

# Equações de volume para indivíduos jovens de *Pinus taeda* L. no Planalto Serrano Catarinense

## Volume equations for young stands of *Pinus taeda* L. on the Santa Catarina Plateau

Eduardo Luz de Souza <sup>1</sup> • Allan Felipe Vuolo <sup>1</sup> • Vinicius Costa Cysneiros <sup>1</sup>

Recibido: 15/12/2023

Aceptado: 15/06/2024

### Abstract

The objective of this study was to adjust linear and non-linear models to estimate the wood volume in young stands of *Pinus taeda*, filling the information gap for the first years of species' stands. The data analyzed derive from selective thinning in a 5-year-old experimental stand of *P. taeda*, established in the Experimental Forestry Area of the Federal University of Santa Catarina, in the municipality of Curitibanos, SC. The single-input volumetric models of Husch (linear and non-linear) and Kopezky (linear) were tested, using only the Diameter as a variable, and the double-input models of Schumacher-Hall (linear and non-linear) and Spurr (linear), using the Diameter and Total Height variables. All models were adjusted by the ordinary least squares method, using linear and non-linear regression analysis. The best selected single-input and double-input models were applied to an independent database for validation. The double-input models presented better performance than single-input models, but the variation in accuracy and efficiency was not significant. Schumacher-Hall model and the Husch and Kopezky fitted models presented more accurate estimates in relation to the models available in the literature. Therefore, we confirmed the hypothesis that equations for older individuals overestimate the volume of young trees. Then, the models adjusted in the present study provided an accurate estimate of the wood volume coming from young stands and from commercial use of the first thinning.

**Key words:** Forestry production, selective thinning, volume with bark, volume without bark.

1. Departamento de Agricultura, Biodiversidade e Florestas, Universidade Federal de Santa Catarina; Curitibanos, Brasil; [eduardolsouza033@gmail.com](mailto:eduardolsouza033@gmail.com), [xallan84@gmail.com](mailto:xallan84@gmail.com), [vinicius.cysneiros@ufsc.br](mailto:vinicius.cysneiros@ufsc.br)

## Resumo

O objetivo deste estudo foi ajustar modelos lineares e não-lineares para estimar o volume de madeira em povoamentos jovens de *Pinus taeda*, preenchendo a lacuna existente de informações para os primeiros anos dos plantios da espécie. Os dados utilizados foram provenientes de um desbaste em um plantio experimental de *P. taeda* com 5 anos de idade, implantado na Área Experimental Florestal da Universidade Federal de Santa Catarina, no município de Curitibanos, SC. Foram testados os modelos volumétricos de simples entrada de Husch (linear e não linear) e Kopecky (linear), utilizando apenas a variável Diâmetro, e os modelos de dupla entrada de Schumacher-Hall (linear e não linear) e Spurr (linear), usando as variáveis Diâmetro e Altura Total. Os modelos foram ajustados pelo método dos mínimos quadrados ordinários, utilizando análise de regressão linear e não-linear. O melhor modelo de simples entrada e o de dupla entrada foram aplicados a uma base de dados independentes para validação. Os modelos de dupla entrada apresentaram resultados superiores aos de simples entrada, porém a variação de acurácia e eficiência não foi tão considerável. O modelo de Schumacher-Hall e os modelos de Husch e Kopecky ajustados apresentaram melhores estimativas em relação aos modelos disponíveis na literatura. Portanto, a hipótese de que as equações para indivíduos com idades mais avançadas superestimam o volume dos indivíduos jovens foi aceita. Assim, os modelos ajustados no presente estudo forneceram estimativas mais acuradas do volume de madeira proveniente de povoamentos jovens e do aproveitamento comercial do primeiro desbaste.

**Palavras chave:** Produção florestal, desbaste seletivo, volume com casca, volume sem casca.

## Introdução

A Associação Catarinense de Empresas Florestais [1] demonstrou que os estados do Paraná, Rio Grande do Sul e Santa Catarina, englobam cerca de 87% das florestas plantadas do gênero *Pinus* no Brasil, devido as características edafoclimáticas favoráveis ao seu cultivo. Santa Catarina é o segundo colocado nacional em área plantada do gênero, com cerca de 713 mil hectares, sendo a principal fonte de matéria prima para a indústria madeireira e indústria de papel e celulose no estado.

