



Núcleo de Meio Ambiente  
 Universidade Federal do Pará  
 Rua Augusto Corrêa, 01, Guamá  
 Belém, Pará, Brasil  
<https://periodicos.ufpa.br/index.php/agroecossistemas>

**Renildo Medeiros da Silva**

Universidade do Estado do Pará  
 renildomedeiros14@hotmail.com

**Fernanda da Silva Mendes**

Universidade do Estado do Pará  
 mendes.fsm@gmail.com

**Deivison Venício Souza**

Universidade Federal do Pará  
 deivisonvs@ufpa.br

**Jaquelyne Rosa da Silva**

Universidade do Estado do Pará  
 jakyrosa19@gmail.com

**Alana Letícia Pereira de Oliveira**

Universidade do Estado do Pará  
 alana.leticia@hotmail.com

## MODELAGEM DA RELAÇÃO HIPSOMÉTRICA PARA UM POVOAMENTO URBANO DE *Swietenia macrophylla* King NO MUNICÍPIO DE MARABÁ, PARÁ, BRASIL

**RESUMO:** As relações hipsométricas têm utilidade na mensuração florestal, pois em várias situações torna-se proeminente a estimativa da altura de uma árvore a partir de funções matemáticas acuradas, diminuindo-se o tempo de execução e os custos de inventários florestais. Este trabalho teve como objetivo ajustar modelos hipsométricos tradicionais e selecionar aquele mais acurado para a predição da altura dos indivíduos de *S. macrophylla*. Foram selecionados 36 indivíduos de *S. macrophylla* situados na Praça do Mogno, Marabá, Pará. Foram testados cinco modelos hipsométricos tradicionais, em função da variável diâmetro a 1,30 m do solo (DAP) e suas transformações. Os critérios estatísticos para seleção do melhor modelo foram: i) significância da estatística F-Snedecor da Análise de Variância; ii) coeficiente de determinação ajustado ( $R^2_{aj}$ ); iii) erro padrão da estimativa em porcentagem ( $Sy_x\%$ ); iv) desvio médio percentual (DMP%); v) análise gráfica de resíduos; vi) significância do teste t-Student dos coeficientes da regressão. O modelo que apresentou mais acurácia na estimativa da altura total foi o Modelo 1  $\sqrt{H} = (DAP) / (-16,6089 + 8,1577 \cdot DAP)$ , por ter apresentado os melhores coeficientes ( $R^2_{aj} = 99,95\%$ ;  $Sy_x\% = 0,1840\%$ ; DMP% = -0,0010) e excelente comportamento sob análise gráfica residual, sendo, portanto, o modelo indicado.

**PALAVRAS-CHAVE:** Mogno, Modelos hipsométricos tradicionais, Regressão linear.

Recebido em: 2017-09-04  
 Avaliado em: 2018-10-17  
 Aceito em: 2018-11-27

## MODELING HEIGHT-DIAMETER RELATIONSHIP FOR AN URBAN STAND OF *Swietenia macrophylla* King, IN THE MUNICIPALITY OF MARABÁ, PARÁ, BRAZIL

**ABSTRACT:** The height-diameter relationships have utility in the forest measurement, because in several situations it is preeminent the estimation of the height of a tree from accurate mathematical functions, decreasing the execution time and the costs of forest inventories. This work aimed to adjust traditional hypsometric models and select the most accurate for predicting the height of individuals of *S. macrophylla*. Thirty-six individuals of *S. macrophylla* were selected from the "Mogno Square", Marabá, Pará. Five traditional hypsometric models were tested as a function of the diameter variable at 1.30 m of soil (DBH) and its transformations. The statistical criteria to select the best model were: i) significance of the F-Snedecor analysis of the Variance Analysis; ii) adjusted coefficient of determination ( $R^2_{aj}$ ); iii) standard error of the estimate in percentage ( $Sy_x\%$ ); iv) average percentage deviation (APD%); v) graphic analysis of waste; vi) significance of the t-Student test of the regression coefficients. The model that presented the most accuracy in the estimation of total height was Model 1  $\sqrt{H} = (DBH) / (-16,6089 + 8,1577 \cdot DBH)$ , for having presented the best coefficients ( $R^2_{aj} = 99.95\%$ ,  $Sy_x\% = 0.1840\%$ ,  $APD\% = -0.0010$ ) and excellent performance under residual graph analysis, thus being the indicated model.

