

**INSTITUTO FEDERAL DE MINAS GERAIS
CAMPUS SÃO JOÃO EVANGELISTA**

DIOGO DOS SANTOS DE OLIVEIRA

**MODELOS HIPSOMÉTRICOS PARA MUDAS DE *ASPIDOSPERMA POLYNEURON*
MÜLL. ARG. (APOCYNACEAE) E *CEDRELA FISSILIS* VELL. (MELIACEAE)**

**SÃO JOÃO EVANGELISTA
JANEIRO 2016**

DIOGO DOS SANTOS DE OLIVEIRA

**MODELOS HIPSOMÉTRICOS PARA MUDAS DE *ASPIDOSPERMA POLYNEURON*
MÜLL. ARG. (APOCYNACEAE) E *CEDRELA FISSILIS* VELL. (MELIACEAE)**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao
Instituto Federal de Minas Gerais - Campus
São João Evangelista como exigência parcial
para obtenção do título de Tecnólogo em
Silvicultura.

Orientador: Dr. Aderlan Gomes da Silva

SÃO JOÃO EVANGELISTA

JANEIRO 2016

FICHA CATALOGRÁFICA

O49m
2016 Oliveira, Diogo dos Santos de
 Modelos hipsométricos para mudas de *Aspidosperma polyneuron* Müll. Arg.
(Apocynaceae) e *Cedrela fissilis* Vell. (Meliaceae) / Diogo dos Santos de Oliveira.
– 2016.
33 f.

Trabalho de Conclusão de Curso (Tecnólogo em Silvicultura) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais – Campus São João Evangelista, 2016.

Orientador: Dr. Aderlan Gomes da Silva.

1. Altura. 2. Diâmetro do coleto. 3. Regressão linear. I. Oliveira, Diogo dos Santos de. II. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais – Campus São João Evangelista. III. Título.

CDD 634.95

Elaborada pela Biblioteca Professor Pedro Valério – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais – Campus São João Evangelista

Bibliotecário Responsável: Veríssimo Amaral Matias – CRB-6/3266

DIOGO DOS SANTOS DE OLIVEIRA

**MODELOS HIPSOMÉTRICOS PARA MUDAS DE *ASPIDOSPERMA POLYNEURON*
MÜLL. ARG. (APOCYNACEAE) E *CEDRELA FISSILIS VELL.* (MELIACEAE)**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Instituto Federal de Minas Gerais - Campus São João Evangelista como exigência parcial para obtenção do título de Tecnólogo em Silvicultura.

Aprovado em / /

BANCA EXAMINADORA

Orientador Prof. Dr. Aderlan Gomes da Silva

Instituição: Instituto Federal de Minas Gerais – Campus São João Evangelista

Prof. Me. Bruno Oliveira Lafetá

Instituição: Instituto Federal de Minas Gerais - Campus São João Evangelista

Prof. Dra. Juliana Jerásio Bianche

Instituição: Instituto Federal de Minas Gerais - Campus São João Evangelista

**MODELOS HIPSOMÉTRICOS PARA MUDAS DE *Aspidosperma polyneuron* MÜLL.
ARG. (APOCYNACEAE) E *Cedrela fissilis* VELL. (MELIACEAE)**

Resumo – O ajuste de modelos hipsométricos é uma prática comum para estimação da altura de árvores em inventários florestais. Mesmo que o sucesso dos programas de implantação de povoamentos florestais depender do fornecimento de mudas de qualidade, são poucos os trabalhos que aplicam essa modelagem em nível de viveiro. O objetivo foi ajustar e selecionar os melhores modelos hipsométricos tradicionais e lineares para estimar a altura de mudas de *Aspidosperma polyneuron* e de *Cedrela fissilis*. Os dados foram obtidos de mudas produzidas via propagação seminal e, posteriormente, divididos entre grupos de parametrização e validação. O desempenho de 12 modelos, que descrevem as alturas em função dos diâmetros na região do coleto, foram testados. O critério de seleção das equações mais precisas foi baseado em um conjunto de medidas de precisão e de estabilidade. O $S_{yx}(\%)$ foi diferente entre os modelos testados; variando mais para *A. polyneuron* (de 16,20% a 19,78%) e menos para *C. fissilis* (de 17,41% a 17,95%). O modelo hiperbólico “ $1/\sqrt{h} = \beta_0 + \beta_1 \cdot (1/d^2)$ ” e o exponencial “ $\ln(h) = \beta_0 + \beta_1 \cdot (1/d)$ ” foram aqueles de melhor performance quando ajustados para estimar a altura das mudas de *A. polyneuron* e de *fissilis*, respectivamente. Esses modelos foram validados com dados independentes, proporcionando estimativas confiáveis.

Palavras-chave: Altura. Diâmetro do coleto. Regressão linear.

**HYPSONETRIC MODELS FOR SEEDLINGS OF *Aspidosperma polyneuron* MULL.
ARG. (APOCYNACEAE) AND *Cedrela fissilis* VELL. (MELIACEAE)**

Abstract – Adjust of hypsonetric models is a common practice to estimate the height of trees in forest inventories. Even if the success of forest stands of implementation of programs depend on the supply of quality seedlings, are few studies that apply this modeling in nursery level. The objective was to adjust and select the best traditional and linear hypsonetric models to estimate the height of seedlings of *Aspidosperma polyneuron* and *Cedrela fissilis*. The data were obtained from seedlings produced through seed propagation and, subsequently, split between parameterization and validation groups. The performance of 12 models, that describe the heights according to the diameters in the collar region, were tested. The criterion for selection of the most precise equations was based on a set of precision and stability measurements. The $S_{yx}(\%)$ differed between tested models; varying more for *A. polyneuron* (16.20% to 19.78%) and fewer for *C. fissilis* (17.41% to 17.95%). The model hyperbolic “ $1/\sqrt{h} = \beta_0 + \beta_1 \cdot (1/d^2)$ ” and the exponential “ $\ln(h) = \beta_0 + \beta_1 \cdot (1/d)$ ” were those of better performance when adjusted to estimate the seedling height of *A. polyneuron* and *C. fissilis*, respectively. These models were validated using independent data, providing reliable estimates.

Keywords: Height. Collar diameter. Linear regression.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	8
2	REVISÃO DE LITERATURA	10
2.1	MODELOS MATEMÁTICOS LINEARES DE RELAÇÃO HIPSOMÉTRICA ...	10
2.2	PREDIÇÃO DA ALTURA DE MUDAS	11
2.3	INFORMAÇÕES GERAIS – <i>Cedrela fissilis</i> VELLOSO (MELIACEAE).....	12
2.4	INFORMAÇÕES GERAIS – <i>Aspidosperma polyneuron</i> MÜLLER ARGOVIENSIS (APOCYNACEAE)	12
3	METODOLOGIA	13
3.1	CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO E COLETA DE DADOS.....	13
3.2	AJUSTE E SELEÇÃO DE MODELOS DE RELAÇÃO HIPSOMÉTRICA.....	15
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	19
4.1	PARAMETRIZAÇÃO DOS MODELOS TESTADOS	19
4.2	VALIDAÇÃO DAS EQUAÇÕES SELECIONADAS PARA <i>A. polyneuron</i>	24
4.3	VALIDAÇÃO DAS EQUAÇÕES SELECIONADAS PARA <i>C. fissilis</i>	27
4.4	DEFINIÇÃO DOS MODELOS DE MELHOR DESEMPENHO	29
5	CONCLUSÕES	30
	REFERÊNCIAS	31

1 INTRODUÇÃO

A grande competitividade e a plena demanda de produtos florestais têm estimulado pesquisas sobre a mensuração florestal (RIBEIRO et al., 2010). A caracterização da altura e do diâmetro de mudas é uma etapa importante para o planejamento da produção e definição de critérios práticos para elaboração de um padrão de qualidade em viveiros florestais (FONSECA et al., 2002). Essa caracterização pode se tornar mais relevante à medida que aumenta a capacidade produtiva desses viveiros, um exemplo é quando se alcança milhões de mudas anuais e a padronização da produção é essencial para comercialização.

Medidas de altura são mais demoradas e onerosas quando comparadas com as de diâmetro (FERREIRA et al., 2014). A fim de reduzir o tempo e custos com a mensuração, é comum estimar a variável mais trabalhosa em função da mais fácil e de rápida medição (SANQUETTA et al., 2015). Esta estimativa permite uma sensível redução nos custos de amostragem e uma operacionalização mais eficaz. Salienta-se que a altura, determinada ou estimada, pode ser usada para cálculos de crescimento como o incremento em altura e em volume (RETSLAFF et al.; 2015).