As equações de volume permitem estimar o volume de povoamentos florestais, relacionando uma variável de difícil obtenção com uma ou mais variáveis de mais fácil obtenção. Essas estimativas são usadas devido à dificuldade de obtenção do volume individual de cada

árvore em um povoamento. Portanto, o principal objetivo das equações de volume é obter estimativas acuradas e consequentemente diminuir os custos com as atividades de mensuração florestal. As equações de volume podem ser desenvolvidas especificamente para espécies, classes de idades ou sítios, porém é comum o uso de equações genéricas, capazes de estimar o volume para povoamentos com características distintas [2], [3].

Para ajustar equações de volume é necessário a cubagem rigorosa de árvores abatidas, e posteriormente o ajuste e seleção de modelos matemáticos por meio de análise de regressão e de outras análises estatísticas. Tais métodos auxiliam a seleção dos modelos mais confiáveis a serem aplicados em novas estimativas [4]. Assim, a seleção do melhor modelo é uma etapa fundamental para a quantificação dos recursos madeireiros, visando diminuir o erro de estimativa e assim melhorar a avaliação dos recursos florestais, otimizando o planejamento das etapas de produção florestal [5], [6], [7].

A atual escassez de madeira no Planalto Serrano Catarinense [8], [9], tem ocasionado o corte precoce e o aproveitamento comercial do primeiro desbaste de povoamentos de *Pinus* para o atendimento da demanda nos polos madeireiros regionais. Nesse contexto, um obstáculo para a quantificação acurada do volume nos povoamentos tem sido a ausência de equações dendrométricas para indivíduos jovens, pois a maioria das equações disponíveis foram ajustados para indivíduos com idades avançadas [3], [10]. Assim, este estudo teve como objetivo ajustar e selecionar equações para estimativa de diferentes componentes do volume de indivíduos jovens de *Pinus taeda*, na região do Planalto Serrano Catarinense. Para isso, foi testada a hipótese que as equações disponíveis ajustadas para indivíduos de idades mais avançadas, superestimam o volume dos indivíduos jovens.

## Material e métodos

### Área de estudo

A área de estudo está localizada no Planalto Serrano Catarinense, na Área Experimental Florestal (AEF) pertencente à Universidade Federal de Santa Catarina, no município de Curitibanos, SC (27°18'32.02" S e 50°52'44.98" W). A área total é de 42 ha, onde 13,9 ha são ocupados por plantios experimentais e o restante por áreas de preservação permanente, reserva legal e fragmentos de floresta ombrófila mista. Segundo a classificação de Köppen o clima da região é temperado constantemente úmido (Cfb), com verão fresco e sem estação seca [11]. A maioria dos solos do Planalto Serrano Catarinense é composta por basalto e andesitos, rochas de composição básica, com altos teores de sílica,

**Tabela 1.** Forma matemática dos modelos ajustados para estimativa dos volumes de indivíduos jovens de *Pinus taeda*.

**Table 1.** Mathematical equation of fitted models to volume estimates for young *Pinus taeda* trees.

Modelo	Autor	Forma	Natureza	Entrada
1	Husch	$V_i = \beta_0 + \beta_1 * Dap + \epsilon_i$	Linear	
2	Kopezky	$V_i = \beta_0 + \beta_1 * Dap^2 + \epsilon_i$	Linear	Simple
3	Husch	$V_i = \beta_0 * Dap^{\beta_1} + \epsilon_i$	Não-linear	
4	Spurr	$V_i = \beta_0 + \beta_1 * (Dap^2 * Ht) + \epsilon_i$	Linear	
5	Schumacher-Hall	$V_i = \beta_0 + \beta_1 * Dap + \beta_2 * Ht + \epsilon_i$	Linear	Dupla
6	Schumacher-Hall	$V_i = \beta_0 * Dap^{\beta_1} + Ht^{\beta_2} + \epsilon_i$	Não-linear	

Em que:  $V_i$  = volume com casca ou sem casca (m<sup>3</sup>); Dap = diâmetro do tronco medido a 1,30 metros do solo (cm); Ht = altura total (m);  $\beta_0$ ,  $\beta_1$  e  $\beta_2$  = coeficientes estimados para os modelos ajustados; e  $\epsilon_i$  = erro aleatório do modelo.

baixos teores de ferro e magnésio [12]. Na área de estudo o solo é predominantemente classificado como Latossolo Bruno [12].