**KEYWORDS:** Mahogany, Traditional hypsometric models, Linear regression.

## MODELANDO LA RELACIÓN HIPOMÉTRICA PARA UN PUEBLO URBANO DE *Swietenia macrophylla* King EN LA CIUDAD DE MARABÁ, PARÁ, BRASIL

**RESUMEN:** Las relaciones hipsométricas son útiles en la medición forestal, porque en muchas situaciones es importante estimar la altura de un árbol en función de funciones matemáticas precisas, reduciendo el tiempo de ejecución y los costos de los inventarios forestales. Este trabajo tuvo como objetivo ajustar los modelos hipsométricos tradicionales y seleccionar el más preciso para predecir la altura de los individuos de *S. macrophylla*. Se seleccionaron 36 individuos de *S. macrophylla*, ubicados en Praça do Mogno, Marabá, Pará, y se probaron cinco modelos hipsométricos tradicionales, de acuerdo con el diámetro variable a 1,30 m del suelo (DBH) y sus transformaciones. Los criterios estadísticos para seleccionar el mejor modelo fueron: i) importancia del análisis F-Snedecor de estadísticas de varianza; ii) coeficiente de determinación ajustado ( $R^2_{aj}$ ); iii) error estándar de la estimación porcentual ( $Sy_x\%$ ); iv) desviación porcentual media (% MPD); v) análisis gráfico de residuos; vi) importancia de la prueba t de Student de los coeficientes de regresión. El modelo que presentó la mayor precisión en la estimación de la altura total fue el Modelo 1  $\sqrt{H} = (DBH) / (-16.6089 + 8.1577 \cdot DBH)$ , porque presentó los mejores

coeficientes ( $R^2_{aj} = 99.95\%$ ;  $S_{yx} \% = 0.1840\%$ ;  $DMP\% = -0.0010$ ) y excelente comportamiento bajo análisis gráfico residual, siendo así el modelo indicado.

**PALABRAS CLAVES:** Caoba, Modelos hipsométricos tradicionales, Regresión lineal.

## INTRODUÇÃO

*Swietenia macrophylla* King (Meliaceae), espécie nativa, não endêmica do Brasil, de ocorrência natural na região Norte, intermediária na escala de sucessão (TEIXEIRA et al., 2013). Possui elevado valor histórico-econômico para o desenvolvimento da região sudeste do Pará, visto que foi intensamente explorada no processo de colonização. Atualmente, está incluída na Lista Nacional Oficial de Espécies da Flora Ameaçadas de Extinção (BRASIL, 2014). É utilizada na arborização urbana, sendo recomendado que espécies importantes para a conservação, tal como *S. macrophylla*, sejam utilizadas amplamente nos ambientes urbanos, no intuito de torná-las mais conhecidas e favorecer sua conservação e práticas de educação ambiental (CAMILO et al.,

2013; CUPERTINO; EISENLOHR, 2013; LORENZI, 2014).

Para o planejamento florestal, torna-se fundamental o estudo das relações hipsométricas. O conhecimento do estoque de madeira em povoamentos florestais é essencial para orientar decisões visando atender demandas de determinados produtos florestais de forma otimizada (ANDRADE et al., 2015). Assim, os estudos da associação existente entre as variáveis altura de uma árvore em função de seu DAP (relação altura-diâmetro) e da dependência dessas variáveis são importantes, pois a estimativa do volume está acoplada à altura e, ambas, ao diâmetro (AZEVEDO et al., 2011). A altura de uma árvore é uma medida dendrométrica importante para determinação do volume do povoamento florestal (BILA, 2011).

Segundo Retslaff et al. (2015), determinar a altura de todas as árvores em inventários florestais pode acarretar mais erros que estimá-la, em razão das dificuldades de visualização, além de ser uma atividade que, segundo Schmidt et al. (2011), necessita de maior tempo de medição gerando custos maiores ao inventário florestal. Nesta perspectiva, a modelagem é um mecanismo que torna possível o ajuste de equações que estimem a altura das árvores em função do respectivo diâmetro, uma vez que, por meio de análise de regressão com apenas parte da altura das árvores das parcelas do inventário são geradas equações hipsométricas para se obter a variável altura das demais árvores, reduzindo custos operacionais (ANDRADE et al., 2015).

A relação hipsométrica consiste na determinação da altura de uma árvore em função de seu DAP, com utilidade nos trabalhos de mensuração florestal, pois em várias situações, é a única forma de definir a estrutura vertical do povoamento (ARAÚJO et al., 2012b). Existem fatores que podem afetar as

relações hipsométricas, cabendo ressaltar a espécie, posição sociológica, idade, tamanho da copa, densidade, sítio, regime do manejo silvicultural (RUFINO et al., 2010; ARAÚJO et al., 2012b; SOUSA et al., 2013).

Algumas espécies apresentam comportamento distinto em relação a alguns modelos, sendo necessário o ajuste de novas equações a fim de identificar aquelas mais adequadas a cada espécie de acordo com a região que esta encontra-se estabelecida e, ainda, com as condições de manejo em que a floresta foi submetida (AZEVEDO et al., 2011). Para Mendonça et al. (2015), essas variações nas características do povoamento acarretam necessidade de ajuste de modelos para cada situação em particular. Nestes casos, o emprego dos modelos genéricos apresenta como vantagem a possibilidade de acrescentar outras variáveis independentes aos modelos tradicionais.

Nota-se que trabalhos sobre equações hipsométricas vem se tornando muito aplicáveis, afim de tornar ágil o inventário. Portanto, este

estudo de caráter experimental, teve como objetivo ajustar modelos hipsométricos tradicionais e indicar àquele(s) mais acurado(s) para estimar a altura da espécie *S. macrophylla* situada na Praça do Mogno, no município de Marabá, Pará.