A relação hipsométrica pode ser definida como a regressão da altura em função do diâmetro em uma determinada área e data, representada por um ajuste matemático (MACHADO et al., 2008; SCHIMIDT, 1977). Ressalta-se que as relações hipsométricas podem ser classificadas em tradicionais (locais) ou generalistas (gerais). As tradicionais são aquelas em função somente do diâmetro e indicadas para um banco de dados de mesma origem ou para aquele que apresente características análogas (TOMÉ et al., 2007). Entretanto, a relação do diâmetro com a altura pode ser influenciada pela idade, altura dominante, densidade, espécie e, eventualmente, pela própria localização de onde os dados são oriundos (ARAÚJO et al., 2012; MACHADO et al., 2008). As generalistas empregam, além do diâmetro, variáveis independentes como as anteriormente citadas. Em função disso, estas relações apresentam maior complexidade e morosidade durante o levantamento de dados, justificando o uso de equações tradicionais (ARAÚJO et al., 2012; BARTOSZECK et al., 2002).

Diversos modelos lineares, nas formas aritméticas (HENRICKSEN, 1950; TROREY, 1932) ou logarítmicas (CURTIS, 1967; STOFFELS; SOEST, 1953), podem ser testados e ajustados para obtenção de estimativas da altura de mudas. Na busca de definir um modelo adequado que descreva a relação hipsométrica vegetal, deve-se testar vários modelos e

selecionar aquele de melhor ajuste conforme critérios de seleção empregados (ARAÚJO et al., 2012; BARTOSZECK et al., 2002; MACHADO et al., 2008; SANQUETTA et al., 2015).

A estabilidade de um modelo hipsométrico trata-se da sua capacidade em fornecer estimativas confiáveis, sem viés e variabilidade pequena, para um conjunto de dados não usados no processo de parametrização. Embora a estimação seja uma medida indireta e sujeita a erros (THIERSCH et al., 2013), uma forma de avaliar essa estabilidade é usar um método de validação, como o *holdout method*. Este método é baseado na divisão do conjunto de dados em subconjuntos mutualmente exclusivos, em que parte dos dados são utilizados na parametrização e o restante, na validação (HAYKIN, 2001).

O ajuste de modelos hipsométricos é uma prática comum para estimação da altura de árvores em inventários florestais. É importante salientar que embora o sucesso dos programas de implantação de povoamentos florestais depender do fornecimento de mudas de qualidade, são poucos os trabalhos que aplicam essa modelagem em nível de viveiro, sobretudo, para espécies comerciais nativas. Assim, as duas espécies selecionadas para o presente trabalho foram lenhosas, apresentam interesse econômico e conhecidas pela qualidade da madeira, utilizada na fabricação de móveis e construção civil.

Aspidosperma polyneuron Müller Argoviensis, da família Apocynaceae, é conhecida popularmente como peroba rosa, ocorre no Brasil do Paraná até a Bahia, na região centro-oeste e em Rondônia, a densidade média de sua madeira é de $0,66 \text{ g.cm}^{-3}$ e a germinação pode chegar a 70,0 % em condições naturais (LORENZI, 2008, VALERIO et al., 2008a). *Cedrela fissilis* Velloso, pertencente à família Meliaceae (nome popular cedro rosa), ocorre em florestas semidecídua e pluvial atlântica, do Rio Grande do Sul até Minas Gerais e a densidade média de sua madeira é de $0,43 \text{ g.cm}^{-3}$ (LORENZI, 2008; VALÉRIO et al., 2008b; RIBAS et al., 2005). Uma árvore isolada desta espécie pode produzir mais de 1500 frutos e 60000 sementes férteis, além de uma germinação de até 93,0 % na ausência de pré-tratamentos (CORVELLO, 1999).

Mediante o exposto, o objetivo do presente trabalho foi ajustar e selecionar os melhores modelos hipsométricos tradicionais e lineares para estimar a altura de mudas de *A. polyneuron* e de *C. fissilis*.

2 REVISÃO DE LITERATURA

A altura e o diâmetro são atributos morfológicos empregados na avaliação da qualidade de mudas, no planejamento de seu transporte e dimensionamento de covas para o plantio, principalmente, na arborização de centros urbanos (FERREIRA et al., 2014; FONSECA et al., 2002; GOMES et al., 2002; RETSLAFF et al.; 2015). A altura de mudas por sua vez, não é uma grandeza que necessite de medição destrutiva, porém demanda maior tempo para ser medida em comparação com o diâmetro. Essa medição pode ser realizada com instrumentos simples e de forma direta (GOMES et al., 2002), como régua e fita métrica.

2.1 MODELOS MATEMÁTICOS LINEARES DE RELAÇÃO HIPSOMÉTRICA

O emprego de equações obtidas com o ajuste de modelos de relação hipsométrica pode reduzir o tempo gasto com o levantamento biométrico de mudas e permite aumentar o rendimento da amostragem e intensidade amostral. Isso se deve à redução de alturas medidas, sendo necessária a medição de apenas uma fração da amostra. A relação funcional entre altura e diâmetro é definida como hipsométrica (CAMPOS; LEITE, 2009). Esta relação pode ser representada por um ajuste matemático, linear ou não, através de uma regressão da altura em função do diâmetro (MACHADO et al., 2008; SCHIMIDT, 1977). É importante considerar que, o procedimento de predição da altura de plantas é totalmente empírico, pois na prática, nunca se sabe previamente qual é o modelo de relação hipsométrica mais adequado para uma situação particular (BATISTA et al., 2014).

O tratamento estatístico de modelos lineares é mais simples do que aqueles não lineares (GUJARATI, 2000). A estrutura da forma de estimação dos modelos matemáticos lineares é caracterizada por uma série de termos aditivos, ou que se somam. No caso dos modelos lineares de relação hipsométrica, cada termo tem uma medida de diâmetro, transformada ou não, sendo multiplicada por um coeficiente de regressão (β_i , $i = 1, 2, \dots$), com exceção do β_0 , que sempre aparece como uma simples constante (BATISTA et al., 2014).

Os modelos polinomiais de 1º, 2º (TROYEY, 1932) ou 3º grau são utilizados em razão da facilidade de ajuste, porém possuem pouco ou nenhum significado biológico (BATISTA et al., 2001). Os modelos hiperbólicos são amplamente usados para modelar o crescimento biológico e apresentam três propriedades matemáticas desejáveis para um modelo sigmoide: passa pela origem, tem ponto de inflexão e assíntota (BATISTA et al., 2014). Alguns

exemplos são os modelos de Prodan; Holzmesselehre (1965) e de Azevedo et al. (2011). Na prática, os modelos hiperbólicos são variantes das seguintes expressões hiperbólicas de acordo com Batista et al. (2001):

$$y = \frac{x^2}{\beta_0 + \beta_1 x^2} \quad \text{e} \quad y = \frac{x^2}{\beta_0 + \beta_1 x + \beta_2 x^2}$$

Os modelos de potência, ou log-linear, apresentam forte significado biológico (BATISTA et al., 2001), como o modelo de Stoffels; Soest (1953). Nesses modelos, todas as variáveis, dependente e independente(s), são expressas em forma logarítmica (GUJARATI, 2000).

Nos modelos semilogarítmicos, ou a variável dependente ou a(s) independente(s) está(ão) em forma logarítmica (GUJARATI, 2000). O modelo de Henricksen (1950) por sua vez, é de fácil ajuste e não apresenta estimativas irreais para a altura de grandes plantas, porém possui como desvantagem a possibilidade de apresentar estimativas negativas para altura de árvores muito pequenas (BATISTA et al., 2001).

Modelos semilogarítmicos que apresentam a variável dependente logaritmizada possuem uma tendência exponencial, sendo também conhecidos por modelos exponenciais. O modelo exponencial de Curtis (1967) é um exemplo desse caso e bastante utilizado na modelagem da altura em função da idade para a construção de curvas de índice de sítio (BATISTA et al., 2001).

2.2 PREDIÇÃO DA ALTURA DE MUDAS

A predição da altura de mudas possibilita a redução do tempo de medição e pode ser realizada adotando o seguinte procedimento (adaptado de BATISTA et al., 2014):

- Mede-se o diâmetro do coleto de todas as mudas da amostra;
- Mede-se a altura de uma subamostra da amostra de mudas;
- Estima-se a relação entre o diâmetro do coleto e a altura utilizando as mudas dessa fração da amostra;
- Utiliza-se a relação funcional encontrada para prever a altura de todas as mudas da amostra.

O procedimento descrito acima é comum em inventários de povoamentos florestais, principalmente, em florestas plantadas de rápido crescimento (CAMPOS; LEITE, 2009). Nesta situação, medem-se árvores ao contrário de mudas.