### Coleta dos Dados

Para o presente estudo, foram coletados dados de 67 árvores em um gradiente de manejo de *Pinus taeda* implantado no ano de 2017, com espaçamento de 2,5 x 2,5 metros e área total de 0,5 ha. Os dados foram coletados após o desbaste do povoamento aos cinco anos de idade em 2022. As variáveis mensuradas em nível de árvore individual foram: altura total (Ht, em metros), diâmetro a altura do peito, medido à 1,3 metros do solo (Dap, em centímetros), além dos diâmetros (Di, em centímetros) e espessura de casca (Ec, em centímetros) medidas em diferentes seções (alturas pré-determinadas ao longo do fuste). As árvores amostradas foram cubadas pelo método de Smalian, considerando os diâmetros na base e no topo de cada seção [2]. Para medição dos diâmetros das seções (Di's) foi utilizado uma suta, sendo coletadas duas medidas em diferentes posições para obtenção de um valor médio, nas alturas 0,1 m, 0,3 m, 0,5 m, 0,8 m, 1,3 m e assim sucessivamente a cada metro, em seções com diâmetro superior a 5,0 cm. Para a medição da altura foi utilizada uma trena, considerando a altura do toco de cada indivíduo. A espessura de casca foi medida nas mesmas posições dos Di's nas diferentes seções, com auxílio de um medidor de incremento graduado em milímetros.

O volume total individual ( $V_i$ ) foi obtido por meio do somatório do volume de cada seção presente no fuste das árvores amostradas. O volume com e sem casca são importantes componentes para a avaliação do volume e produção de árvores individuais, fornecendo subsídios

para estimativa dos diferentes estoques volumétricos em povoamentos florestais [13]. Para a obtenção do volume com casca (Vcc), foi utilizado os diâmetros medidos externos à casca na cubagem. Já para a obtenção do volume sem casca (Vsc), para cada diâmetro medido nas diferentes seções foi subtraído duas vezes a espessura da casca, obtendo-se o diâmetro interno à casca para aplicação no cálculo do volume sem casca.

### Análise dos Dados

A seleção dos modelos a serem ajustados foi realizada com base no padrão de dispersão das variáveis dependentes (Vcc ou Vsc) em função das variáveis independentes (Dap e Ht) [14], identificado na análise exploratória dos dados (Figura 1). A análise de regressão foi empregada para analisar a relação de uma variável dependente com uma ou múltiplas variáveis independentes [15]. Foram testados seis modelos de volume selecionados na literatura (Tabela 1), sendo três de simples entrada (usando apenas Dap) e três de dupla entrada (usando Dap e Ht), dos quais quatro são lineares e dois são não-lineares. O ajuste dos modelos foi realizado usando dados de 40 árvores, através do método dos mínimos quadrados ordinários, usando a análise de regressão no programa estatístico R 4.2.1 [16]. Os modelos lineares foram ajustados usando as funções de base, já os modelos não-lineares foram ajustados com auxílio da função nls no pacote nlme [17].

Os modelos foram avaliados através dos pressupostos da regressão, com análise da normalidade e da homocedasticidade dos resíduos. Adicionalmente, a significância dos modelos e dos coeficientes pelo teste F também foi avaliada (P < 0,05). Os modelos que não atenderam os pressupostos regressão ou apresentaram

coeficientes não significativos foram excluídos da seleção do melhor modelo. O coeficiente de determinação ( $R^2$ , Eq. 1) foi usado para avaliar a eficiência dos modelos ajustados. Já o coeficiente de determinação ajustado ( $R^2_{aj}$ , Eq. 2) foi usado para comparar modelos com número distinto de coeficientes. O erro padrão da estimativa absoluto ( $Syx$ , Eq. 3) e relativo ( $Syx\%$ , Eq. 4) foram utilizados para avaliar a precisão dos modelos ajustados. Esses erros são usados para informar o quanto o modelo erra em média na estimativa da variável dependente [7], [15]. O critério de informação Akaike (AIC) foi calculado para comparar os modelos quanto a perda de informação.

$$R^2 = 1 - \left(\frac{SQE}{SQT}\right) \quad (1)$$

$$R^2_{aj} = 1 - \left(\frac{n-1}{n-p}\right) * \left(\frac{SQE}{SQT}\right) \quad (2)$$

$$S_{yx} = \sqrt{\frac{SQE}{(n-p)}} \quad (3)$$

$$S_{yx\%} = \frac{S_{yx}}{\bar{x}} * 100 \quad (4)$$

Onde:  $n$  é o número de observações;  $p$  é o número de coeficientes do modelo;  $SQE$  é a soma dos quadrados dos resíduos;  $SQT$  é a soma dos quadrados totais; e  $\bar{x}$  é a média do volume real mensurado (em  $m^3$ ).