## MATERIAL E MÉTODOS

### LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DO ESTUDO

O estudo foi realizado em uma população de *S. macrophylla* (mogno), em área urbana de 4000 m<sup>2</sup> conhecida como "Praça do Mogno", localizada no núcleo Cidade Nova, no município de Marabá, Pará, sob as coordenadas 5° 21' 44,6" S; 49° 7' 48,9" W, sendo uma área plana. Há 18 anos se encontra abandonada, estando sujeita apenas a capinas periódicas. A classificação do clima da cidade é do tipo tropical quente e úmido (Aw) segundo Köppen (ALVARES et al., 2013), com temperatura média de 28 °C, caracterizado por um período seco entre os meses de maio e outubro e um período chuvoso entre os meses de novembro a abril, estando o índice de precipitação

pluvial em torno de 2.000 mm/ano (ALMEIDA, 2007). Os solos do tipo Argissolo Vermelho Amarelo são predominantes no município de Marabá, Pará (EMBRAPA, 2013).

Neste fragmento urbano apenas duas espécies foram plantadas: *Licania tomentosa* (Benth.) Fritsch (oití) e *S. macrophylla* (mogno), espécie adotada para o estudo, com seus indivíduos datando 44 anos de idade, plantados em espaçamento maior que 3 metros, distribuídos de modo não regular.

### MEDIÇÃO DAS VARIÁVEIS DAP E ALTURA E MODELOS TESTADOS

Obteve-se os valores de diâmetro à altura do peito a 1,30 m do solo (DAP) e a altura total de todos os indivíduos, sendo esta obtida com o auxílio de baliza de 4 m de comprimento pelo método da superposição dos ângulos iguais de acordo Silva e Paula Neto (1979). Foram testados 5 modelos tradicionais (Tabela 1), avaliados para estimativa da altura total, selecionados na literatura florestal, todos incluem o DAP e suas transformações.

**Tabela 1.** Modelos hipsométricos tradicionais testados para estimar a relação hipsométrica de *S. macrophylla*, na Praça do Mogno, em Marabá, Pará.

Nº	Modelos	Autor
1	$\sqrt{H} = (DAP) / (\beta_0 + \beta_1 \cdot DAP) + \epsilon_i$	-
2	$DAP / \sqrt{H} = \beta_0 + \beta_1 \cdot DAP + \epsilon_i$	Hiperbólico
3	$DAP^2 / H = \beta_0 + \beta_1 \cdot DAP + \beta_2 \cdot DAP^2 + \epsilon_i$	Prodan
4	$DAP^2 / (H - 1,30) = \beta_0 + \beta_1 \cdot DAP + \beta_2 \cdot DAP^2 + \epsilon_i$	Prodan
5	$\sqrt{DAP^2 / (H - 1,30)} = \beta_0 + \beta_1 \cdot DAP + \epsilon_i$	Naslund

Em que: H = altura total da árvore (m); DAP = diâmetro medido a 1,30 m do solo (cm);  $\beta_0$ ,  $\beta_1$ ,  $\beta_2$  = coeficientes da regressão; e  $\epsilon_i$  = termo de erro aleatório.

#### CRITÉRIOS ESTATÍSTICOS PARA SELEÇÃO DOS MODELOS

Os critérios estatísticos para seleção do melhor modelo foram: i) significância da estatística F-Snedecor da Análise de Variância; ii) coeficiente de determinação ajustado ( $R^2_{aj}$ ); iii)

erro padrão da estimativa em porcentagem ( $Sy_x\%$ ); iv) desvio médio percentual (DMP%); v) análise gráfica de resíduos; vi) significância do teste t-Student dos coeficientes da regressão, conforme apresentados na Tabela 2.

**Tabela 2.** Parâmetros estatísticos utilizadas para avaliar o desempenho no ajuste dos modelos.

Descrição	Representação
ii) Coeficiente de determinação ajustado	$R^2_{aj} = 1 - [(n - 1) / (n - p)] \cdot (Sq.res) / (Sq.tot)$
iii) Erro padrão de estimativa em porcentagem	$Sy_x = [(\sqrt{[QMres]} / \bar{h})] \cdot (100)$
iv) Desvio médio percentual	$DMP = \frac{1}{n(pares)} \sum [(ho - he) / ho] \cdot 100$
v) Resíduos	Resíduos = $[(ho - he) / ho] \cdot 100$

Em que: n = número de dados observados; p = número de coeficientes do modelo; Sq.res = soma dos quadrados dos resíduos/erros para a variável altura; Sq.tot = soma dos quadrados total para a variável altura; QMres = quadrado médio do resíduo; ho = altura observada (m); he = altura estimada pela equação (m);  $\bar{h}$  = média aritmética das alturas; n (pares) = número de pares de he e ho.

