

Comparação de modelos hipsométricos e descrição de um povoamento de *Pinus taeda* L.

*Comparison of hypsometric models and description of a population of *Pinus taeda* L.*

Victória Oliveira Cabral Hassan^{1*}, Bianca Lamounier da Silva Lima¹, Marciano Martins Artismo¹, Eliana Cristini Machado¹, Gustavo Nunes Teles¹, Marcos Felipe Nicoletti¹

¹Departamento de Engenharia Florestal, Universidade do Estado de Santa Catarina - UDESC, Lages-SC, Brasil.

*Autora para correspondência: vhassan01@gmail.com

RESUMO

O presente artigo objetivou ajustar um modelo que permita estimar a altura, a partir de mensurações do diâmetro, para um plantio comercial de *Pinus taeda* em Lages, Santa Catarina. A amostra contou com 22 parcelas aleatórias circulares de 400 m² cada, sendo que os indivíduos de *P. taeda* tiveram seus diâmetros e alturas mensurados. Foram ajustados seis modelos hipsométricos e, para selecioná-los, foi observado, para cada modelo, o R-Quadrado ajustado (R² ajustado), erro padrão da estimativa (Syx), erro padrão da estimativa em porcentagem (Syx %) e análise gráfica da dispersão residual (erro relativo). Ainda, foi realizado o teste qui-quadrado para a validação do modelo que melhor estimou a altura. Foram obtidos valores de estatística descritiva para o diâmetro, altura, altura dominante, área transversal e área basal, assim como a distribuição de frequência do diâmetro. O modelo de Stoffels foi o de melhor ajuste e obteve validação. A estatística descritiva indicou árvores de elevado porte, com homogeneidade dos dados de altura, diâmetro e altura dominante. A distribuição de frequência do diâmetro foi próxima a normal, padrão esperado para uma floresta equiânea.

Palavras-chave: Variáveis dendrométricas. Relação h/d. Inventário florestal.

ABSTRACT

This article aimed to adjust a model that allows estimating the height, from measurements of the diameter, for a commercial plantation of *Pinus taeda* in Lages, Santa Catarina. The sample had 22 random circular plots of 400 m² each, and the individuals of *P. taeda* had their diameters and heights measured. Six hypsometric models were adjusted and, to select them, the adjusted R-Square (adjusted R²), standard error of the estimate (Syx),

Realização:

Apoio:

standard error of the estimate in percentage (Syx %) and graphical analysis of residual dispersion (relative error) were observed for each model. Also, the chi-square test was performed to validate the model that best estimated height. Descriptive statistics values were obtained for the diameter, height, dominant height, cross-sectional area and basal area, as well as the frequency distribution of the diameter. The Stoffels model was the best fit and was validated. Descriptive statistics indicated trees of high size, with homogeneity of data for height, diameter and dominant height. The diameter frequency distribution was close to normal, an expected pattern for an even forest.

Keywords: Dendrometric variables. H/d ratio. Forest inventory.

1 INTRODUÇÃO

As espécies *Pinus elliottii* e *Pinus taeda* se destacam no sul e sudeste do Brasil pela facilidade de manejo cultural, rápido crescimento e reprodução intensiva (SHIMIZU, 2008). Em 2019, a área total de árvores plantadas foi de 9 milhões de hectares, sendo que, 18% dessa área representa o cultivo de pinus, com 1,64 milhões de hectares (IBA, 2020).

Para saber a produtividade da floresta, é necessário obter os valores de diâmetro e de altura do povoamento, pois, segundo Schmidt (1977), estas variáveis definem o volume da madeira em pé e são requisitos principais no planejamento de produção física.

A relação altura e diâmetro de uma árvore é, comumente, simbolizada por “h/d” e é denominada como relação hipsométrica (FINGER, 1992). Para se estabelecer essa relação, técnicas de modelagem, com sua respectiva validação, têm sido utilizadas. Segundo Sanquetta *et al.* (2009), os modelos hipsométricos são equações ajustadas que expressam a relação altura-diâmetro da árvore.

Considerando o exposto, o presente artigo objetivou ajustar um modelo que permita estimar a altura, a partir de mensurações do diâmetro, para um plantio comercial de *Pinus taeda* em Lages, Santa Catarina. Além disso, determinar as estatísticas descritivas e o histograma de frequência para a determinação da distribuição diamétrica deste povoamento.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O plantio de *Pinus taeda*, que consta de 20 hectares cultivados, foi implantado em 1997 em Lages-SC, sobre coordenadas geográficas $\phi = 27^{\circ}48'58''S$, $\lambda = 50^{\circ}19'30''O$ e

Realização:



Apoio:



h = 916 m.