Por fim, o melhor modelo foi selecionado por meio dos critérios: maior Coeficiente de determinação ajustado ( $R^2_{aj}$ ); menor Erro padrão absoluto ( $Syx$ ), menor Erro padrão relativo ( $Syx\%$ ), menor critério de informação de Akaike (AIC) e ausência de tendências nas estimativas por meio da análise gráfica dos resíduos.

### Validação dos modelos selecionados

Os modelos selecionados foram aplicados à uma base de dados independente com 27 árvores cubadas para a validação estatística. A amostra independente foi obtida na mesma área de estudo, seguindo os mesmos procedimentos operacionais já descritos no item Coleta

dos Dados. Para a avaliação da capacidade preditiva e de generalização das estimativas, foram calculadas as estatísticas erro padrão absoluto ( $Syx$ , Eq. 3) e relativo ( $Syx\%$ , Eq. 4), para os modelos aplicados aos dados de validação. Para testar a hipótese de que as equações disponíveis para indivíduos em idades avançadas superestimam o volume dos indivíduos jovens, nós comparamos graficamente o desempenho dos modelos selecionados com os disponíveis na literatura para estimativa do volume, usando os dados de validação. Os modelos disponíveis na literatura [10] usados para comparação estão apresentados na Tabela 2.

## Resultados e discussão

### Ajuste e seleção dos modelos

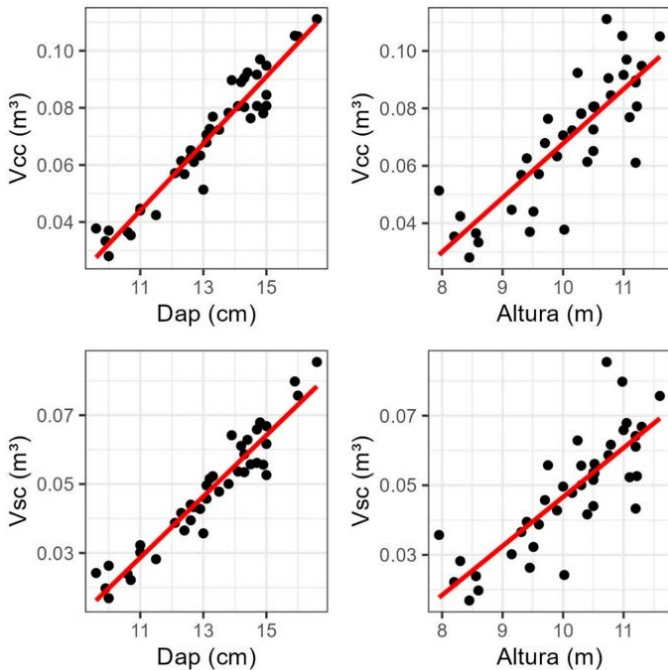
Os melhores modelos foram selecionados seguindo os critérios apresentados na análise de dados, sendo selecionados o melhor modelo de simples entrada e o melhor de dupla entrada para  $V_{cc}$  e  $V_{sc}$  (Tabela 3). Os modelos selecionados para  $V_{cc}$  foram o de Husch (Modelo 1) de simples entrada e o de Schumacher-Hall (Modelo 5) de dupla entrada. Os valores de  $R^2_{aj}$  foram de 0,922 e 0,955, respectivamente. Já os valores de  $Syx\%$  foram de 8,871 e 6,787, respectivamente. Para estimar o  $V_{sc}$  o melhor modelo de simples entrada foi o de Kopecky (Modelo 2), enquanto o de dupla entrada foi o de Schumacher-Hall (Modelo 5), os valores de  $R^2_{aj}$  e  $Syx\%$  encontrados foram de 0,922 e 9,810 para o modelo 2, e 0,938 e 7,768 para o Modelo 5. Todos os modelos selecionados são lineares, o que pode ser explicado pela relação linear encontrada para a dispersão entre as variáveis dependentes e as independentes (Figura 1).

Santos et al. [5] testando diferentes modelos para estimativa do volume de indivíduos de *P. taeda*, com várias classes de idade, obteve valores de  $R^2_{aj}$  semelhantes, para o modelo de Schumacher-Hall e para o modelo de Spurr, mas os valores de  $Syx$  e  $Syx\%$  foram maiores aos encontrados no presente estudo (Tabela 3). Porém, quando os dados foram estratificados em classes de idades o erro encontrado pelos autores ( $Syx$  e  $Syx\%$ )