Para verificar a presença de multicolinearidade entre as variáveis dependente e independente, isto é, se

havia relação de dependência forte entre as mesmas, utilizou-se o fator de inflação de variância (LOESCH, 2012).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

As estatísticas descritivas para os dados utilizados no ajuste são apresentadas na Tabela 3. A altura apresentou baixo coeficiente de variação, abaixo de 10%, sendo menor que o diâmetro, o que indicou heterogeneidade no conjunto de dados. A altura manteve-se homogênea, portanto, a variação do diâmetro não foi explicada por competição por espaço e/ou luz, pois

o povoamento foi plantado. Estes dados contrapõem Costa et al. (2014), considerando em florestas que a alta variação nos dados de diâmetro resulta em competição por espaço e luz, assim, árvores com menor crescimento diamétrico tendem a investir mais no crescimento em altura na busca de luz, enquanto as árvores jovens e dominantes apresentam maior crescimento em altura à medida que engrossam.

**Tabela 3.** Estatística descritiva das variáveis dendrométricas para povoamento de *S. macrophylla*, no município de Marabá, Pará.

Variáveis	Parâmetros				
	Média	Sd	CV (%)	Mínimo	Máximo
DAP	55,6	12,94	23,27	24,51	82,67
Altura	16,49	1,39	8,45	14,00	19,00

Em que: Sd = desvio padrão; CV (%) = coeficiente de variação.

Outros fatores podem estar envolvidos nas variações observadas, pois o povoamento em estudo

encontra-se em fragmento urbano, com espaçamento que não proporciona competição, não

recebendo tratos silviculturais (como poda ou desbaste, por exemplo), o comportamento da própria espécie no local, o sítio, fatores ambientais intrínsecos ao povoamento (ARAÚJO et al., 2012b; SOUSA et al., 2013). A homogeneidade da variância é uma pressuposição da análise de regressão que influencia na precisão dos modelos de relação hipsométrica (MENDONÇA et al., 2015), podendo o grau de heterogeneidade da relação altura-diâmetro dificultar a aplicação de modelos hipsométricos (ANDRADE et al., 2015).

A relação altura-diâmetro para o conjunto de dados proveniente do povoamento urbano estudado foi baixa. Mediante uma condição de acentuada competição essa relação tende a ser maior, oposto do que se verifica com a concorrência baixa ou inexistente, induzindo os indivíduos de determinada espécie apresentarem padrões morfométricos semelhantes (SANQUETTA et al., 2013), o que não

foi verificado na área uma vez que as demais espécies não interferem *S. macrophylla*.

O exame da matriz de correlação de Pearson entre as variáveis dependentes e independentes e entre as independentes são apresentadas na Tabela 4, foram significativos ao nível de 5% de probabilidade. Como citado anteriormente, os indivíduos foram plantados e não sofreram nenhum tipo de trato silvicultural. Assim, Azevedo et al. (2011) retratam que em um povoamento florestal sem manejo, tende-se a verificar baixa correlação entre as variáveis altura e diâmetro, entretanto, isto foi verificado apenas em uma situação entre variável dependente e independente ( $\sqrt{H}$  versus DAP). As demais correlações indicaram forte associação entre as variáveis, ou seja, em geral, as transformações nas variáveis dependentes culminaram em valores aceitáveis para a correlação com as variáveis independentes.



**Tabela 4.** Matriz de correlação de Pearson entre variáveis dependentes e independentes e entre as variáveis independentes das equações hipsométricas ajustadas para povoamento de *S. macrophylla*, no município de Marabá, Pará.

	DAP	DAP <sup>2</sup>
√H	0,24	-
DAP/√H	0,98	-
DAP <sup>2</sup> /H	0,97	0,99
DAP <sup>2</sup> /(H-1,30)	0,97	0,98
√(DAP <sup>2</sup> /(H-1,30))	0,98	-
DAP	-	0,99

Valores significativos ao nível de 5% de probabilidade ( $p \leq 0,05$ ).

Entretanto, necessita-se considerar a forte correlação entre as variáveis independentes (DAP e DAP<sup>2</sup>) encontradas nos modelos ajustados a partir das equações 3 e 4 (Prodan), pois indica multicolinearidade. Segundo O'Brien (2007), a multicolinearidade alta aumenta a variância dos coeficientes da regressão, tornando-os instáveis e de difícil interpretação, assim, é considerada limitante por muitos autores. O valor do Fator de Inflação da Variância para ambos os modelos de Prodan foi alto (média de

31,55), logo, a multicolinearidade existente na análise da regressão foi considerada insatisfatória para os preditores dos modelos.

Os valores dos coeficientes e parâmetros estatísticos provenientes do ajuste dos cinco modelos hipsométricos testados para a estimativa da variável altura total (H), em função da variável independente diâmetro à altura do peito (DAP), para o povoamento de *S. macrophylla*, estão apresentados nas Tabelas 5 e 6.

**Tabela 5.** Valores dos coeficientes de regressão dos modelos hipsométricos ajustados e suas significâncias pelo teste t-Student para povoamento de *S. macrophylla*, no município de Marabá, Pará.

