiânia, v.11, n.21, p.1298-1308, 2015. Disponível em: <<http://www.conhecer.org.br/enciclop/2015b/agrarias/modelagem%20hipsometrica.pdf>>. Acesso em: 03 out. 2016.
- MAACK, R. **Geografia física do estado do Paraná**. 4.ed. Rio de Janeiro: UEPG, 2012. 526p.
- MARTINS, A.P.M.; CARVALHO, D.E.; FRANCESCHI, F.; GALLO, J.C.; VUADEN, E.; WEBER, V.P. Relação hipsométrica para *Pinus elliottii* Engelm em diferentes posições sociológicas em Dois Vizinhos (PR). **Revista Scientia Agraria Paranaensis**, Marechal Cândido Rondon, v.15, n.2, p.158-163, abr./jun. 2016. Disponível em: <<http://www.bibliotekevirtual.org/index.php/2013-02-07-03-02-35/2013-02-07-03-03-11/1901-sap/v15n02/19726-relacao-hipsometrica-para-pinus-elliottii-engelm-em-diferentes-posicoes-sociologicas-em-dois-vizinhos-pr.html>>. Doi: <http://dx.doi.org/10.18188/1983-1471/sap.v15n2p158-163>.
- MENDONÇA, A.R.; CORANDIN, C.M.; PACHECO, G.R.; VIEIRA, G.C.; ARAÚJO, M.S.; INTERAMNENSE, M.T. Modelos hipsométricos tradicionais e genéricos para *Pinus caribaea* var. *hondurensis*. **Pesquisa Florestal Brasileira**. Colombo, v.35, n.81, p.47-54, 2015. Disponível em: <<http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/122904/1>>. Doi: 10.4336/2015.pfb.35.810.710. Acesso em: 03 out. 2016.
- THIERSCH, C.R.; ANDRADE, M.G.; MOREIRA, M.F.B.; LOIBEL, S. Estimativa da relação hipsométrica em clones de *Eucalyptus* sp. com o modelo de curtis ajustado por métodos bayesianos empíricos. **Revista Árvore**, Viçosa, v.37, n.1, p.01-08, 2013. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/01047760201521031781>>. Doi:10.1590/01047760201521031781. Acesso em: 03 out. 2016.
- USDA FOREST SERVICE. **Technology transfer, Pinus taeda**. Disponível em: <<http://www2.fpl.fs.fed.us/techsheets/softwoodNA/htmldocs/Pinustaeda.html>>. Acesso em: 25 jul. 2016.