

Relação hipsométrica para árvores dominantes em plantios de *Pinus taeda* L. no sul do Brasil

Bruno Alexandre Lavrini¹; Elisabete Vuaden²; Veridiana Padoin Weber³

¹. Acadêmico do curso Engenharia Florestal, Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Campus Dois Vizinhos-PR, E-mail: bruno_lavrini@hotmail.com.

². Engenheira Florestal, Dr., Pesquisadora na Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Campus Dois Vizinhos-PR, E-mail: elisabetev@utfpr.edu.br

³. Engenheira Florestal, Dr., Pesquisadora na Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Campus Dois Vizinhos-PR, E-mail: veridianapadoin@utfpr.edu.br

Resumo

O *Pinus* é o segundo gênero mais plantado no Brasil, principalmente no estado do Paraná e de Santa Catarina. O presente trabalho teve como objetivo ajustar e selecionar um modelo hipsométrico para altura dominante de *Pinus taeda* em diferentes locais no Sul do Brasil, e verificar se ocorreu diferença de nível e inclinação entre esses modelos. Foi realizada uma amostragem nos Planaltos Rio-Grandense e Catarinense, sendo representado pelas cidades de Cambará do Sul – RS, Otacílio Costa - SC e São Francisco de Paula – RS. Para a coleta dos dados foi utilizado parcelas circulares de área variável, pelo método de Prodan modificado, totalizando 12 árvores por parcela, sendo a árvore central da parcela um indivíduo dominante e as 11 árvores mais próximas da mesma. Foram coletadas 187 unidades amostrais em plantios de *Pinus taeda*, totalizando 561 indivíduos dominantes. As variáveis mensuradas a campo foram altura total e diâmetro altura do peito. Para seleção do melhor modelo foi utilizado critérios estatísticos como: coeficiente de determinação ajustado (R^2 aj.), coeficiente de variação em porcentagem (CV%) e análise gráfica dos resíduos. Destacando o modelo proposto por Stollfes, apresentando os melhores critério de seleção, com um coeficiente de determinação ajustado (R^2 aj.) de 0,8280, um coeficiente de variação em porcentagem (CV%) de 6,01 % e uma melhor análise gráfica dos resíduos. Assim selecionado o melhor modelo, foi realizada uma análise de covariância (ANCOVA), para verificar a existência de diferenças em nível e inclinação do modelo nas diferentes cidades analisadas, demonstrando que para cada cidade analisada é preciso o reajuste do modelo com seus devidos parâmetros estatísticos para a predição das alturas dominantes.

Palavras-chave: *Pinus taeda*, altura dominante, relação hipsométrica.

Introdução

O *Pinus* é o segundo gênero mais plantado no Brasil e o mais plantado no estado do Paraná e Santa Catarina (IBÁ, 2020). Esses estados apresentam clima apropriado para esse gênero, que acabaram obtendo um ótimo desenvolvimento, alcançando altos índices de produtividade, muito superiores aos seus países de origem (MARTINS et al., 2016).

Normalmente a qualidade de sítio é estimada através do crescimento em altura, que é uma variável altamente correlacionada com a produtividade em volume e pouco influenciada pela variação do povoamento. O índice de sítio é o indicador mais comum na qualidade de um sítio, que se define como a média da altura das árvores dominantes de parte de um povoamento em uma idade, chamada idade índice (SCHUCHOVSKI et al., 2019).

A qualidade do sítio, como também a densidade do plantio influencia na relação altura-diâmetro, a qual pode ser definida como a regressão da altura em função do diâmetro, representada por um ajuste de uma equação matemática. Esta relação demonstra grande importância, por diminuir tempo, custo e dificuldades em mensurar árvores em parcelas, tornando inventários florestais mais econômicos e precisos (FINGER, 2006).

Para selecionar um modelo matemático que explique a relação altura diâmetro de uma árvore ou de uma população, deve-se ajustar diversos modelos e selecionando o que melhor se ajusta através de critérios de seleção (FINGER, 2006). Portanto, os modelos que utilizam essas únicas variáveis podem ser específicos para cada local (AGUILAR, 2004). Sendo assim, o presente trabalho teve por objetivo ajustar e selecionar um modelo hipsométrico para altura dominante de *Pinus taeda* L. em diferentes locais no Sul do Brasil, e verificar se ocorreu diferença de nível e inclinação entre esses modelos.