O povoamento foi amostrado em 2021, possuindo a idade de 24 anos. Para a amostragem, foram alocadas, de forma aleatória, 22 parcelas circulares, com cada uma com raio de 11,3 m e área de 400 m². Assim, ao todo, foram amostrados 0,88 ha. Todos os indivíduos de *Pinus taeda* dentro das parcelas tiveram seus diâmetros medidos através da suta. Para a altura, utilizando o hipsômetro TruPulse, foi aferida 20% das primeiras árvores de cada parcela, além das dominantes. A altura dominante de Assmann corresponde à altura média das 100 árvores mais grossas por hectare (FINGER, 1992). Foram selecionados seis modelos hipsométricos (Tabela 1), de modo a escolher o que melhor estima a altura das árvores do plantio de *Pinus taeda*.

Tabela 1- Modelos de relação hipsométrica ajustados para a espécie *Pinus taeda* de um povoamento em Lages, SC.

Equação	Autor	Modelo matemático
1	Trorey	$h = b_0 + b_1d + b_2d^2$
2	Stoffels	$\ln h = b_0 + b_1 \ln d$
3	Schumacher	$\ln h = b_0 + b_1 (1/d)$
4	Petterson	$1/(h + 1,3) = b_0 + b_1 (1/d)$
5	Prodan	$h - 1,3 = d^2/(b_0 + b_1d^2)$
6	Assman	$h = b_0 + b_1 (1/d)$

Em que: h=altura (m); d= diâmetro à altura do peito (cm); ln= logaritmo natural; b0 = coeficiente linear; b1 = coeficiente angular; b2 = coeficiente de concavidade.

Para ajustar cada modelo de regressão, utilizou-se os dados de 20 parcelas e aplicou-se os parâmetros de indicativo de ajuste: R² ajustado, Syx, Syx % e análise gráfica da dispersão residual. Para as equações que apresentam transformação da variável dependente, o Syx e Syx% foram recalculados e, para as equações com variável dependente logaritmizada, foi aplicado o fator de correção de Meyer que corrige a discrepância logarítmica (SILVA *et al.*, 2011).

Em seguida, foi realizado o teste qui-quadrado para a validação do modelo que melhor estimou a altura. Para isso, foram utilizados 10% dos dados, utilizando o qui-quadrado tabelado ao nível de 5% de probabilidade. No caso do qui-quadrado calculado ser superior ao tabelado, deve-se rejeitar a hipótese nula e, no caso do qui-quadrado tabelado ser maior que o calculado, aceita-se a hipótese nula e considera-se que o modelo está bem ajustado. A Hipótese da nulidade considerada foi que o modelo escolhido representa a relação hipsométrica dos dados e a Hipótese alternativa que o modelo

Realização:



Apoio:



escolhido não representa a relação hipsométrica dos dados.

A estatística descritiva do povoamento, utilizando-se os dados gerais mais os dados da validação, foi calculada para as variáveis: diâmetro à altura do peito (cm), altura (m), altura dominante (m), área transversal (m²) e área basal (m²/ha). Foram obtidos o valor mínimo, valor máximo, média, mediana, desvio padrão, coeficiente de variação e contagem dos dados para cada variável. Ainda, a distribuição de frequência do diâmetro pelo histograma de frequência foi feita pelo método de Sturges e o método do desvio padrão.

A tabulação em planilha eletrônica, modelagem e análises dos dados foram feitas através do software *Microsoft Excel*. Para a escrita do presente trabalho foi utilizado o software *Microsoft Word*.

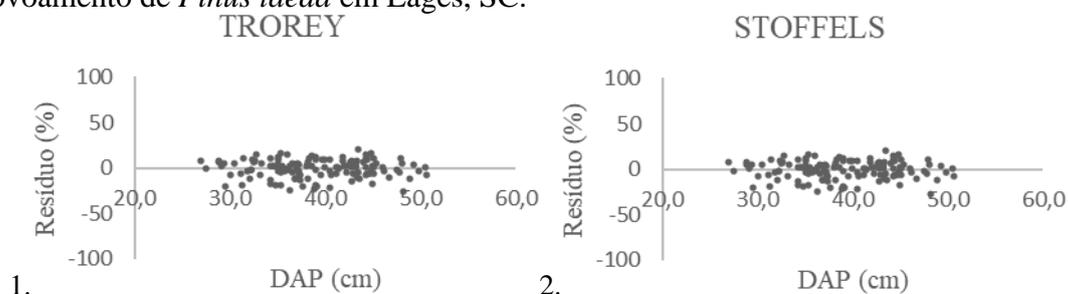
3 RESULTADOS

Tabela 2- Parâmetros estatísticos dos modelos de relação hipsométrica de um povoamento de *Pinus taeda* em Lages, SC.