Nº	Modelo	$\beta_0$	$\beta_1$	$\beta_2$
1	-	-16,6089 ( $p= 5,78E-48$ )	8,1577 ( $p= 3,82E-58$ )	-
2	Hiperbólico	0,5129 ( $p= 0,22400$ )	0,2371 ( $p= 1,03E-26$ )	-
3	Prodan	3,6790 ( $p= 0,91597$ )	0,1263 ( $p= 0,91926$ )	0,0573 ( $p= 7,8E-06$ )
4	Prodan	3,9609 ( $p= 0,92317$ )	0,1669 ( $p= 0,90941$ )	0,0617 ( $p= 0,00003$ )
5	Naslund	0,5961 ( $p= 0,20347$ )	0,2460 ( $p= 2,93E-26$ )	-

$\beta_0$ ,  $\beta_1$ ,  $\beta_2$ ,  $\beta_3$  = coeficientes da regressão;  $p$ -value: indica o nível de significância do teste t para cada coeficiente da regressão ( $\alpha = 0,05$ ).

**Tabela 6.** Valores dos parâmetros de precisão para povoamento de *S. macrophylla*, no município de Marabá, Pará.

Nº	Modelo	Critérios estatísticos de análise dos ajustes					$p$ -value
		$R^2_{aj}$	Syx	Syx (%)	DMP (%)	F	
1	-	0,9995	0,0303	0,1840	-0,0010	72083,3	3,82E-58
2	Hiperbólico	0,9691	0,5397	3,2749	0,1573	1099,56	1,77E-27
3	Prodan	0,9689	15,2272	92,3952	0,6839	546,744	5,04E-26
4	Prodan	0,9634	17,9352	108,8266	0,7978	461,307	7,6E-25
5	Naslund	0,9636	0,6102	3,7027	0,1856	927,305	2,93E-26

$R^2_{aj}$ = Coeficiente de determinação ajustado; Syx=Erro padrão da estimativa (m); Syx (%) = Erro padrão da estimativa em porcentagem; DMP (%) = Desvio médio percentual; F = valor calculado do teste F;  $p$ -value =  $p$ -valor do F crítico registrado.

Devido à multicolinearidade, os modelos 3 e 4 (Prodan) apresentaram coeficientes de regressão imprecisos, a Tabela 5 mostra que dois dos três coeficientes foram não significativos,

considerando-se o teste t-Student dos coeficientes da regressão ( $\alpha = 0,05$ ). Outro indicativo, observado na Tabela 6, é que apesar dos altos valores para o coeficiente de determinação

ajustado, os erros padrão de estimativa em porcentagem foram elevados. Valente *et al.* (2011) citam estes indicativos observados como indícios da multicolinearidade. Desse modo, os modelos de Prodan foram descartados devido a impossibilidade de estimação da altura em função do DAP.

O teste t-Student mostrou todos os coeficientes de regressão do modelo 1 estatisticamente significativos ao nível de 5% de probabilidade. Para os modelos Hiperbólico e Naslund um dos dois coeficientes presentes no modelo foi significativo ( $\beta_1$ ). O *p-value* indica o nível de significância do teste t-Student para cada coeficiente da regressão ( $\alpha = 0,05$ ). Porém, Grimes e Schulz (2002) relatam que vários pesquisadores analisando o *p-value* sob o ponto de vista estatístico criticam o parâmetro, considerando que amostras grandes tendem a produzir "*p-value*" pequenos e vice-versa, ou seja, consideram a medida influenciável pelo tamanho da amostra, que neste estudo é reduzido.

A estatística F-Snedecor da Análise de Variância (ANOVA) ao nível de

significância de 5% de probabilidade rejeitou a hipótese de não haver regressão. Desse modo, infere-se que ao menos uma variável independente está relacionada com um valor da variável dependente (altura) para todos os modelos testados, ou seja, a regressão explica a relação altura-diâmetro. O modelo 1 apresentou o maior valor para a estatística em análise, discrepante em relação ao verificado nos demais modelos, sendo o modelo mais preciso para o teste F.

Desconsiderando-se os modelos de Prodan (3 e 4) descartados pela multicolinearidade, através do coeficiente de determinação ajustado, verificou-se superioridade do modelo 1 com  $R^2_{aj}$  (coeficiente de determinação ajustado) = 0,9995. Contudo, os modelos Hiperbólico e Naslund apresentaram boas estatísticas para o parâmetro, com  $R^2_{aj} = 0,9691$  e  $0,9636$ , respectivamente. Donadoni *et al.* (2010) verificaram o modelo hiperbólico como o melhor para estimativa da altura em função do DAP em plantios homogêneos no estado de Rondônia.

Miranda *et al.* (2015) consideram que sítios de maiores capacidades produtivas apresentam melhores resultados para o coeficiente de determinação ajustado.

Araújo *et al.* (2012a) estudando relações dendrométricas em fragmentos de povoamentos de *Pinus* sp. em Minas Gerais observaram que um modelo genérico de Naslund, semelhante ao ajustado no presente estudo, foi o mais adequado para estimar a altura total das árvores.