2.3 INFORMAÇÕES GERAIS – *Cedrela fissilis* VELLOSO (MELIACEAE)

Cedrela fissilis Velloso é uma espécie arbórea nativa muito explorada por ação extrativista. A madeira é nobre e utilizada para a fabricação de móveis e construção naval. A floração ocorre de setembro a dezembro e seus frutos amadurecem após a queda das folhas, entre julho e agosto (REITZ et al., 1983; CARVALHO, 1994). A árvore normalmente apresenta um tronco reto ou pouco tortuoso, com altura variando de 10 a 25 m de altura, diâmetro à altura do peito entre 40 e 80 cm (LORENZI, 2008).

Trata-se de uma espécie que possui como praga a broca-do-cedro (*Hypsipyla grandella* Zeller), que pode atacar o vegetal ainda não na fase juvenil e limitar seu cultivo. Ataques dessa praga podem ocorrer em viveiros, plantios ou regenerações naturais, danificando as gemas apicais. Sucessivos ataques podem resultar em um desenvolvimento arbustiforme ou mesmo matando a planta (GALLO et al., 2002).

2.4 INFORMAÇÕES GERAIS – *Aspidosperma polyneuron* MÜLLER ARGOVIENSIS (APOCYNACEAE)

Aspidosperma polyneuron Müller Argoviensis é uma espécie nativa da Floresta Estacional e se encontra em perigo de extinção devido a exploração inadequada e, na maioria das vezes, sem planejamento para fins madeireiros. A árvore é perenifólia, ocorre preferencialmente em solos profundos e pode apresentar de 20 a 30 m de altura, tronco com 60 a 90 cm de diâmetro (LORENZI, 2008). As sementes dessa espécie não possuem dormência e são aladas, favorecendo a dispersão anemocórica, porém, podem perder a viabilidade após seis meses quando armazenadas em laboratório (CARVALHO et al, 1994).

3 METODOLOGIA

3.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO E COLETA DE DADOS

Selecionaram-se árvores de *A. polyneuron* (diâmetro à 1,30 m de altura do solo, ou DAP, de 40 a 50 cm) e de *C. fissilis* (DAP de 80 a 90 cm) para a coleta de frutos em remanescentes florestais de Mata Atlântica localizados nos municípios de Santa Maria do Suaçuí (18°11' de latitude sul e 42°25' de longitude oeste) e de Senhora do Porto (18°54' de latitude sul e 43°05' de longitude oeste) na mesorregião do Vale do Rio Doce em Minas Gerais. O clima predominante nessa mesorregião, segundo a classificação do sistema internacional de Köppen, é do tipo Cwa, temperado chuvoso (mesotérmico) com inverno seco e verão chuvoso. Por aproximação gráfica, as normais climatológicas anuais de 1961 a 1990 desses municípios se encontram nos seguintes intervalos de acordo com o INMET (2015): precipitação acumulada de 1250 a 1450 mm, temperatura média de 20 a 22 °C, umidade relativa do ar de 75 a 80 %, evaporação total (com evaporímetro de Piché) de 800 a 1200 mm e insolação total de 2000 a 2200 horas.

A coleta dos frutos foi realizada diretamente na copa das árvores com auxílio de podão aéreo, posteriormente acondicionados em sacos de papel Kraft e conduzidos para o viveiro de espécies florestais do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais – *Campus* São João Evangelista para beneficiamento, sendo este feito manualmente, isolando as sementes dos frutos e eliminando aquelas que apresentavam sinais aparentes de injúrias ocasionadas pelo ataque de doenças ou insetos.

Após o beneficiamento, as sementes foram submetidas ao tratamento pré-germinativo de imersão em água à temperatura ambiente por 24 horas, de acordo com a rotina do próprio viveiro e descrição das Regras para Análise de Sementes (BRASIL, 2009).

A semeadura da *A. polyneuron* foi realizada em setembro de 2014 e da *C. fissilis* em outubro do mesmo ano. Ambas as espécies foram semeadas sobre a superfície de um substrato comercial, distribuído em tubetes plásticos rígidos de fundo aberto (capacidade de 120 cm³, secção circular e com oito estrias internas salientes, longitudinais e equidistantes) no sistema de canteiro suspenso. O substrato comercial (Mecplant®- Classe A) foi composto por casca de pinus com capacidade de retenção de água de 60,0 % (p.p⁻¹). Este substrato foi enriquecido com formulado de liberação controlada Osmocote® 15-9-12 (2 g.kg⁻¹).

Os materiais experimentais foram mantidos em casa de sombra, com tela de sombreamento de monofilamento, malha para 50,0 % de luminosidade, e irrigadas três vezes

ao dia durante 20 minutos através de miniaspersores (vazão de 47 L.h^{-1}) distribuídos em barras fixas. Foram produzidas 140 mudas via propagação seminal, sendo 91 unidades de *A. polyneuron* e 49 de *C. fissilis*.

Mensuraram-se o diâmetro do coleto (d) e a altura (h) de todas as mudas em março de 2015. A altura foi caracterizada pela distância linear do coleto até a última folha. Tomaram-se o diâmetro do coleto e a altura com auxílio de um paquímetro digital de precisão 1/10 mm e uma régua milimetrada, respectivamente.

A Tabela 1 apresenta um resumo dos dados de diâmetro do coleto e da altura das mudas de *A. polyneuron* e de *C. fissilis*. Mudanças com maior diâmetro tenderam apresentar maior altura. Em geral, a altura se mostrou sempre mais variável que o diâmetro. Foram encontrados maiores desvio-padrão e coeficiente de variação no grupo de validação. Os valores de diâmetro distribuídos no grupo de validação apresentaram maior amplitude de variação do que aqueles de parametrização para ambas as espécies; relação inversa foi observada para a altura das mudas. A distribuição dos dados variou entre as espécies e entre os grupos; maior simetria foi observada para as alturas no grupo de validação para a *A. polyneuron* e no grupo de parametrização para a *C. fissilis*. O grupo de validação apresentou distribuições mais planas (ou platicúrticas) do que o de parametrização.

Tabela 1. Caracterização das mudas de *Aspidosperma polyneuron* e de *Cedrela fissilis*

Estatísticas	Parametrização		Validação	
	<i>d</i> (mm)	<i>h</i> (cm)	<i>d</i> (mm)	<i>h</i> (cm)
----- <i>A. polyneuron</i> -----				
Média	4,19	31,16	3,68	26,33
Mediana	4,28	34,15	3,54	25,6
Mínimo	1,60	7,40	1,50	7,80
Máximo	6,13	44,60	6,55	41,1
Curtose	-0,70	-0,14	-0,64	-1,35
Assimetria	-0,43	-0,88	0,30	-0,05
Coefficiente de variação (%)	28,75	31,65	36,60	40,17
----- <i>C. fissilis</i> -----				
Média	7,68	28,86	7,59	30,27
Mediana	7,66	28,30	7,35	28,40
Mínimo	4,08	11,50	5,27	15,10
Máximo	9,37	43,20	10,96	45,30
Curtose	2,88	0,75	-0,97	-0,48
Assimetria	-0,96	-0,09	0,48	0,19
Coefficiente de variação (%)	13,72	22,37	23,34	27,21

h = altura e *d* = diâmetro do coleto. Fonte: o autor.

3.2 AJUSTE E SELEÇÃO DE MODELOS DE RELAÇÃO HIPSOMÉTRICA

Os dados foram divididos aleatoriamente em grupos de parametrização (70,0 % das amostras) e de validação (30,0 % das amostras), mutualmente exclusivos, empregando um método randômico de amostragem sem repetição com auxílio de planilhas eletrônicas do *software* Excel[®].

Ajustaram-se doze modelos de relação hipsométrica tradicionais, que descrevem as alturas em função apenas dos diâmetros na região do coleto (Tabela 2). Esses modelos foram lineares e encontrados na literatura florestal, citados por vários pesquisadores (BARTOSZECK et al., 2002; CAMPOS; LEITE, 2009; ARAÚJO et al., 2012; BATISTA et al., 2014; SANQUETTA et al., 2015). Para a análise de regressão, o método dos Mínimos Quadrados Ordinários (MQO) foi empregado.