Modelo	Coeficientes da Regressão			R ² ajustado	Syx	Syx %	ER médio
	b ₀	b ₁	b ₂				
Trorey	19,2934	0,2346	-0,002	0,0163	2,4	9,6	-0,9293
Stofells	2,7938	0,1187	-	0,0155	2,4	9,6	-0,9405
Schumacher	3,3420	-4,3744	-	0,0145	2,4	9,6	-0,9414
Pettersen	0,0370	0,1939	-	0,0239	2,4	9,6	0,0522
Prodan	3,7933	0,0394	-	0,0278	2,4	9,6	0,0517
Assmann	28,2437	-111,104	-	0,0226	2,4	9,6	-0,9305

Em que: R² ajustado = coeficiente de determinação ajustado; Syx = erro padrão da estimativa (m); Syx % = erro padrão da estimativa em porcentagem; ER médio = erro relativo médio (resíduo) em porcentagem.

Figura 1- Gráficos dos erros relativos dos modelos de relação hipsométrica de um povoamento de *Pinus taeda* em Lages, SC.



Realização:



Apoio:



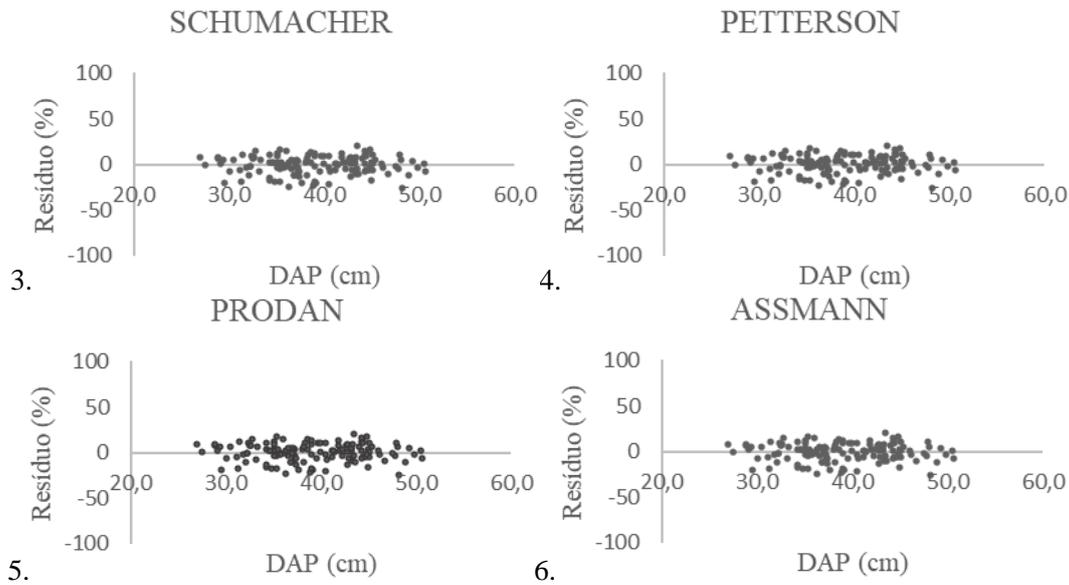
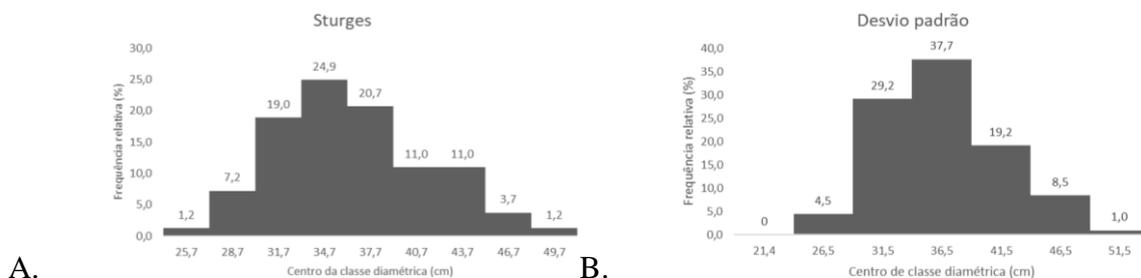


Tabela 3- Estatística descritiva dos dados amostrados de um povoamento de *Pinus taeda* em Lages, SC.

Variável	Mínimo	Máximo	Média	Mediana	Desvio padrão	Coefficiente de variação (CV%)	Contagem dos dados
Diâmetro (cm)	25,65	50,65	36,48	35,7	5,01	13,74	401
Altura (m)	20,2	32,1	25,43	25,6	2,48	9,75	142
Altura dominante (m)	20,5	32,1	25,54	25,8	2,54	9,95	71
Área transversal (m²)	0,0517	0,2015	0,1065	0,1001	0,0297	27,91	401
Área basal (m²/ha)	19,93	66,00	48,53	49,90	11,34	23,38	22

Figura 2- Histograma de frequência diamétrica pelo método de Sturges (A.) e Desvio Padrão (B.) de um povoamento de *Pinus taeda* em Lages, SC.