Hess *et al.* (2014) ajustando relações hipsométricas para espécies da Floresta Amazônica verificou baixos valores do coeficiente de determinação ajustado para 70% dos modelos, o que demonstrou baixa correlação entre as variáveis dependente e independente devido a discrepâncias na relação altura-diâmetro, também menor desempenho das demais estatísticas, quando comparado ao ajuste de variáveis dendrométricas com maior correlação biológica. Estes dados contrapõem os resultados do presente estudo, uma vez que apesar da baixa

correlação entre as variáveis do Modelo 1, o mesmo apresentou valor para  $R^2_{aj}$  satisfatório ao nível de 5% de probabilidade.

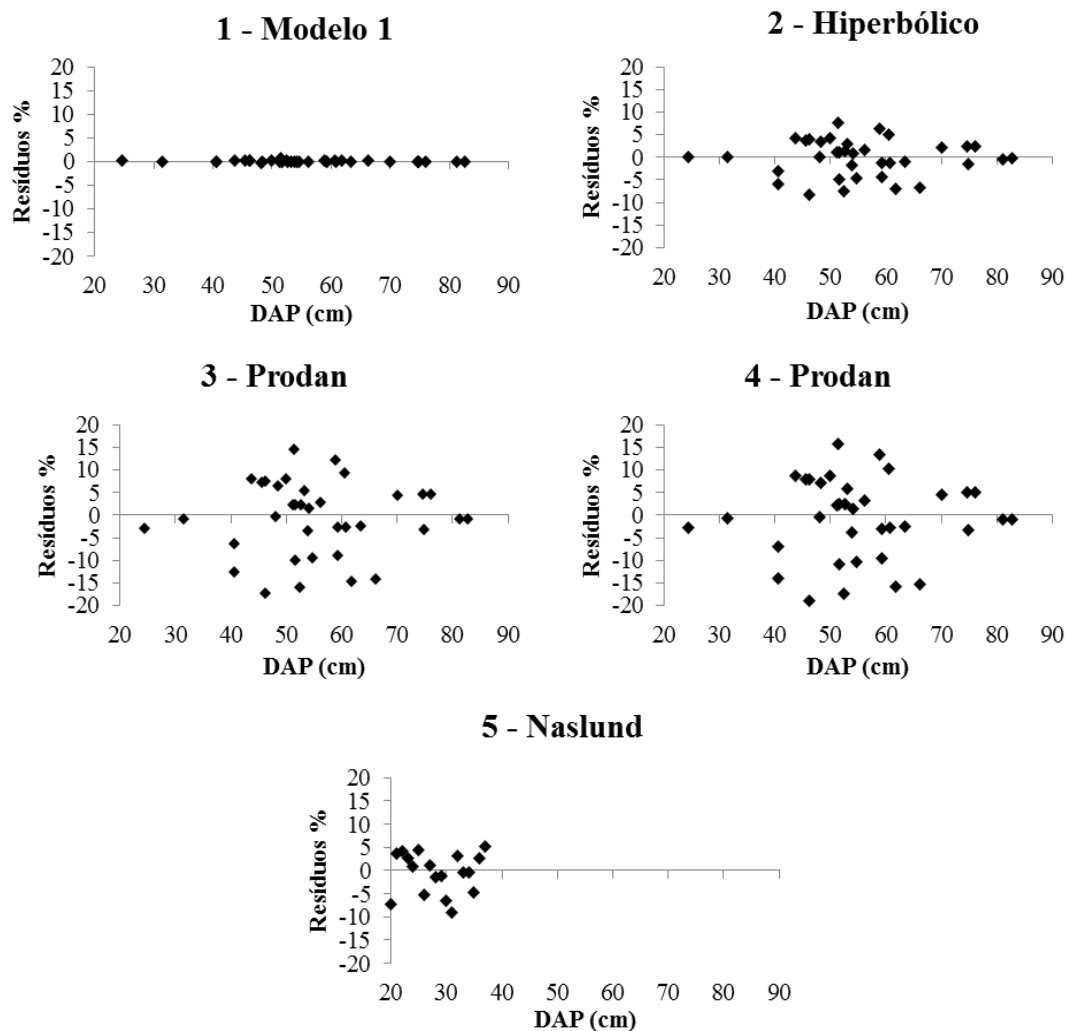
Os modelos 1, 2 (Hiperbólico) e 5 (Naslund) apresentaram baixos valores de erro padrão de estimativa em porcentagem, variando de 0,1840 (Modelo 1) a 3,7027 (Naslund). Ambos os modelos de Prodan (modelos 3 e 4) apresentaram  $Syx\%$  acima de 90%. Quanto menor o valor de  $Syx\%$  mais precisa é a estimativa (MACHADO *et al.*, 2008), logo o modelo 1, novamente, se destaca em detrimento aos demais. Os valores de desvio médio percentual (DMP%) para os modelos ajustados foram abaixo de 1%, variando entre - 0,0010% a 0,7978%, o modelo 1 apresentou o melhor resultado.