Tabela 2. Modelos testados para a estimativa da altura de mudas de *A. polyneuron* e de *C. fissilis* em função do diâmetro do coleto

Modelo	Forma de estimação	Autor(es)
----- Polinômios -----		
(1)	$h = \beta_0 + \beta_1 \cdot d + \varepsilon$	*
(2)	$h = \beta_0 + \beta_1 \cdot d + \beta_2 \cdot d^2 + \varepsilon$	Trorey (1932)
----- Hiperbólicos -----		
(3)	$h = \beta_0 + \beta_1 \cdot (1/d^2) + \varepsilon$	*
(4)	$1/\sqrt{h} = \beta_0 + \beta_1 \cdot (1/d^2) + \varepsilon$	*
(5)	$1/h = \beta_0 + \beta_1 \cdot (1/d) + \beta_2 \cdot (1/d^2) + \varepsilon$	*
(6)	$d^2/h = \beta_0 + \beta_1 \cdot d + \beta_2 \cdot d^2 + \varepsilon$	Prodan; Holzmesselehre (1965)
(7)	$d/\sqrt{h} = \beta_0 + \beta_1 \cdot d + \beta_2 \cdot d^2 + \varepsilon$	Azevedo et al. (2011)
----- Potência -----		
(8)	$\ln(h) = \beta_0 + \beta_1 \cdot \ln(d) + \varepsilon$	Stoffels; Soest (1953)
(9)	$\ln(1/h) = \beta_0 + \beta_1 \cdot \ln(d) + \beta_2 \cdot \ln^2(d) + \varepsilon$	Backman*
(10)	$\ln(h) = \beta_0 + \beta_1 \cdot \ln[d/(1+d)] + \varepsilon$	*
----- Exponencial -----		
(11)	$\ln(h) = \beta_0 + \beta_1 \cdot (1/d) + \varepsilon$	Curtis (1967)
----- Semilogarítmico -----		
(12)	$h = \beta_0 + \beta_1 \cdot \ln(d) + \varepsilon$	Henricksen (1950)

h = altura das mudas (cm); d = diâmetro do coleto (mm); ε = erro da estimativa; β_0, β_1 e β_2 = coeficientes de regressão. *Modelos citados por Batista et al. (2014).

Nos modelos ajustados com variável dependente *logaritmizada*, (8), (9), (10) e (11) da Tabela 2, ocorre uma discrepância devido à transformação matemática ao se efetuar a operação de antilogaritmização para obtenção da variável de interesse. Esta discrepância foi corrigida multiplicando-se a altura estimada de cada muda pelo fator de correção de Meyer (FCM), de acordo metodologia aplicada por Machado et al. (2008).

$$S_{yx} = \sqrt{QM_{Res}}$$

$$FCM = e^{0,5 \cdot (S_{yx}^2)}$$

Em que:

S_{yx} = erro padrão da estimativa (cm);

QM_{Res} = quadrado médio do resíduo da regressão;

e – base dos logaritmos naturais = 2,718281828...;

O critério de seleção da equação mais precisa foi baseado no conjunto das seguintes medidas de precisão: teste F, significância dos coeficientes de regressão (β_0, β_1 e β_2) pelo

teste t , maior índice de ajuste de Schlaegel ($I.A.$), menor erro-padrão da estimativa na dimensão percentual, menor valor ponderado dos escores estatísticos ($V.P.$) e análise gráfica de resíduos percentuais. Calculou-se o $I.A.$ por ser uma medida de precisão similar ao coeficiente de determinação (R^2), recomendado quando se compara equações de naturezas diferentes, exemplos: aritmética, ponderada e logarítmica (BARTOSZECK et al., 2002). O erro padrão da estimativa foi recalculado em unidade absoluta ($S_{yx \text{ recalculado}}$) para as equações cuja variável dependente sofreu algum tipo de transformação, a fim de que o mesmo possa ser comparado aos das equações nas quais não houve transformação (MACHADO et al., 2008).

$$I.A. = 1 - \frac{n - 1}{n - p} \frac{SQ_{res}}{SQ_t}$$

$$S_{yx \text{ (recalculado)}} = \sqrt{\frac{\sum(\hat{h}_i - h_i)^2}{n - p}}$$

$$S_{yx}(\%) = \frac{S_{yx}}{\bar{h}} \cdot 100$$

Em que:

$I.A.$ = índice de ajuste de Schlaegel

n = número de observações;

p = número de coeficientes do modelo ou número de variáveis independentes;

SQ_{res} = soma dos quadrados dos resíduos;

SQ_t = soma total dos quadrados.

$S_{yx \text{ (recalculado)}}$ = erro padrão da estimativa absoluto recalculado;

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

h_i = altura observada (cm);

\hat{h}_i = altura estimada pela equação (cm) e, no caso daquelas com a variável dependente *logaritimizada*, altura estimada após multiplicação pelo FCM;

\bar{h} = média aritmética das alturas observadas (cm).

O $V.P.$ é uma síntese dos resultados e foi calculado atribuindo pesos às medidas de precisão descritas anteriormente, sendo atribuído peso 1 para a equação mais eficiente, 2 para a segunda e assim sucessivamente, de acordo com a metodologia proposta por Thiersch

(1997). Logo após a classificação individual, foi realizada a soma da pontuação de cada equação.

Para a análise de estabilidade da equação em teste, as fases de parametrização e de validação foram comparadas por meio dos seguintes critérios: menor viés (*Bias*), menor raiz do quadrado médio do erro (*RMSE*), maior coeficiente de correlação de Pearson ($r_{Y\hat{Y}}$), maior valor de probabilidade no teste *t* pareado e análise gráfica dos resíduos percentuais.

$$bias = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (h_i - \hat{h}_i)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (h_i - \hat{h}_i)^2}{n - 1}}$$

$$r_{Y\hat{Y}} = \frac{cov(h, \hat{h})}{\sqrt{S^2(h)S^2(\hat{h})}}$$

Em que:

Bias = viés;

RMSE = raiz do quadrado médio do erro;

$r_{Y\hat{Y}}$ = coeficiente de correlação de Pearson;

S^2 = variância;

cov = covariância.

Conforme Gujarati (2000), o valor de probabilidade (*valor p* ou *p-valor*) é o menor nível de significância ao qual a hipótese nula pode ser rejeitada. Para diagnóstico de efeito significativo, adotou-se 5,0 % de probabilidade (ou *p-valor* < 0,05) em todas as análises estatísticas. Estas análises foram realizadas com auxílio de planilhas eletrônicas do *software* Excel[®].

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 PARAMETRIZAÇÃO DOS MODELOS TESTADOS

Os modelos testados de mesma natureza não apresentaram medidas de precisão similares (Tabela 3). Todos os ajustes apresentaram F significativo ($p < 0,05$), evidenciando a existência de regressão entre as variáveis dos diferentes modelos. A significância desta estatística F demonstra que as equações geradas podem explicar elevadas proporções da variabilidade observada (MELO et al., 2013). O $S_{yx}(\%)$ foi superior a 15 % em todos os modelos testados, tendo as equações geradas pelos modelos (3) e (8) apresentando os maiores erros para ambas as espécies. A heterogeneidade no desenvolvimento das mudas oriundas de material seminal, causada pela variabilidade genética existente entre os indivíduos da mesma espécie, pode ter contribuído para o aumento do valor desse erro. Mesma consideração sobre a influência da carga genética no $S_{yx}(\%)$ foi realizada por Ré et al. (2015).

Tabela 3. Estatísticas da fase de parametrização dos modelos hipsométricos tradicionais ajustados para a estimativa da altura de mudas de *Aspidosperma polyneuron* e de *Cedrela fissilis*

Equação	β_0	β_1	β_2	F _{calculado}	S _{yx} (%)	I.A.(%)	V.P.
----- <i>A. polyneuron</i> -----							
(1)	3,3806 ^{ns}	6,6345*		117,96*	18,73	65,55	29
(2)	-23,8727*	21,9506*	-1,9453*	87,98*	16,32	73,84	23
(3)	39,3370*	-98,7000*		112,32*	19,02	64,43	32
(4)	0,1455*	0,5442*		237,68*	16,66	79,31	8
(5)	0,0149 ^{ns}	0,0114 ^{ns}	0,2507*	118,78*	17,90	79,24	19
(6)	0,4979*	-0,1470*	0,0371*	95,28*	16,37	75,36	19
(7)	0,6130*	-0,0520 ^{ns}	0,0189*	93,53*	16,20	75,01	19
(8)	1,8453*	1,1004*		180,32*	19,78	74,41	24
(9)	-0,8666*	-2,8937*	0,7418*	119,95*	16,37	79,40	11
(10)	4,4792*	4,7659*		227,63*	17,47	78,59	16
(11)	4,3098*	-3,5314*		232,29*	16,97	78,93	12
(12)	-3,0599 ^{ns}	24,7550*		155,16*	17,05	71,45	22
----- <i>C. fissilis</i> -----							
(1)	0,0449 ^{ns}	3,7503*		19,21*	17,95	37,51	32
(2)	-26,8819 ^{ns}	11,4135 ^{ns}	-0,5315 ^{ns}	10,47*	17,83	38,46	31
(3)	37,6590*	-480,3154*		19,33*	17,93	37,66	29
(4)	0,1448*	2,4793*		54,32*	17,45	62,93	5
(5)	0,0390 ^{ns}	-0,2879 ^{ns}	1,9746*	39,55*	17,79	70,97	10
(6)	2,1207 ^{ns}	-0,3326 ^{ns}	0,0423 ^{ns}	10,52*	17,79	38,58	28
(7)	1,3537*	-0,0868 ^{ns}	0,0126 ^{ns}	10,76*	17,66	39,13	24
(8)	1,0089*	1,1467*		32,59*	17,85	50,46	21
(9)	2,4892 ^{ns}	-4,8962*	0,9927 ^{ns}	18,52*	17,54	53,01	18
(10)	4,4276*	8,7515*		36,75*	17,45	53,46	11
(11)	4,3369*	-7,5210*		37,16*	17,41	53,73	7
(12)	-24,7019*	26,4046*		21,02*	17,64	39,65	18

^{ns} = não significativo; * = significância a 5,0 %; S_{yx} = erro padrão da estimativa; I.A. = índice de ajuste de Schlaegel; e V.P. = valor ponderado dos escores estatísticos. Fonte: o autor.