Material e Métodos

A amostragem abrangeu os Planaltos Rio-Grandense e Catarinense, sendo representado pelas cidades de Cambará do Sul – RS (Local 1), Otacílio Costa - SC (Local 2) e São Francisco de Paula - RS (Local 3), cujo o clima é do tipo subtropical Cfb com invernos frios e precipitação de 2.456mm (Planalto Rio-Grandense) e mesotérmico úmido do tipo temperado Cfb com inverno acentuadamente frio e precipitação 1.384mm (Planalto Catarinense). Os dados foram coletados em parcelas circulares de área variável, pelo método de Prodan modificado, totalizando 12 árvores por parcela, sendo a árvore central da parcela um indivíduo dominante e as 11 árvores mais próximas da mesma. Foram coletadas 187 unidades amostrais em plantios de *Pinus taeda* de 5 a 33 anos de idade com altura dominante de 5 a 40 metros, totalizando 561 indivíduos dominantes. As variáveis mensuradas a campo foram altura total com auxílio do vertex, diâmetro altura do peito com a suta.

Para a análise estatística dos dados foi utilizado o Software SAS (Statistical Analysis System). Foram ajustados modelos hipsométricos e os critérios estatísticos utilizados para a seleção do melhor modelo foram: coeficiente de determinação ajustado (R^2 adj.), coeficiente de variação em porcentagem (CV %) e análise gráfica dos resíduos. Com a equação hipsométrica selecionada, foi realizada a análise de covariância (ANCOVA), para verificar a diferença de nível e inclinação dos modelos nos diferentes locais. Com isso, verificou-se a necessidade ou não do uso de funções independentes, indicando assim a existência ou não de diferentes padrões de comportamento.

Resultados e Discussão

Na Tabela 1, verifica-se que os valores de coeficiente de determinação ajustado (R^2 aj.) dos modelos variaram de 0,7869 a 0,8444, e que o coeficiente de variação em porcentagem (CV%), variou de 5,84 a 17,34. Segundo SCOLFORO (1998), tratando-se de relações hipsométricas, é comum que o valor de coeficiente de determinação ajustado não ultrapasse 80%, uma vez que a correlação altura/diâmetro não é tão forte quanto à altura/volume. Já o F calculado apresentou valores de 1445,78 a 2696,14. Observando os modelos hipsométricos ajustados, verifica-se uma alta correlação entre a variável altura e diâmetro para todos os modelos testados. O modelo proposto por Stoffels foi que melhor explicou relação hipsométrica, por apresentar bons valores de critérios estatísticos de seleção (Tabela 1) e análise gráfica (Figura1). Segundo SCHMIDT (1977), estudando a determinação indireta na relação hipsométrica para povoamentos de *Pinus taeda* L, encontrou que a equação de Stoffels demonstrou através de seus critérios de seleção o melhor ajuste para o povoamento estudado.

Tabela 1 - Estatística de ajustes e precisão referentes aos modelos ajustados.

Nome	Equações	R^2 adj.	CV%	F
Linha Reta	$h = -0,006851 + 0,70590 \cdot \text{dap}$	0,7869	17,3	2069
Batista e Rossi (2001)	$1/\sqrt{h} = 0,09776 + 3,61455 \cdot (1/\text{dap})$	0,8444	9,64	3040
Azevedo et al. (2011)	$\sqrt{h} = -3,68294 + 2,44795 \cdot \ln(\text{dap})$	0,8228	8,61	2602
Stoffels	$\ln(h) = -0,79755 + 1,12215 \cdot \ln(\text{dap})$	0,8280	6,01	2696
Batista (2001)	$\ln(h) = 4,08480 - 29,67570(1/\text{dap})$	0,8211	6,13	2572
Parabólico	$h = -11,00405 + 1,41382 \cdot \text{dap} - 0,01019 \cdot \text{dap}^2$	0,8119	16,3	1209
Backman Modificado	$h = -10,82100 - 10200 \cdot \ln(\text{dap}) + 3,75300 \cdot \ln^2(\text{dap})$	0,8060	16,6	1164
Backman	$\ln(h) = -3,94161 + 3,01651 \cdot \ln(\text{dap}) - 0,28180 \cdot \ln^2(\text{dap})$	0,8377	5,84	1446

Sendo: R^2 adj = coeficiente de determinação ajustado; CV (%) = coeficiente de variação em porcentagem; F = Fisher.