**Tabela 2.** Modelos de volume para *Pinus taeda* disponíveis na literatura e usados para testar a hipótese elaborada.

**Table 2.** Volume models for *Pinus taeda* available in the literature and used to test the hypothesis

Autor	Idade	Local	Forma Matemática	$R^2_{aj}$	$Syx\%$
Thomas et al. (2006)	8 à 28	Ponte Alta do Norte, SC	$\text{Ln}(V_{cc}) = -10,207 + 1,875 * \text{Ln}(Dap) + 1,148 * \text{Ln}(Ht)$	0,993	21,0
			$\text{Ln}(V_{sc}) = -9,843 + 1,817 * \text{Ln}(Dap) + 1,103 * \text{Ln}(Ht)$	0,997	18,7
Santos et al. (2019)	7 à 23	Região Oeste, SC	$\text{Ln}(V_{cc}) = -10,049 + 1,966 * \text{Ln}(Dap) + 0,978 * \text{Ln}(Ht)$	0,986	11,8



**Figura 1.** Relações entre o diâmetro e a altura e os diferentes volumes (com e sem casca) em indivíduos jovens de *Pinus taeda*. A linha vermelha representa a linha de tendência média da relação entre as variáveis.

**Figure 1.** Relationships between diameter, height and different volumes (with and without bark) in young *Pinus taeda* trees. The average trend line is shown here.

diminuiu consideravelmente para todos os modelos testados. Já Téó et al. [3] encontrou resultados de R<sup>2</sup>aj superiores aos modelos ajustados no presente estudo.

Os autores também constataram que o acréscimo da variável altura não forneceu maior eficiência preditiva aos modelos, em acordo com o presente estudo (Tabela 3). Isso sugere que em indivíduos jovens de *Pinus*, a altura não é uma variável preditora tão importante para estimar o volume.

De acordo com os critérios de seleção adotados, todos os modelos selecionados (Modelos 1, 2 e 5) atenderam aos pressupostos residuais de normalidade e homocedasticidade. Tanto os modelos de simples entrada (Figura 2), quanto os de dupla entrada (Figura 3), apresentaram resíduos com distribuição normal (A, C) e sem tendências ou heterocedasticidade aparentes (B, D), reforçando a seleção desses modelos. No entanto, os modelos de dupla entrada selecionados foram superiores aos modelos de simples entrada (Tabela 3). Mas, os modelos de simples entrada também podem ser utilizados para novas estimativas, pois forneceram estatísticas de ajuste satisfatórias e atendem aos pressupostos estatísticos.

**Validação e comparação dos modelos**

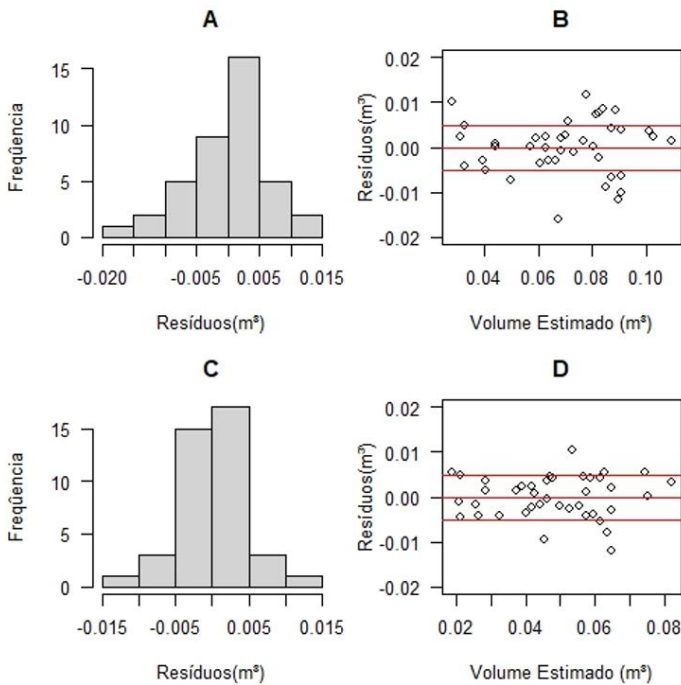
Após os procedimentos de ajuste e seleção, os modelos selecionados foram aplicados à base de dados independente de validação (27 árvores), para testar sua estabilidade em novas estimativas. No procedimento de validação, foi constatada uma suave redução do erro de estimativa (Syx e Syx%) para todos os modelos (Tabela 4). Portanto, os modelos selecionados no presente estudo foram validados e podem ser recomendados para novas estimativas de indivíduos jovens, pois demonstraram alta

**Tabela 3.** Estatísticas de ajuste dos modelos testados para a estimativa do volume com e sem casca de indivíduos jovens de *Pinus taeda*. Os modelos selecionados como os melhores estão destacados em negrito.