O S_{yx}(%) foi diferente entre os modelos testados, variando mais para *A. polyneuron* (de 16,20 % a 19,78 %) e menos para *C. fissilis* (de 17,41 % a 17,95 %). Machado et al. (2008) trabalhando com o ajuste de 13 modelos hipsométricos para *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze no capão da engenharia florestal da UFPR obteve uma variação do erro entre 12,99 % e 13,38 %. Por outro lado, Ré et al. (2015) analisando 7 modelos hipsométricas para nove espécies (*Anadenanthera macrocarpa* (Benth.) Brenan, *Enterolobium contortisiliquum* (Vell.) Morong, *Peltophorum dubium* (Spreng.) Taub, *Pterogyne nitens* Tul., *Schizolobium parahyba* (Vell.) Blake, *Zeyheria tuberculosa* (Vell.) Bur., *C. fissilis*, *Copaifera langsdorffii* Desf. e *Hymenaea courbaril* L.) em plantios mistos inseridos na região centro sul do Estado de São Paulo, encontraram S_{yx}(%) variando de 16,05 % a 26,31 %. É possível constatar que a

magnitude do erro percentual de modelos hipsométricos pode variar consideravelmente; considera-se, ainda, que, a variação do erro é resultado da formulação matemática e dos dados utilizados no ajuste (SANQUETTA et al., 2015).

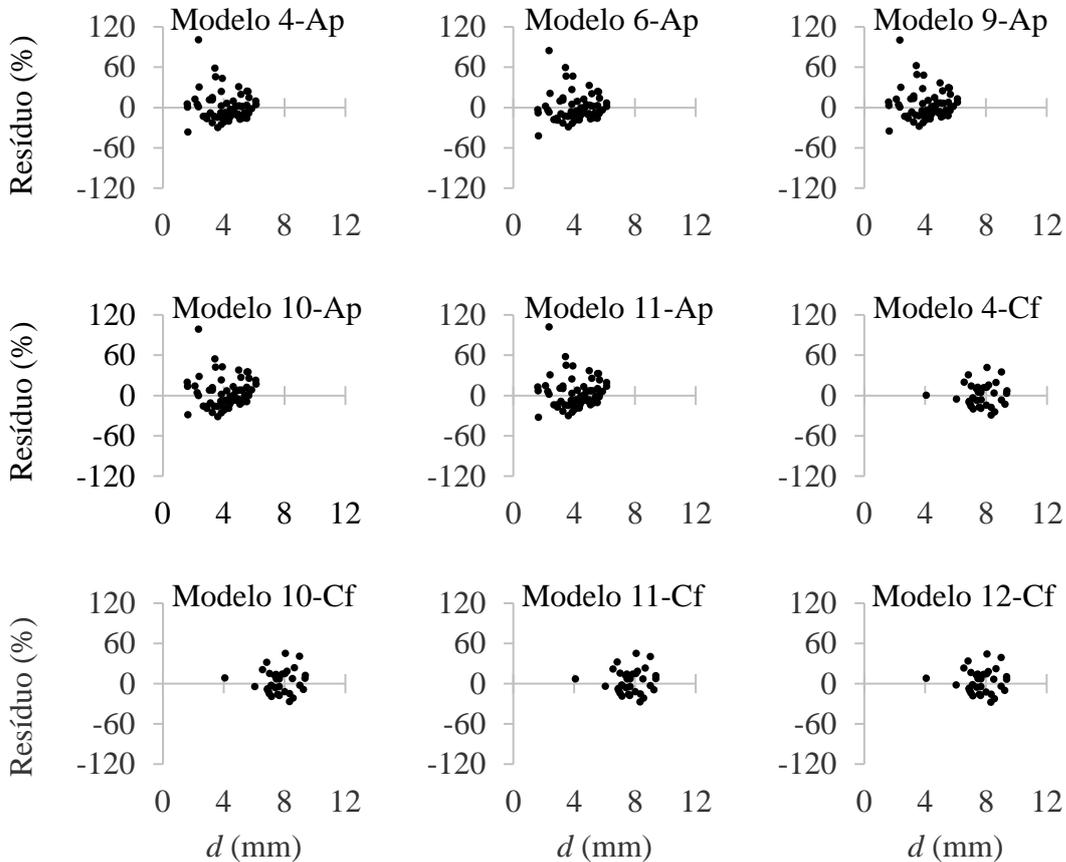
O ajuste dos modelos polinomiais gerou equações inadequadas nas duas espécies, confirmando a artificialidade para representar a curva altura-diâmetro. Dentre os modelos hiperbólicos, as equações provenientes do modelo (5) apresentaram muitos coeficientes da regressão não significativos estatisticamente pelo teste *t* e um alto *I.A.* quando comparado às demais equações, de 79 % para a *A. polyneuron* e de 71 % para a *C. fissilis*. Estes resultados são indícios claros de multicolinearidade, problema comum em regressões, ocorrendo quando as variáveis independentes do modelo possuem relações lineares exatas ou aproximadamente exatas entre si (GUJARATI, 2000). Diante a presença de multicolinearidade, o coeficiente de regressão pode refletir apenas efeito parcial da variável independente sobre a dependente, conduzindo a informações imprecisas sobre os coeficientes verdadeiros (GUJARATI, 2000; VALENTE et al., 2011). Medidas de controle deste fenômeno podem ser recomendadas, como as redes neurais artificiais, remoção de variáveis independentes, transformação de variáveis e estatística multivariada. É importante salientar, que melhorias na precisão estatística foram observadas nas equações geradas por modelos cujas variáveis sofreram algum tipo de transformação.

Os modelos testados apresentaram baixos valores de *I.A.*, indicando pouca correlação entre as variáveis diâmetro e altura (MACHADO et al., 2008; ARAÚJO et al., 2012; BARTOSZECK et al., 2002). O menor *I.A.* para a *C. fissilis* pode ser explicado pela maior homogeneidade dos dados, resultado da menor variação diamétrica em relação à amplitude da altura. Essa afirmação se confirma no presente trabalho quando se observa as estatísticas de cada espécie (Tabelas 1 e 3). Machado et al. (1994) e Machado et al. (2008) verificaram situação inversa ao analisar o comportamento da relação hipsométrica em árvores de *Pinus elliottii* e *A. angustifolia*, com baixos coeficientes de determinação devido a menor variação da altura em relação à amplitude diamétrica.

De acordo com o *V.P.*, as equações geradas pelo ajuste do modelo (4) foram a mais adequadas para estimativa da altura de mudas das espécies em estudo, pois apresentaram os menores valores para esse critério. Os maiores valores de *V.P.* foram encontrados para as equações geradas a partir dos modelos (1), (2) e (3). Além das equações (4), selecionaram-se para análise gráfica da distribuição dos resíduos aquelas em que todos os coeficientes da regressão foram significativos e o *VP* inferior ou igual a 20 (Figura 1), valor definido empiricamente. Para a espécie *A. polyneuron*, selecionaram-se as equações (4), (6), (9), (10) e

(11), cujos índices de ajuste variaram entre 75,36 % e 79,40 %; intervalo próximo do que se considera ideal em ajustes hipsométricos (80 %) de acordo Santos et al. (2014). Já para *C. fissilis*, as equações selecionadas (4), (10), (11) e (12) apresentaram índices variando entre 39,65 % e 62,93 %. A partir da premissa que o *IA*. é uma estatística comparável ao coeficiente de determinação (BARTOSZECK et al., 2002), ressalta-se que valores inferiores a 80 % são comuns em modelos hipsométricos (OLIVEIRA et al., 2011; SCOLFORO, 1998).

Figura 1. Representação gráfica da distribuição dos resíduos percentuais, em função do diâmetro do coleto (d), na fase de parametrização dos modelos hipsométricos selecionados para a estimativa da altura de mudas de *Aspidosperma polyneuron* (Ap) e *Cedrela fissilis* (Cf). Fonte: o autor.