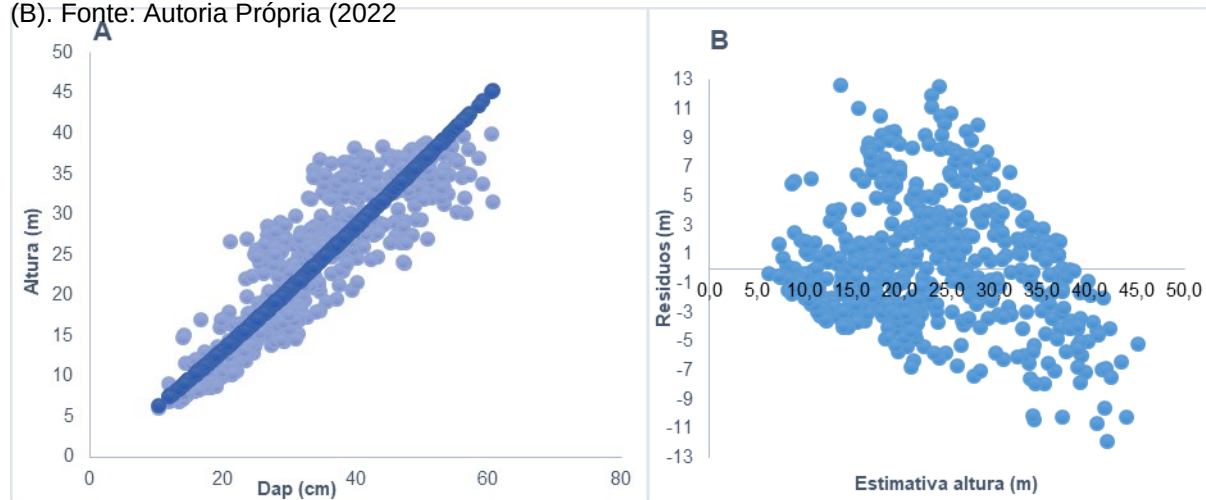
Pela análise de covariância da Tabela 2, verificou-se que o modelo selecionado para descrever a relação hipsométrica para árvores dominantes nas três cidades diferiu em nível e inclinação, com valor de F significativo a 1 % de probabilidade de erro para cidade (c) e interação ($\ln(\text{dap}) \cdot c$). Com isso, não pode ser utilizado o mesmo modelo que representa a relação hipsométrica para as árvores dominantes nas cidades de Cambará - PR, São Francisco de Paula - RS e Otacílio Costa – SC, pois possuem diferentes tendências e nível de crescimento nos diferentes locais.

Tabela 2 - Análise de covariância do modelo $\ln(h) = \beta_0 + \beta_1 \ln(\text{dap})$ para verificar a diferença de inclinação e nível entre as cidades.

F. V	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Prob. > F
Modelo	3	93,2765	4,6943	932,26	<0,0001
Lndap	1	2,1114	2,1114	63,31	<0,0001
C	1	0,1802	0,1802	5,59	<0,0001
ln(dap)*c	1	0,5004	0,5004	15,01	<0,0001
Resíduo	557	17,9097	0,0322		
Total	560	111,8532			

Sendo: c = cidade; dap = diâmetro a altura do peito; FV = fonte de variação; GL = graus de liberdade; SQ = soma dos quadrados; QM = quadrado médio; F = valor de F calculado para a variável dependente; Prob.>F = nível de probabilidade de erro.

FIGURA 1: Distribuição dos valores observados e estimados (A) e dos resíduos alturas estimadas (B). Fonte: Autoria Própria (2022)