**Table 3.** Fitting statistics of tested models to estimate the volume with and without bark in young *Pinus taeda* trees. The best selected models are in bold.

Volume	Modelo	$\beta_0$	$\beta_1$	$\beta_2$	AIC	R <sup>2</sup> aj.	Syx	Syx%
Com casca	1	-0,0851	0,0117		-289,5	0,922	0,006	8,871
	2	-10,8400	0,4547		-289,5	0,922	0,006	8,876
	3	0,1784	2,3040		-288,2	0,922	0,006	9,014
	4	4,2380	0,0359		-307,8	0,951	0,005	7,061
	5	-0,1151	0,0094	0,0061	-310,0	0,955	0,005	6,787
	6	0,0692	1,8380	0,9280	-307,3	0,954	0,005	7,024
Sem casca	1	-0,0690	0,0089		-306,5	0,912	0,005	10,403
	2	-0,0132	0,0003		-311,2	0,922	0,005	9,810
	3	0,0570	2,5980		-311,6	0,919	0,005	9,762
	4	-1,5820	0,0273		-325,7	0,946	0,004	8,189
	5	-0,0896	0,0073	0,0042	-319,2	0,938	0,004	7,768
	6	0,0236	2,1521	0,878	-324,0	0,950	0,004	8,262





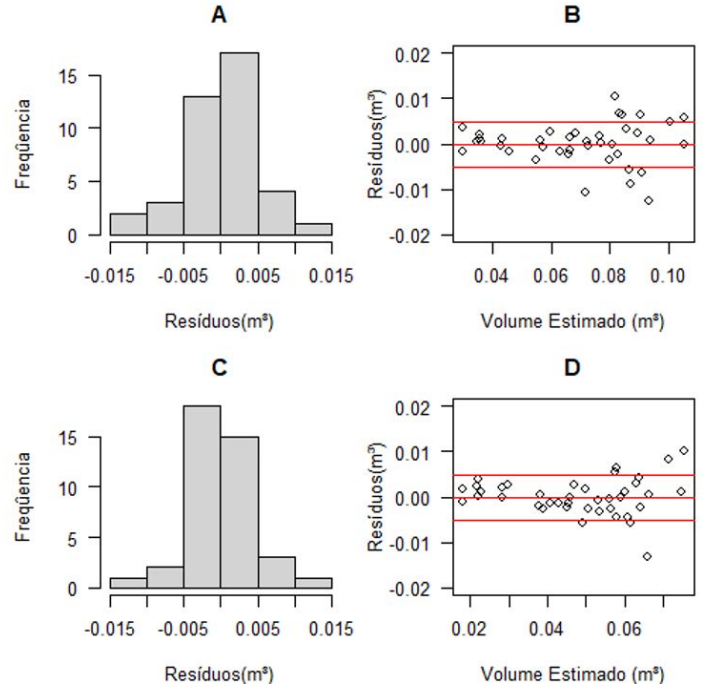
**Figura 2.** Análise gráfica dos resíduos gerados pelos modelos de simples entrada selecionados para estimativa do volume com casca (A e B) e volume sem casca (C e D).

**Figure 2.** Graphical analysis of the residuals generated by single-input models selected to estimate the volume with (A and B) and without bark (C and D).

precisão e eficiência, ausência de tendências, bem como capacidade de generalização das estimativas.

Por fim, a acurácia dos modelos selecionados foi comparada com outros dois modelos disponíveis na literatura [5], [13] (Figura 4). A hipótese elaborada de que as equações ajustadas para indivíduos em idades mais avançadas superestimam o volume de indivíduos jovens, foi aceita. Para o Vcc o modelo de dupla entrada selecionado (MD5) forneceu estimativas mais próximas do real (cubagem), enquanto os modelos da literatura geraram uma evidente superestimativa (Figura 4A). Já para o Vsc, a superestimativa dos modelos da literatura foi mais evidente, mas o modelo de simples entrada selecionado (MS2) subestimou consideravelmente o volume (Figura 4B).