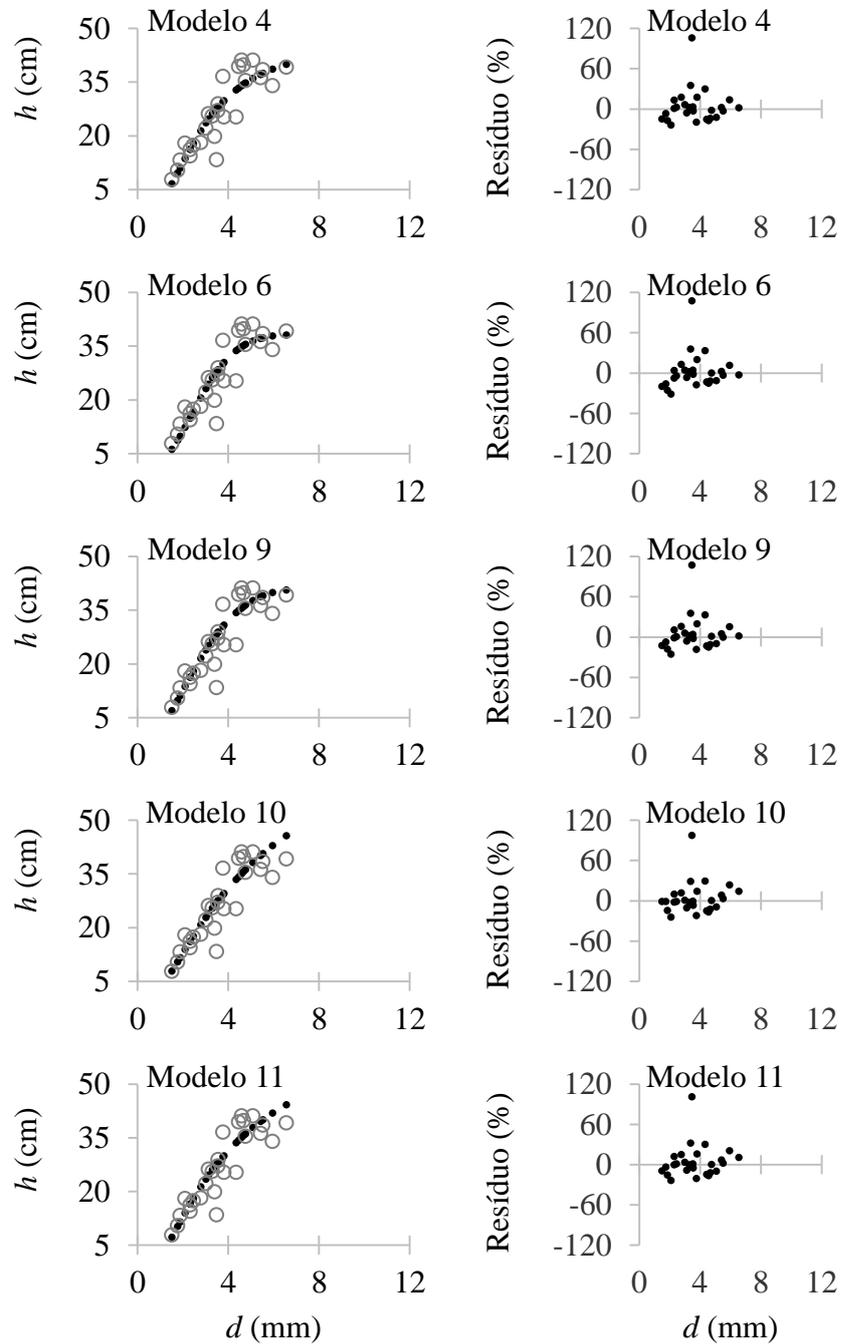


Na análise gráfica da Figura 1, não foi observado tendências em valores extremos e autocorrelação durante a parametrização. Foi detectada a presença de um ponto discrepante com resíduo superior a 80 % em todas as equações selecionadas para *A. polyneuron*. Modelos que possuem justificativas biológicas para a sua estrutura funcional são menos influenciados por particularidades da amostra, como a presença de valores discrepantes (BATISTA et al., 2001). Nesse caso, optou-se por manter o ponto discrepante nas análises estatísticas por se caracterizar um fenômeno natural. A discrepância na relação h/d relacionada a diâmetros elevados e alturas pequenas, ou alturas elevadas com diâmetro menor, pode ser a causa da baixa correlação dessas duas variáveis e da ocorrência do ponto discrepante. A relação h/d variou entre $35,5 \text{ cm.mm}^{-1}$ e $112,7 \text{ cm.mm}^{-1}$ para *A. polyneuron* e de $26,2$ a $51,9 \text{ cm.mm}^{-1}$ para *C. fissilis* (cm/mm). Maiores valores para a relação h/d podem ser esperados com o desenvolvimento das mudas (CAMPOS; UCHIDA, 2002).

4.2 VALIDAÇÃO DAS EQUAÇÕES SELECIONADAS PARA *A. polyneuron*

Em relação à fase de validação, as equações selecionadas para *A. polyneuron* apresentaram um valor de resíduo entre 97 % (10) e 108 % (6). Todas as curvas hipsométricas foram íngremes nos menores diâmetros, como se espera de um material juvenil. A forma funcional dos modelos de potência (10) e exponencial (11) os impediram de gerar uma assíntota tão clara como nos modelos (4), (6) e (9). Entretanto, a assíntota do modelo (9) superestimou levemente a altura nos maiores valores de diâmetro.

Figura 2. Representação gráfica da fase de validação dos modelos hipsométricos ajustados e selecionados para a estimativa da altura (h) de mudas de *Aspidosperma polyneuron* em função do diâmetro do coleto (d) e a respectiva distribuição dos resíduos. Fonte: o autor.



As equações hiperbólicas (4) e (6) mostraram-se mais sensíveis às particularidades da variável altura nas mudas de *A. polyneuron* utilizadas para a validação, pois o traçado curvilíneo das respectivas conformações matemáticas representou melhor o formato da nuvem de pontos (Figura 2). Provavelmente, a fundamentação biológica da relação funcional desses modelos foi essencial para o padrão de curva observado. Essas equações foram estáveis e apresentaram menores Bias e RMSE na fase de validação do que na de parametrização; relação inversa foi obtida para o valor de probabilidade do teste t (Tabela 4). Segundo Hess et al. (2014), as propriedades biológicas de modelos hipsométricos influenciam fortemente o padrão da curva altura versus diâmetro. No caso das mudas dessa espécie, foi observado que, à medida que o diâmetro aumenta, a curva hipsométrica reduz sua inclinação e tende a uma assíntota superior finita. Práticas silviculturais como o raleio podem ser indicadas para promover o crescimento de mudas da *A. polyneuron*. Esta prática por sua vez, diminui a competição por luz e a deposição do excesso de água na lâmina foliar (efeito “guarda-chuva”), aumentando a eficiência de irrigação e reduzindo a possibilidade de tombamento vegetal.

Tabela 4. Estatísticas de estabilidade dos modelos hipsométricos tradicionais ajustados para a estimativa da altura de mudas de *Aspidosperma polyneuron* e de *Cedrela fissilis*

Equações	----- Parametrização -----				----- Validação -----			
	Bias	RMSE	$r_{Y\hat{Y}}$	Teste t (p)	Bias	RMSE	$r_{Y\hat{Y}}$	Teste t (p)
----- <i>A. polyneuron</i> -----								
(4)	0,94	5,19	0,86*	0,15	-0,21	4,76	0,89*	0,82
(6)	0,90	5,06	0,86*	0,15	0,01	4,75	0,89*	1,00
(9)	-0,11	5,06	0,86*	0,86	-0,96	4,79	0,90*	0,30
(10)	-0,19	5,44	0,84*	0,78	-0,95	4,93	0,89*	0,31
(11)	-0,15	5,29	0,85*	0,82	-1,00	4,88	0,90*	0,29
----- <i>C. fissilis</i> -----								
(4)	0,59	5,04	0,63*	0,50	2,92	7,12	0,63*	0,10
(10)	-0,03	5,04	0,63*	0,97	2,10	6,93	0,63*	0,24
(11)	-0,03	5,03	0,63*	0,97	2,14	6,90	0,63*	0,22
(12)	0,00	5,02	0,63*	1,00	2,09	6,80	0,63*	0,23

* = significância a 5,0 % e $r_{Y\hat{Y}}$ = coeficiente de correlação de Pearson. Fonte: o autor.