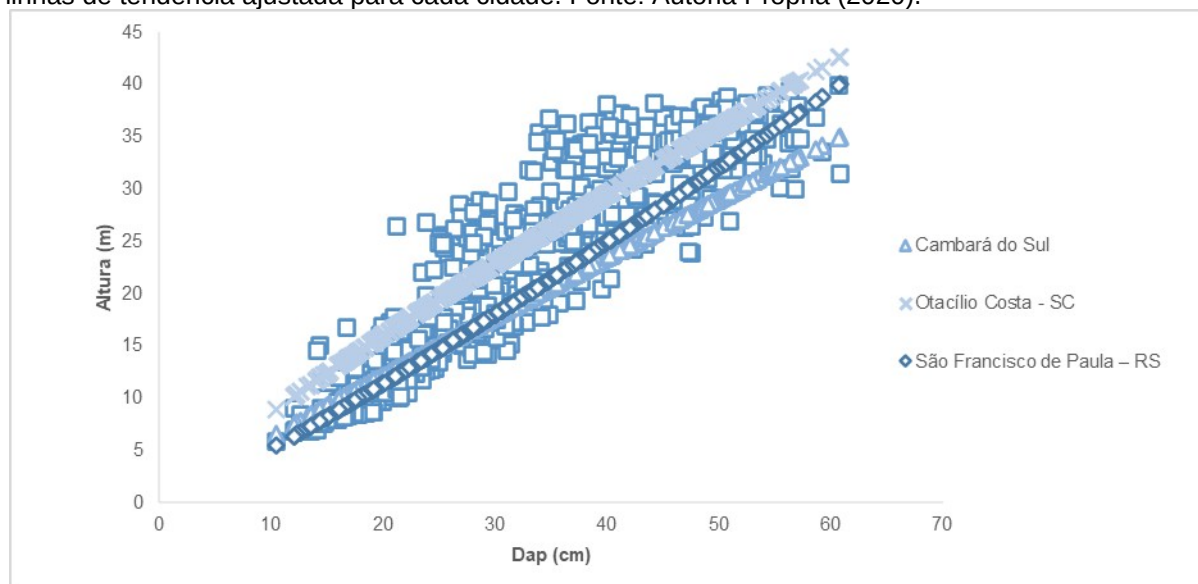
Como a equação de Stoffels selecionada diferiram em nível e inclinação nas diferentes regiões, foi ajustado novamente uma equação para a cidade de Cambará do Sul – RS (Local 1), uma para Otacílio Costa - SC (Local 2) e outra para São Francisco de Paula - RS (Local 3), como demonstra a Tabela 3, apresentando cada local uma equação, com diferentes coeficientes. Pela análise das estatísticas das novas equações geradas, constata-se que os coeficientes de determinação ajustado para a região de Cambará do Sul – RS (Local 1) e Otacílio Costa - SC (Local 2) foi menor em relação ao coeficiente de determinação ajustado do modelo que representa a relação hipsométrica para todo o conjunto de dados. No entanto, apresentaram baixo coeficiente de variação e os modelos foram significativos. Na figura 2 é demonstrado as diferentes inclinações e origem para cada local analisado, demonstrando que são precisos de diferentes parâmetros estatístico para cada local.

Tabela 3 - Equações reajustadas para a relação hipsométrica nas diferentes cidades.

Local	Equação	R ² adj.	CV (%)
1	$\ln(h) = -0,34915 + 0,95049 \cdot \ln(dap)$	0,8039	4,37
2	$\ln(h) = 0,12580 + 0,88297 \cdot \ln(dap)$	0,7368	4,92
3	$\ln(h) = -0,95396 + 1,13030 \cdot \ln(dap)$	0,9181	4,67

Sendo: dap = diâmetro a altura do peito; R² adj. = coeficiente de determinação ajustado; CV (%) coeficiente de variação em porcentagem; local 1 = Cambará do Sul; local 2: Otacílio Costa - SC; local 3 = São Francisco de Paula – RS.

Figura - 2: Distribuição altura (m) em função do diâmetro a altura do peito com suas respectivas linhas de tendência ajustada para cada cidade. Fonte: Autoria Própria (2020).



Conclusões

Conclui-se, que o modelo selecionado para descrever a relação hipsométrica da altura dominante para *Pinus taeda* para as 3 cidades analisadas foi o modelo proposto por STOFFELS: $\ln(h) = -0,79755 + 1,12215 \cdot \ln(dap)$. E a análise de covariância (ANCOVA), indicou diferenças significativas em nível e inclinação do modelo que descreve a relação hipsométrica entre as diferentes cidades, ou seja, existe diferença no comportamento da relação hipsométrica nestes locais.

Referências Bibliográficas

AGUILAR, D. A. Estudio de las relaciones altura-diámetro para seis espécies maderables utilizadas D. E. Relação hipsométrica para *Pinus elliottii* Engelm em diferentes posições sociológicas em dois vizinhos (pr). **Scientia Agraria Paranaensis**, v. 15, n. 2, p. 158–163, 2016.

FINGER, C.A.G. **Fundamentos da biometria florestal**. Santa Maria: UFSM/CEPEF/FATEC, 2006. 269p

MARTINS, A. P. M.; FRANCESCO, F.; GALLO, J. C.; VUADEN, E.; WEBER, V. P.; CARVALHO, D. E. Relação hipsométrica para *Pinus elliottii* Engelm em diferentes posições sociológicas em dois vizinhos (pr). **Scientia Agraria Paranaensis**, v. 15, n. 2, p. 158–163, 2016.

SCHMIDT, Péricles Baicere. DETERMINAÇÃO INDIRETA NA RELAÇÃO HIPSONOMÉTRICA PARA POVOAMENTOS DE *Pinus taeda* L. **Floresta**, v. 8, n. 1, 1977.

SCHUCHOVSKI, Mariana Smahotto; ARCE, Julio Eduardo; DE OLIVEIRA, Edilson Batista. Altura dominante e índice de sítio para *Pinus taeda* em dois polos de desenvolvimento florestal no sul do Brasil. **Embrapa Florestas-Artigo em periódico indexado (ALICE)**, v. 47, n. 121, p. 92-104, 2019.

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