A superestimativa dos modelos da literatura é explicada devido as classes de idades mais avançadas usadas para o ajuste, quando comparado ao presente estudo. Esses resultados estão de acordo com outros estudos para *P. taeda* [3], no qual estimativas mais precisas são obtidas para o volume quando as classes de idade são consideradas. De fato, a idade afeta a forma dos fustes e o tamanho das árvores [7], [14], gerando diferenças



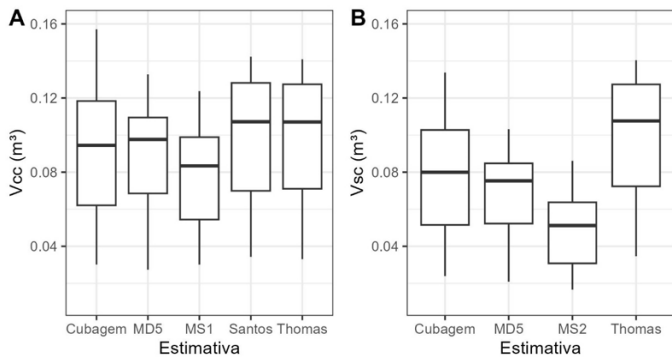
**Figura 3.** Análise gráfica dos resíduos gerados pelos modelos de dupla entrada selecionados para estimativa do volume com casca (A e B) e volume sem casca (C e D).

**Figure 3.** Graphical analysis of the residuals generated by double-input models selected to estimate the volume with (A and B) and without bark (C and D).

consideráveis nas equações dendrométricas preditivas [3], [18]. Equações de volume exclusivas para povoamentos jovens de *P. taeda* ainda são escassas. Mas o atual cenário de escassez madeireira, onde as madeiras provenientes do primeiro desbaste podem ser comercializadas para o atendimento de mercados consumidores de toras finas (biomassa e energia), tem enfatizado a necessidade de novos estudos para modelagem do volume, da forma do fuste e das propriedades da madeira de indivíduos jovens de *Pinus* spp.

## Conclusão

O ajuste de novas equações volumétricas para indivíduos jovens de *Pinus taeda* apresentou estimativas mais acuradas para o volume com e sem casca das árvores quando comparada as demais equações disponíveis na literatura para a espécie, confirmando a hipótese do presente estudo. O modelo de Schumacher-Hall de dupla entrada e os modelos de Husch e Kopecky de simples entrada apresentaram os melhores resultados para estimativa dos volumes com e sem casca. Portanto, as equações selecionadas aprimoraram a avaliação



**Figura 4.** Comparação do volume com casca (A) e sem casca (B) mensurado na cubagem com os volumes estimados pelos modelos selecionados e disponíveis na literatura. MD5, modelo 5 de dupla entrada; MS1 e MS2, modelo 1 e 2 de simples entrada; Santos, Thomas, modelos disponíveis na literatura (Tabela 2).

**Figure 4.** Comparison of the volume with (A) and without bark (B) measured with the estimated volumes by the selected and available models. MD5, double-input model 5; MS1 and MS2, single-input models 1 and 2; Santos, Thomas, models available in the literature (Table 2).

de volume em povoamentos de *P. taeda*, fornecendo estimativas acuradas do volume de madeira proveniente de povoamentos jovens e do aproveitamento comercial do primeiro desbaste.

## Referencias

[1] ACR – Associação Catarinense de Empresas Florestais. “Anuário estatístico de base florestal para o estado de Santa Catarina 2022 (Ano Base 2021)”. Lages, 2022. [Online]. Disponible en: <https://acr.org.br/anuario-estístico-de-base-florestal-para-o-estado-de-sc-esta-disponível-online/> [22 julio 2024].

[2] V. C. Cysneiros, T. D. Gai, T. B. Silveira Filho, A. L. Pelissari, S. A. Machado, D. C. Carvalho, T. A. Moura, H. B. Amorim. “Tree volume modeling for forest types in the Atlantic Forest: generic and specific models”. *iForest*, vol. 13, pp. 417-425, 2020. Doi:10.3832/ifer3495-013.

[3] S. J. Té, S. A. Machado, A. Figueiredo filho e M. Tomé. “Equação de volume de aplicabilidade extensiva a diversas classes de idade para *Pinus taeda* L., na região Meio Oeste do estado de Santa Catarina”. *Revista Brasileira de Biometria*, vol. 36, no. 3, Sep., pp. 668-685, 2018. Doi:10.28951/rbb.v36i3.278

[4] T. L. Azevedo, A. A. de Mello, R. A. Ferreira, C. R. Sanquetta e N. Y. Nakajima. “Equações hipsométricas e volumétricas para um povoamento de *Eucalyptus* sp. localizado na FLONA do Ibura, Sergipe”. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, vol. 6, no. 1, Mar., pp. 105-112, 2011.

**Tabela 4.** Estatísticas de validação dos modelos selecionados para a estimativa do volume com e sem casca de indivíduos jovens de *Pinus taeda*.