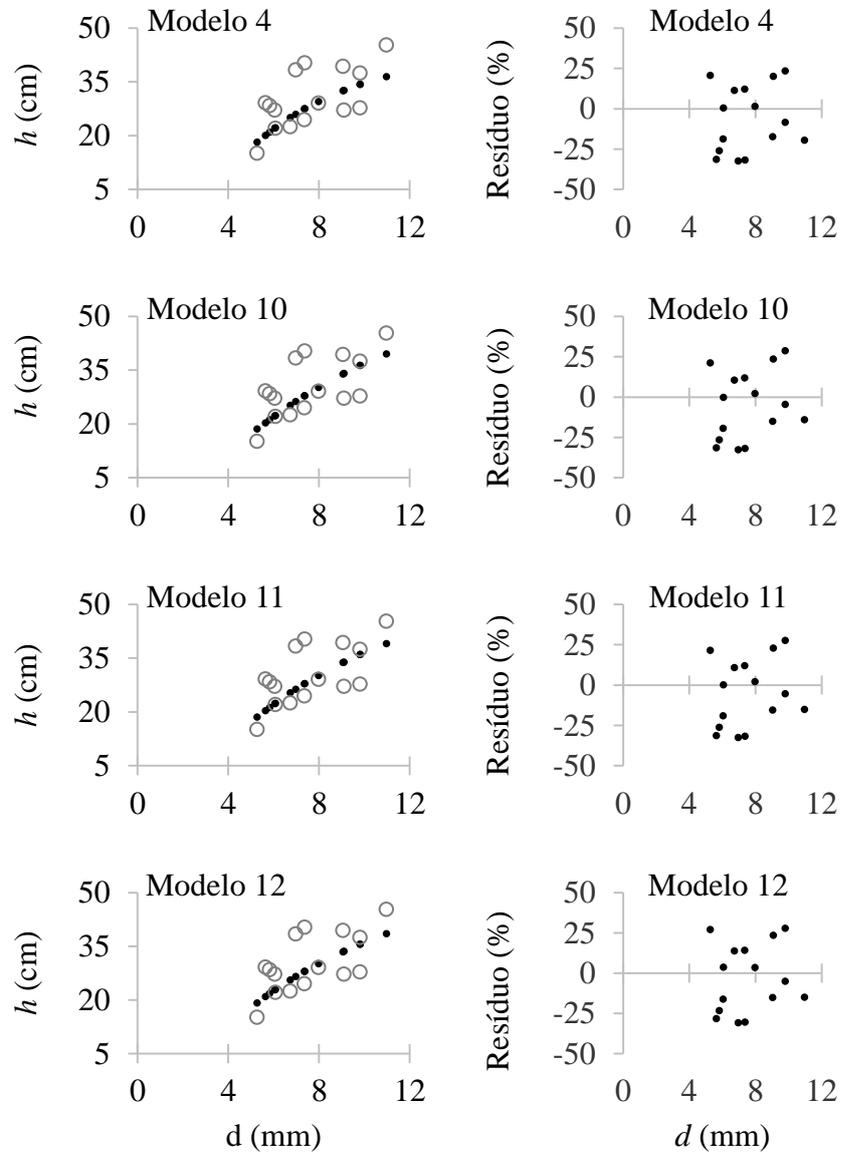
O modelo (4) é de simples entrada e sua equação foi a mais indicada para o conjunto de dados em análise de *A. polyneuron*, diferente da equação do modelo (6) que é de dupla entrada (Tabela 2 e Figura 2). Esta escolha se baseou na premissa que equações obtidas com o ajuste de modelos de simples entrada são mais práticas para serem utilizadas

operacionalmente por produtores de mudas. Ao analisar a Figura 2, percebe-se que a distribuição gráfica dos resíduos das equações selecionadas não demonstrou a ocorrência de tendências, sendo os resíduos bem distribuídos em torno da média e uniforme para todos, exceto para as equações (10) e (11). Estas duas equações apresentaram uma curva hipsométrica aparentemente mais íngreme do que as demais e uma tendência sistemática negativa na distribuição dos seus resíduos (Tabela 4), superestimando a altura das mudas com maior diâmetro do coleto.

4.3 VALIDAÇÃO DAS EQUAÇÕES SELECIONADAS PARA *C. fissilis*

Todas as equações selecionadas para a estimativa da altura das mudas de *C. fissilis* foram oriundas de modelos de simples entrada. Na análise gráfica de distribuição dos resíduos percentuais relacionada à fase de validação (Figura 3), verificou-se proximidade entre as alturas observadas e estimadas em todas as equações selecionadas (Figura 3), embora a (4) tenha apresentado uma dispersão levemente maior da altura em relação à tendência dos dados; também comprovada pelos maiores Bias e RMSE, além da menor probabilidade no teste *t* (Tabela 4). Nesta tabela, foi possível observar que o coeficiente de correlação de Pearson não foi eficiente para distinguir as melhores equações durante análise de estabilidade, pois, independente da espécie, seus valores foram similares.

Figura 3. Representação gráfica da fase de validação dos modelos hipsométricos ajustados e selecionados para a estimativa da altura (h) de mudas de *Cedrela fissilis* em função do diâmetro do coleto (d) e a respectiva distribuição dos resíduos. Fonte: o autor.



Verificou-se uma distribuição de resíduos homogênea aleatória e mais próxima a média zero nas equações (10), (11) e (12) (Figura 3). As estatísticas de estabilidade dessas três equações foram similares, porém a (11), modelo ajustado proposto por Curtis (1967), apresentou na fase de parametrização maior significância na estatística F e menores valores de $S_{yx}(\%)$ em porcentagem e de VP. A eficiência do ajuste do modelo (11) também foi verificada para estimar a altura total de candeia, em plantios homogêneos e com diferentes espaçamentos (ARAÚJO et al., 2012), de povoamentos nativos de bracatinga (BARTOSZECK et al., 2002), de *A. angustifolia* em um fragmento floresta (MACHADO et al., 2008) e de plantios de *Eucalyptus* sp. pertencentes a empresa Veracel Celulose S.A. (RIBEIRO et al., 2010).

4.4 DEFINIÇÃO DOS MODELOS DE MELHOR DESEMPENHO

As equações geradas pelo ajuste dos modelos (4) para *A. polyneuron* e (11) para *C. fissilis* apresentaram bom desempenho nos critérios estatísticos estabelecidos para as fases de parametrização e de validação, apresentando estabilidade quanto às medidas de precisão (Tabelas 3 e 4). Esses modelos foram validados com dados independentes, proporcionando estimativas confiáveis e de variabilidade pequena. Além disso, atenderam às expectativas e foi possível encontrar pelo menos um modelo para cada espécie, que se ajustou satisfatoriamente e descreveu as relações hipsométricas estudadas.

Curvas hipsométricas normalmente não possuem um relacionamento biológico bem definido, tanto em espécies exóticas quanto nativas (CHAPMAN; MEYER, 1949; MACHADO et al., 2008). Apesar dessa dificuldade em se estabelecer uma relação hipsométrica de mudas produzidas por sementes, devido a variabilidade genética, esses modelos foram os mais satisfatórios para estimar a altura das mudas das espécies estudadas. Conforme ajustes realizados, as estimativas de cada equação devem ficar limitadas ao espectro dos dados empregados no trabalho (Tabela 1). Além desses valores, as estimativas são extrapolações e podem gerar valores atípicos.

Os resultados comprovaram que nenhum dos modelos testados foi sempre o mais eficiente para ambas as espécies estudadas. As medidas de precisão e de estabilidade usadas podem proporcionar uma seleção adequada de modelos hipsométricos, apropriados para a estimativa da altura de mudas em função do diâmetro do coleto, porém não se recomenda utilizar unicamente uma medida para avaliar o ajuste de um modelo.

5 CONCLUSÕES

A relação entre as variáveis altura das mudas e diâmetro do coleto foi maior na espécie *A. polyneuron* do que na *C. fissilis*.

Os modelos tradicionais de relação hipsométrica e de simples entrada hiperbólico (4) e o exponencial (11), proposto por Curtis (1967), foram os de melhor performance quando ajustados para estimar a altura das mudas de *A. polyneuron* e de *C. fissilis*, respectivamente.

O presente trabalho fornece subsídios importantes para futuras pesquisas sobre a definição de modelos hipsométricos adequados para mudas de diversas espécies e que podem ser aplicados para auxiliar na definição de práticas silviculturais em viveiros florestais.