A distribuição dos resíduos para o Modelo 1 mostrou-se homogênea, apresentando boa distribuição gráfica dos resíduos em torno da média, seguida pelo modelo Hiperbólico, com leve heterogeneidade ao subestimar a variável altura. Os modelos Prodan mostraram distribuição heterogênea,

com tendenciosidade em superestimar e subestimar a variável altura em função da variável DAP. O modelo

Naslund apresentou distribuição dos resíduos concentrada nos intervalos iniciais de DAP (Figura 1).

Figura 1. Gráficos de distribuição dos resíduos em porcentagem dos modelos tradicionais utilizados para o ajuste de equações para obtenção da altura de um povoamento de *S. macrophylla*, no município de Marabá, Pará.



A tendência em subestimar e superestimar a variável altura ocorreu nas classes intermediárias de diâmetros para os modelos Hiperbólico e Prodan. Apesar do modelo Naslund apresentar valor próximo ao modelo Hiperbólico para Syx%, através da análise gráfica residual foi indicado como um dos menos acurados para predição da variável dependente juntamente aos modelos Prodan. Porém, Souza *et al.* (2013) analisando relações hipsométricas para *Eucalyptus urophylla* conduzidos sob regime de alto fuste e talhadia no Sudoeste da Bahia, verificaram que para todos os modelos ajustados não houve tendenciosidade nas estimativas da altura, inclusive para o modelo Prodan.

Santos *et al.* (2012), apesar de poucas árvores analisadas, também verificaram dados consistentes em seus estudos, demonstrando a veracidade da metodologia e a possibilidade do uso dos resultados, como neste estudo.

## CONCLUSÃO

O Modelo 1  $\sqrt{H} = (DAP) / (-16,6089 + 8,1577 \cdot DAP)$  foi o que apresentou

melhor acurácia para estimativa da variável altura em função do DAP, comprovado em todos os critérios estatísticos. Logo, informações acerca de outras populações de mogno no município e regiões adjacentes sob condições similares podem ser levantadas a partir da equação, gerando informações acerca da espécie, tanto em plantios comerciais quanto com o objetivo de conservação.

## REFERÊNCIAS

ALMEIDA, M. F. de. **Caracterização agrometeorológica do Município de Marabá-PA**. 2007. 77 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrárias de Marabá, Universidade Federal do Pará, Marabá, 2007.

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; MORAES, G. de; LEONARDO, J.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.

ANDRADE, V. C. L. de; KROETZ, E. A.; NICOLA, A.; SOUZA, P. B. de; NOHAMA, F. K.; LEITE, H. G.; BINOTII, M. L. M. da S. Amostragem e agrupamento de dados de relação hipsométrica em inventários florestais de Cerrado Tocantinense. *Pesquisa Florestal Brasileira*, Colombo, v. 35, n. 83, p. 227 - 238, 2015.

- ARAÚJO, E. J. G. de; PELISSARI, A. L.; DAVID, H. C.; MIRANDA, R. O. V. de; PÉLICO NETTO, S.; MORAIS, V. A.; SCOLFORO, J. R. S. Relações dendrométricas em fragmentos de povoamentos de pinus, em Minas Gerais. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 32, n. 72, p. 355 - 366, 2012a.
- ARAÚJO, E. J. G.; PELISSARI, A. L.; DAVID, H. C.; SCOLFORO, J. R. S.; PÉLICO NETTO, S.; MORAIS, V. A. Relação hipsométrica para candeia (*Eremanthus erythropappus*) com diferentes espaçamentos de plantio em Minas Gerais, Brasil. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 32, p. 257 - 268, 2012b.
- AZEVEDO, G. B.; SOUSA, G. T. O.; SILVA, H. F.; BARRETO, P. A. B.; NOVAES, A. B. Seleção de modelos hipsométricos para quatro espécies florestais nativas em plantio misto no Planalto da Conquista na Bahia. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v. 7, n. 12, p. 1 - 13, 2011.
- BILA, J. M. Relações hipsométricas de ecossistemas de mopane *Colophospermum mopane* em Mabalane, Província de Gaza, Moçambique. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 31, n. 66, p. 155 - 160, 2011.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Portaria n. 443, de 17 de dezembro de 2014. Lista Nacional Oficial de Espécies da Flora Ameaçadas de Extinção. **Diário Oficial da União**, Brasília, ed. n. 245, seção 1, p. 110-121, 2014.
- CAMILO, G. P.; BREGAGNOLI, M.; SOUZA, C. A. S. Levantamento da biodiversidade florística da arborização urbana em Guaxupé–Minas Gerais. **Revista Agrogeoambiental**, v. 5, n. 1, 2013.
- COSTA, E. A.; FINGER, C. A. G.; CUNHA, T. A. da. Influência da posição sociológica na relação hipsométrica de *Araucaria angustifolia*. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v. 9, n. 1, p. 110 - 116, 2014.
- CUPERTINO, M. A.; EISENLOHR, P. V. Análise florística comparativa da arborização urbana nos campi universitários do Brasil. **Bioscience Journal**, v. 29, n. 3, 2013.
- DONADONI, A. X.; PELISSARI, A. L.; DRESCHER, R.; ROSA, G. D. da. 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, 2010.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AROPECUÁRIA – EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Centro Nacional de Pesquisa de Solos: Rio de Janeiro, 3. ed. rev. amp., 2013. 353 p.
- GRIMES, D. A.; SCHULZ, K.F. An overview of clinical research: the lay of the land. **The Lancet**, v. 359, n. 9300, p. 57 - 61, 2002.
- HESS, A. F.; BRAZ, E. M.; THAINES, F.; MATTOS, P. P. Ajuste de relação hipsométrica para espécies da Floresta Amazônica. **Ambiência**, Guarapuava, v. 10, n. 1, p. 21 - 29, 2014.