**Table 4.** Validation statistics of the selected models to estimate the volume with and without bark in young *Pinus taeda* trees.

Volume	Entrada	Modelo	Syx (m³)	Syx (%)
Com casca	Simples	1	0,007	8,058
	Dupla	5	0,005	6,082
Sem casca	Simples	2	0,006	7,250
	Dupla	5	0,005	6,395

[5] R. M. M. Santos, A. N. Dias, J. Ed. Arce, V. Martarello, E. L. Serpe, T. F. Stepka, e G. S. Lisboa. “Modelos de volume e afilamento para florestas de *Pinus taeda* L.” *Biofix Scientific Journal*, Curitiba, vol. 4, no. 1, pp. 35-42, 2019. Doi:10.5380/biofix.v4i1.62744

[6] L. Z. Oliveira, A. R. Klitzke, A. C. Fantini, H. F. Uller, J. Correia e A. C. Vibrans. “Robust volumetric models for supporting the management of secondary forest stands in the Southern Brazilian Atlantic Forest”. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, vol. 90, Dec., pp. 1-16, 2018.

[7] E. H. Burkhardt e M. Tomé. “Modeling Forest Trees and Stands”. New York: Springer, 2012. 458 pp.

[8] REMADE. O comércio de madeira tropical sofre grande impacto com a pandemia. 2020. [on line]. Disponível em: <http://www.remade.com.br/noticias/17269/o-comercio-de-madeira-tropical-sofre-grande-impacto-com-a-pandemia>. [Acesso em: 20 abr. 2023].

[9] M. Schmid. “Tendências das exportações do setor florestal brasileiro – Madeira Serrada de Coníferas”. 2018. [on line]. Disponível em: <https://www.forest2market.com/blog/br/efeitos-do-covid-19-na-industria-florestal-brasileira>. [Acesso em: 01 maio 2023].

[10] A. Figueiredo Filho, S. A. Machado, R. O. V. Miranda y F. Retslaff, \*Compêndio de equações de volume e de afilamento de espécies florestais plantadas e nativas para as regiões geográficas do Brasil”. Curitiba (PR), 2014, 305 pp.

[11] V. M. R. Thomé, S. Zampieri, H. J. Braga, C. Pandolfo, V. P. Silva Júnior, I. L. Z. Bacic, J. A. Laus Neto, D. Soldateli, E. F. Gebler, J. A. Dalle Ore, L. C. R. Echeverria, M. G. Ramos, C. N. R. Cavalheiro, M. Deeke, J. F. Mattos e P. P. Suski. “Zoneamento agroecológico e socioeconômico do estado de Santa Catarina”. Florianópolis: EPAGRI, 1999.

[12] R. O. Potter, A. P. Carvalho, C. A. Flores, I. Bognola. “Solos do estado de Santa Catarina”. Empresa Brasileira De Pesquisa Agropecuária-EMBRAPA. Rio de Janeiro, 2004.

[13] C. Thomas, C. M. Andrade, P. R. Schneider e C. A. G. Finger. “Comparação de equações volumétricas ajustadas com dados de cubagem e análise de tronco”. *Ciência Florestal*, vol. 16, no. 3, Jul., pp. 319-327, 2006.

- [14] S. A. Machado, M. B. Conceição, D. J. Figueiredo. “Modelagem do volume individual para diferentes idades e regimes de desbaste em plantações de *Pinus oocarpa*”. *Revista Ciências Exatas e Naturais*, Vol. 4, no. 2, pp. 185-197, 2002.
- [15] A. R. Lazzari, M. E. Camargo e R. C. S. “Schneider. Análise de regressão múltipla das concentrações de PM10 em função de elementos meteorológicos para Porto Alegre, Estado do Rio Grande do Sul, em 2005 e 2006”. *Acta Scientiarum Technology*, vol. 33, no. 1, pp. 49-55, 2011. Doi: 10.4025/actascitechnol.v33i1.9627
- [16] R Core Team (2022). “R: A language and environment for statistical computing”. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.
- [17] J. B. D. Pinheiro. R Core Team (2022). *\_nlme: Linear and Nonlinear Mixed Effects Models*. R package version 3.1-157, <<https://CRAN.R-project.org/package=nlme>>.
- [18] D. Queiroz, S. A. Machado, A. Figueiredo filho, J. E. Arce e H. S. Koehler. “Identidade de modelos em funções de afilamento para *Mimosa scabrella* Benth. em povoamentos nativos da região metropolitana de Curitiba/PR”. *Floresta*, vol. 38, no. 2, Sep., pp. 339-349, 2008.