REFERÊNCIAS

- ARAÚJO, E. J. G.; PELISSARI, A. L.; DAVID, H. C.; SCOLFORO, J. R. S.; PÉLLICO NETTO, S.; MORAIS, V. A. Relação hipsométrica para candeia (*Eremanthus erythropappus*) com diferentes espaçamentos de plantio em Minas Gerais, Brasil. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 32, n. 71, p. 257-268, 2012.
- AZEVEDO, L. T.; MELLO, A. A.; FERREIRA, R. A.; SANQUETTA, C. R.; NAKAJIMA, N. Y. Equações hipsométricas e volumétricas para um povoamento de *Eucalyptus* sp. localizado na FLONA do Ibura, Sergipe. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 6, n. 1, p. 105-112, 2011.
- BARTOSZECK, A. C. P. S.; MACHADO, S. A.; FIGUEIREDO FILHO, A.; OLIVEIRA, E. B. Modelagem da relação hipsométrica para bracingais da região metropolitana de Curitiba-PR. **Floresta**, v. 32, n. 2, p. 189-204, 2002.
- BATISTA, J. L. F.; COUTO, H. T. Z.; MARQUESINI, M. Desempenho de modelos de relações hipsométricas: estudo em três tipos de floresta. **Scientia Forestalis**, n. 60, p. 149-163, 2001.
- BATISTA, J. L. F.; COUTO, H. T. Z.; SILVA FILHO, D. F. **Quantificação de recursos florestais: árvores, arvoredos e florestas**. 1 ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2014, 384p.
- BRASIL. **Regras para análise de sementes – RAS**. Ministério de, Brasília, DF: Mapa/ACS, 2009, 395p.
- CAMPOS, J. C. C.; LEITE, H. G. **Mensuração Florestal**. 3 ed. Viçosa-MG: Editora UFV, 261 p., 2009.
- CAMPOS, M. A. A.; UCHIDA, T. Influência do sombreamento no crescimento de mudas de três espécies amazônicas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 37, n. 3, p. 281-288, 2002.
- CARVALHO, P.E.R. **Espécies florestais brasileiras: recomendações silviculturais, potencialidades e uso da madeira**. Brasília: EMBRAPA, 1994. 640p.
- CHAPMAN, H. H.; MEYER, W.H. **Forest mensuration**. New York: Mcgraw-Hill, 1949. 522 p.
- CORVELLO, W. B. V.; VILLELA, F. A.; NEDEL, J. L.; PESKE, S. T. Maturação fisiológica de sementes de cedro (*Cedrela fissilis* Vell.). **Revista Brasileira de Sementes**, v. 21, n. 2, p. 23-27, 1999.
- CURTIS, R. O. Height, diameter and height diameter age equations for second growth Douglas-fir. **Forest Science**, v. 13, n. 4, p. 365-375, 1967.
- FERREIRA, J. C. B.; LAFETÁ, B. O.; PENIDO, T. M. A.; CAMPOS, P. M.; CASTRO, P. M. Altura de mudas da *Tibouchina granulosa* Cogn. (Melastomataceae) estimada por redes neurais artificiais. **Revista da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana**, v. 9, n. 1, p. 151-160, 2014.

FONSECA, E. P.; VALÉRI, S. V.; MIGLIORANZA, E.; FONSECA, N. A. N.; COUTO, L. Padrão de qualidade de mudas de *Trema micranta* (L.) Blume, produzidas sob diferentes períodos de sombreamento. **Revista Árvore**, v. 26, n. 4, p. 515-523, 2002.

GALLO, D.; NAKANO, O.; SILVEIRA NETO, S.; CARVALHO, R.P.L.; BATISTA, G.C. de.; BERTI FILHO, E.; PARRA, J.R.P.; ZUCCHI, R.A.; ALVES, S.B. **Manual de entomologia agrícola**. Piracicaba: FEALQ, 2002, 920 p.: il (Biblioteca de Ciências Agrárias Luiz de Queiroz, 10).

GOMES, J. M.; COUTO, L.; LEITE, H. G.; XAVIER, A.; GARCIA, S. L. R. Parâmetros morfológicos na avaliação da qualidade de mudas de *Eucalyptus grandis*. **Revista Árvore**, v. 26, n. 6, p. 655-664, 2002.

GUJARATI, D. N. **Econometria básica**. 3 ed. São Paulo – SP: Pearson Makron Books, 2000, 846p.

HAYKIN, S. **Redes Neurais: Princípios e prática**. 2 ed. Porto Alegre-RS: Bookman, 2001; 900 p.

HENRICKSEN, H. A. Height-diameter curve with logarithmic diameter: brief report on a more reliable method of height determination from height curves, introduced by the State Forest Research Branch. **Dansk Skovforen Tidsskr**, v. 35, p. 193-202, 1950.

HESS, A. F.; BRAZ, E. M.; THAINES, F.; MATTOS, P. P. Ajuste de relação hipsométrica para espécies da Floresta Amazônica. **Ambiência**, v. 10, n. 1, p. 21-29, 2014.

INMET – **Instituto Nacional de Meteorologia**. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br>>. Acesso em 14 de nov. 2015.

LORENZI, H. **Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil**. Nova Odessa-SP: Instituto Plantarum, 2008, 384p.

MACHADO, S. A.; BAILEY, R. L.; BASSO, S. F.; BEVILACQUA JUNIOR, V. G. Análise do comportamento da relação hipsométrica com respeito à idade para plantações de *Pinus elliotti* no Paraná. **Revista Cerne**, Lavras, v. 1, n. 1, p. 5-12, 1994.

MACHADO, S. A.; NASCIMENTO, R. G. M.; AUGUSTYNCZIK, A. L. D.; SILVA, L. C. R.; FIGURA, M. A.; PEREIRA, E. M.; TÉO, S. J. Comportamento da relação hipsométrica de *Araucaria angustifolia* no capão da Engenharia Florestal da UFPR. **Pesquisa Florestal Brasileira**, n. 56, p. 5-16, 2008.

MELO, L. C.; BARRETO, P. A. B.; OLIVEIRA, F. G. R. B.; NOVAES, A. B. Estimativas volumétricas em povoamentos de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* no sudoeste da Bahia. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 33, n. 76, p. 379-386, 2013.

OLIVEIRA, F. G. R. B.; SOUSA, G. T. O.; AZEVEDO, G. B.; BARRETO, P. A. B. Desempenho de modelos hipsométricos para um povoamento de *Eucalyptus urophylla* no município de Jaguaquara, Bahia. **Enciclopédia Biosfera**, v. 7, n. 13, p. 331-338, 2011.

PRODAN, M.; HOLZMESSLEHRE, J. D. **Sauerländer Verlag**, Frankfurt Am. Main., 1965, 644P.

RÉ, D. S.; ENGEL, V. L.; OTA, L. M.; JORGE, L. A. B. Equações alométricas em plantios mistos visando à restauração da floresta estacional semidecidual. **Cerne**, v. 21, n. 1, p. 133-144, 2015.

REITZ, R.; KLEIN, R.M.; REIS, A. **Projeto madeira do Rio Grande do Sul**. Itajaí: IOESC, 1983. 525p.

RETSLAFF, F. A. S.; FUGUEIREDO 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, Paraná. **Cerne**, v. 21, n. 2, p. 219-225, 2015.

RIBAS, L. L. F.; ZANETTE, F.; KULCHETSKI, L.; GUERRA, M. P. Micropropagação de *Aspidosperma polyneuron* (Peroba-rosa) a partir de segmentos nodais de mudas juvenis. **Revista Árvore**, v. 29, n. 4, p. 517-524, 2005.

RIBEIRO, A.; FERRAZ FILHO, A. C.; MELLO, J. M.; FERREIRA, M. Z.; LISBOA, P. M. M.; SCOLFORO, J. R. S. Estratégias e metodologias de ajuste de modelos hipsométricos em plantios de *Eucalyptus* sp. **Cerne**, v. 16, n. 1, p. 22-31, 2010.

SANQUETTA, M. N. I.; SANQUETTA, C. R.; MOGNON, F.; CORTE, A. P. D.; RODRIGUES, A. L.; MAAS, G. C. B. Ajuste de equações hipsométricas para a estimação da altura total de indivíduos jovens de teca. **Científica**, v. 43, n. 3, p. 400-406, 2015.

SCHIMIDT, P. B. Determinação indireta da relação hipsométrica para povoamentos de *Pinus taeda* L. **Floresta**, v. 8, n. 1, p. 24-27, 1977.

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

STOFFELS, A., SOEST, J. V. The main problems in sample plots. **Ned Bosbouw tijdschr**, v. 25, p. 190-199, 1953.

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

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 ajustados por Métodos Bayesiano empíricos. **Revista Árvore**, v. 37, n. 1, p. 1-8, 2013.

TOMÉ, M.; RIBEIRO, F.; FAIAS, S. Relação hipsométrica geral para *Eucalyptus globulus* Labill. em Portugal. **Silva Lusitana**, v. 15, n. 1, p. 41-55, 2007.

TROREY, L. G. A. A mathematical method for construction of diameter-height curves based on site. **Forest Chronicle**, v. 8, n. 2, p. 121-132, 1932.

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

VALÉRIO, A. F.; WATZLAWICK, L. F.; SANTOS, R. T.; SILVESTRE, R.; KOEHLER, H. S. Determinação da densidade básica da madeira de peroba (*Aspidosperma polyneuron* Muell. Arg.) ao longo do fuste. **Revista Caatinga**, v. 21, n. 3, p. 54-58, 2008a.

VALÉRIO, A. F.; WATZLAWICK, L. F.; SILVESTRE, R.; KOEHLER, H. S. Determinação da densidade básica da madeira de cedro (*Cedrela fissilis* Vell.) ao longo do fuste. **Pesquisa Aplicada & Agrotecnologia**, v. 1, n. 1, p. 23-28, 2008b.