- LOESCH, C. **Probabilidade de estatística**. Rio de Janeiro: LTC, 2012. 261 p.
- LORENZI, H. **Árvores brasileiras**: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas do Brasil. Vol. 1, 6ª ed. São Paulo: Instituto Plantarum de Estudos da Flora, 2014. 384 p.
- MACHADO, S. A.; NASCIMENTO, R. G. M.; AUGUSTYNCZIK, A. L. D.; SILVA, L. C. R.; FIGURA, M. A.; PEREIRA, E. M.; TÊO, S. J. Comportamento da relação hipsométrica de *Araucaria angustifolia* no capão da Engenharia Florestal da UFPR. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, n. 56, p. 5 - 16, 2008.
- MENDONÇA, A. R. de; CHAVES, S. de P.; CARVALHO, N. C. Modelos hipsométricos generalizados mistos na predição da altura de *Eucalyptus* sp. **Cerne**, Lavras, v. 21, n. 1, p. 107-115, 2015.
- MIRANDA, R. O. V. de; DAVID, H. C.; EBLING, Â. A.; MÔRA, R.; FIORENTIN, L. D.; SOARES, I. D. Hypsometric stratification by site and total height classes of *Eucalyptus* clonal plantations. **Advances in Forestry Science**, v. 1, n. 4, p. 113 - 119, 2015.
- O'BRIEN, R. M. A Caution regarding rules of thumb for variance inflation factors. **Quality & Quantity**, v. 41, n. 5, p. 673 - 690, 2007.
- RETSLAFF, F. A. D. S.; FIGUEIREDO FILHO, A.; DIAS, A. N.; BERNETT, L. G.; FIGURA, M. A. Curvas de sítio e relações hipsométricas para *Eucalyptus grandis* na região dos Campos Gerais. **Cerne**, Lavras, v. 21, n. 2, p. 219 - 225, 2015.
- RUFINO, R. F., MIGUEL, E. P., SANTOS, G. A., SANTOS, T. E. B., SOUZA, F. Ajuste de modelos hipsométricos para um povoamento de eucalipto conduzido sobre o sistema de rebrota. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v. 6, n. 10, p. 1 - 10, 2010.
- SANQUETTA, C. R.; DALLA CORTE, A. P.; ROGLIN, A.; PIMENTEL, A. Relações diâmetro-altura para espécies lenhosas em um fragmento de Floresta Ombrófila Mista no Sul do Paraná. **Iheringia: Série Botânica**, Porto Alegre, v. 68, n. 1, p. 103 - 114, 2013.
- SANTOS, A. T.; MATTOS, P. P.; BRAZ, E. M.; ROSOT, N. C. Equação de volume e relação hipsométrica para plantio de *Ocotea porosa*. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 32, n. 69, p. 13 - 21, 2012.
- SCHMIDT, M.; KIVISTE, A.; GADOW, K. V. A spatially explicit height-diameter model for Scots pine in Estonia. **European Journal of Forest Research**, v. 130, n.2, p. 303 - 315, 2011.
- SILVA, J. A. A. da; PAULA NETO, F. de. **Princípios básicos de dendrometria**. UFRPE, 1979. 191 p.
- SOUZA, G. T. O.; AZEVEDO, G. B.; BARRETO, P. A. B.; CONCEICAO JUNIOR, V. Relações hipsométricas para *Eucalyptus urophylla* conduzidos sob regime de alto fuste e talhadia no Sudoeste da Bahia. **Scientia Plena**, Sergipe, v. 9, n. 4, p. 1 - 7, 2013.
- TEIXEIRA, W. F.; FAGAN, E. B.; SILVA, J. O.; DA SILVA P. G.; SILVA F. H.; SOUSA M. C.; CANEDO, S. C. Atividade da enzima nitrato redutase e crescimento de *Swietenia*



*macrophylla* King sob efeito de sombreamento. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 20, n. 1, p. 91 - 98, 2013.

VALENTE, M. D. R.; QUEIROZ, W. T. de; PINHEIRO, J. G.; MONTEIRO, L. da S. Modelo de predição para o volume total de Quaruba (*Vochysia inundata* Ducke) via análise de fatores e regressão. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 35, n. 2, p. 307 - 317, 2011.