4 DISCUSSÃO

Observou-se que, para as equações dos modelos hipsométricos selecionados

Realização:



Apoio:



(Tabela 2), o R^2 ajustado apresentou valores baixos e semelhantes entre os modelos. Conforme Campos e Leite (2006), a razão de h/d geralmente não é tão forte, sendo comum este ser menor que 0,8.

O Syx e Syx%, para todos os modelos deste estudo, ficaram próximos de 2,4 e 9,6%, respectivamente, podendo ser considerados como uma boa precisão, devido aos baixos valores. Para o Syx e o Syx%, a melhor equação foi a de Stoffels, pois apresentou os menores valores (2,4339 e 9,6056). Nos estudos de relação hipsométrica encontrados na literatura, são encontrados valores de Syx% menor que 10% para *Pinus taeda* (NICOLETTI *et al.*, 2016), o que indica valores de erros relativamente reduzidos.

Para o gráfico de resíduos (Figura 1) e o erro relativo médio (Tabela 2), o primeiro exhibe comportamento semelhante entre os modelos e não apresenta tendenciosidade, o segundo indica que o modelo de Prodan foi o que melhor se ajustou, por ter o valor mais próximo de zero.

Para a validação dos dados de Stoffels foi feita o teste de Qui-quadrado, cujo valor X^2 de 4.787 e o X tabelado, a 5% de significância, de 19,675; sendo assim o valor de X^2 menor que o X tabelado determina a não rejeição da hipótese nula, demonstrando uma associação entre os dados e que o resultado estimado está dentro do esperado.

A análise descritiva nos indica que as variáveis diâmetro à altura do peito, altura e altura dominante se mostraram pouco heterogêneas (Tabela 3) com valores de 9% a 13%. Já para a área transversal e a área basal, o coeficiente de variação foi maior que 20%, mostrando elevada variabilidade. A média do diâmetro, altura, altura dominante, área transversal e área basal demonstram árvores de maior porte, padrão esperado para um povoamento de 24 anos.

Analisando a distribuição de frequência do diâmetro, observa-se que há árvores em diferentes classes diamétricas (Figuras 2) e, para ambos os métodos, os histogramas de frequência indicaram uma distribuição próxima a normal, com maior quantidade de árvores em diâmetros medianos, o que é um padrão esperado em florestas equiâneas de plantio comercial.

5 CONCLUSÃO

Conclui-se que o modelo de Stoffels foi o de melhor ajuste e obteve validação. A estatística descritiva indicou árvores de elevado porte, com homogeneidade dos dados de

Realização:



Apoio:



altura, diâmetro e altura dominante. A distribuição de frequência do diâmetro foi próxima a normal.

REFERÊNCIAS

- BRASIL, Ministério da agricultura e reforma agrária. **Normais climatológicas 1961-1990**. Brasília: MARA, 1992. 84 p.
- CAMPOS, J. C. C.; LEITE, H. G. **Mensuração Florestal: Perguntas e Respostas**. 2 ed. Viçosa: UFV, 2006. 470 p.
- FINGER, C. A. G. **Fundamentos de biometria florestal**. 1992.
- IBÁ INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES. **Relatório Anual Ibá 2020**. São Paulo: Café Art, 2020. Disponível em: <https://iba.org/datafiles/publicacoes/relatorios/relatorio-iba-2020.pdf>. Acesso em: 4 dez. 2021.
- IBGE. **Manual técnico da vegetação brasileira**. Rio de Janeiro: Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 1992. 92 p. (Série: Manuais técnicos em geociências n.1).
- NICOLETTI, M. F. *et al.* Relação hipsométrica para *Pinus taeda* L. em diferentes fases do ciclo de corte. **Floresta e Ambiente**, v. 23, p. 80-89, 2016.
- SANQUETTA, C. R. *et al.* **Inventários Florestais: Planejamento e Execução**. 2 ed. Curitiba: Multi-Graphic Gráfica e Editora, 2009. 316 p.
- SILVA, F. *et al.* Equações de afilamento para descrever o volume total do fuste de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* na região do Triângulo Mineiro. **Scientia Florestalis**, v. 39, n. 91, p. 367-376, 2011.
- SHIMIZU, J. Y. **Pinus na silvicultura brasileira**. Colombo: Embrapa Florestas, 2008.
- SCHMIDT, P. B. Determinação indireta na relação hipsométrica para povoamentos de *Pinus taeda* L. **Floresta**, v. 8, n. 1, 1977.

Realização:



Apoio:

