

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA**

**KÁSSIO VILELA MONTEIRO**

**EFEITO DO USO DA TRANSFORMAÇÃO DE BOX E COX EM MODELOS  
VOLUMÉTRICOS DE *Pinus taeda* L.**

**MONTE CARMELO**

**2019**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA**

**KÁSSIO VILELA MONTEIRO**

**EFEITO DO USO DA TRANSFORMAÇÃO DE BOX E COX EM MODELOS  
VOLUMÉTRICOS DE *Pinus taeda* L.**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia Florestal, Campus Monte Carmelo, da Universidade Federal de Uberlândia, como parte dos requisitos necessários para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Florestal.

Orientador: Prof. Dr. Emanuel Arnoni Costa

**MONTE CARMELO**

**2019**

**KÁSSIO VILELA MONTEIRO**

**EFEITO DO USO DA TRANSFORMAÇÃO DE BOX E COX EM MODELOS  
VOLUMÉTRICOS DE *Pinus taeda* L.**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia Florestal, Campus Monte Carmelo, da Universidade Federal de Uberlândia, como parte dos requisitos necessários para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Florestal.

Monte Carmelo, \_\_\_ de \_\_\_\_\_ de 20\_\_.

Banca Examinadora

---

Prof. Dr. Emanuel Arnoni Costa  
Orientador

---

Prof. Dr. Álvaro Augusto Vieira Soares  
Membro da Banca

---

Dr. Lidiomar Soares da Costa  
Membro da Banca

**MONTE CARMELO  
ANO 2019**

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

<b>Figura 1.</b> Ilustração da cubagem pelo método de Smalian.....	15
<b>Figura 2.</b> Análise gráfica de resíduos e histograma de resíduos para os modelos volumétricos de simples entrada em árvores de <i>Pinus taeda</i> L.....	26
<b>Figura 3.</b> Análise gráfica de resíduos e histograma de resíduos para os modelos volumétricos de dupla entrada.....	27
<b>Figura 4.</b> Limite inferior e superior de lambda ao nível de significância de 95% utilizados na transformação Box-Cox.....	30
<b>Figura 5.</b> Gráficos de resíduos e histograma de resíduos para os modelos volumétricos de simples entrada após a aplicação do método de Box-Cox para <i>Pinus Taeda</i> L.....	32
<b>Figura 6.</b> Análise gráfica de resíduos e histograma de resíduos para os modelos volumétricos de dupla entrada após a aplicação do método de Box-Cox para <i>Pinus taeda</i> L.....	33

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1.</b> Municípios e suas características de coordenadas, altitude, pluviosidade acumulada anual e temperatura média anual.....	13
<b>Tabela 2.</b> Número de árvores utilizadas para ajuste, validação e número total de árvores com valores do centro de classes de diâmetro e idades.....	14
<b>Tabela 3.</b> Modelos volumétricos de simples e dupla entrada, lineares e não lineares.....	16
<b>Tabela 4.</b> Critérios utilizados para avaliação da eficiência de predição dos resultados e suas respectivas expressões.....	18
<b>Tabela 5.</b> Resumo estatístico para as variáveis dendrométricas de tempo, diâmetro, altura e volume.....	22
<b>Tabela 6.</b> Coeficientes e critérios usados para avaliar os ajustes dos modelos volumétricos de simples e dupla entrada para <i>Pinus taeda</i> L.....	24
<b>Tabela 7.</b> Coeficientes e critérios de usados para avaliar os ajustes dos modelos volumétricos de simples e dupla entrada aplicando-se o método de Box-Cox para <i>Pinus taeda</i> L.....	29
<b>Tabela 8.</b> Teste de Qui-Quadrado e Teste t para equações 3 e 8.....	34
<b>Tabela 9.</b> Predições de volume para cada diâmetro.....	35
<b>Tabela 10.</b> Predições de volume para cada diâmetro.....	37

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

R <sup>2</sup> <sub>aj.</sub>	Coeficiente de determinação ajustado.
RMSE	Raíz do erro médio quadrático.
MAPE	Erro percentual absoluto médio.
AIC	Critério de informação de Akaike.
AICc	Critério de informação de Akaike corrigido.
w <sub>i</sub> (AIC)	Critério de informação de Akaike ponderado.
$\chi^2$	Qui-quadrado
d	Diâmetro a altura do peito

## LISTA DE SÍMBOLOS

$\lambda$  Lambda  
 $\beta$  Beta  
 $\theta$  Teta

## RESUMO

A partir do conhecimento sobre a estimação do volume de madeira em um plantio florestal que se torna possível fazer o correto planejamento e ordenamento da produção. Nesse sentido, no presente estudo selecionamos equações volumétricas de simples e dupla entrada para plantios de *Pinus taeda* L com o objetivo de compará-las com a sem a aplicação do método de Box e Cox (1964). Para a análise, foram utilizadas um total de 158 árvores, distribuídas em cinco municípios do Planalto Catarinense. Às árvores foram submetidas a cubagem rigorosa do tronco através do método de Smalian. Com base em pesquisas de literaturas foram selecionados e ajustados oito modelos volumétricos. O efeito na precisão e acurácia das estimativas volumétricas foram comparadas antes e após aplicação do método de Box e Cox (1964), utilizado quando se pretende obter a normalização dos dados. A performance dos modelos ajustados foi averiguada quanto ao coeficiente de determinação ajustado em porcentagem ( $R^2_{aj.}$ ), raiz do erro médio quadrático (RMSE), erro percentual absoluto médio (MAPE), critério de informação de Akaike corrigido (AICc), critério de informação de Akaike Ponderado [ $w_i$ (AIC)] e análise gráfica dos resíduos. A avaliação dos modelos, assim como a eficácia da transformação de Box-Cox foi feita por método comparativo com os resultados. Os modelos escolhidos foram, de simples entrada o modelo não linear de Husch e de dupla entrada o modelo não linear de Schumacher e Hall, tais modelos obtiveram a maior performance em predizer os dados, tanto com quanto sem a aplicação do método de Box-Cox. Ambos os modelos tiveram a estatística de Akaike ponderado como grande facilitadora na escolha.

Palavras-chave: Cubagem do tronco. Modelos de regressão. Método de Box e Cox. Mensuração volumétrica.



## ABSTRACT

From the knowledge about the application of wood volume in a forest planting, which makes possible the correct planning and ordering of the production. In this sense, no study selects the single and double input volumetric equations for *Pinus* plants, in order to compare with an application of the Box and Cox method (1964). For an analysis, a total of 158 trees were used, distributed in five municipalities of Planalto Catarinense. The trees were subjected to rigorous cubage of the trunk by the Smalian method. Based on literature searches, eight volumetric models were selected and adjusted. The effect on the accuracy and precision of volumetric variations was compared before and after the application of the Box and Cox (1964) method, used when data normalization is desired. The adjusted performance models were calculated as percentage adjusted coefficient of determination ( $R^2_{aj.}$ ), Root mean square error (RMSE), Mean absolute percentage error (MAPE), corrected Akaike information criterion (AICc), Weighted Akaike [wi (AIC)] information and graphical analysis of the residues. An evaluation of the models, such as the effectiveness of Box-Cox transformation, was made by the comparative method with the results. The chosen models were single input or nonlinear Hush model and double input or nonlinear Schumacher and Hall model, such models obtained with a higher performance in data predators, both with and without the application of the Box-Cox method. Both models had a weighted Akaike statistic as a great facilitator in choosing.

Keywords: Cubation of the trunk. Regression models. Box and Cox Method. Volumetric measurement.

## SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	10
2 OBJETIVOS.....	12
2.1 OBJETIVO GERAL.....	12
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	12
3 MATERIAIS E MÉTODOS.....	13
3.1 CARACTERIZAÇÃO DAS ÁREAS DE ESTUDO .....	13
3.2 LEVANTAMENTO DE DADOS.....	13
3.3 MODELOS VOLUMÉTRICOS .....	16
3.4 CRITÉRIOS DE VALIDAÇÃO DOS MODELOS VOLUMÉTRICOS.....	18
3.5 CRITÉRIOS DE VALIDAÇÃO .....	19
3.5.1 Qui-Quadrado.....	19
3.5.2 TESTE t PAREADO .....	20
3.6 ANÁLISES ESTATÍSTICAS.....	20
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	21
4.1 CARACTERÍSTICAS DAS ÁRVORES .....	21
4.2 MODELOS VOLUMÉTRICOS AJUSTADOS .....	23
4.3 O USO DA TRANSFORMAÇÃO DE BOX E COX NOS MODELOS VOLUMÉTRICOS .....	28
4.4 VALIDAÇÃO DOS MODELOS VOLUMÉTRICOS AJUSTADOS.....	34
4.5 CONFECCÃO DAS TABELAS DE VOLUME DE SIMPLES E DUPLA ENTRADA...	35
5 CONCLUSÃO.....	39
6 RECOMENDAÇÕES .....	40
7 REFERÊNCIAS.....	41

## 1 INTRODUÇÃO

O gênero *Pinus* foi introduzido no Brasil por volta de 1880, com a espécie de *Pinus canariensis* C. Sm. proveniente das ilhas Canárias. Inicialmente, a introdução não tinha fins lucrativos, somente em 1948 foram iniciados os primeiros experimentos com fins silviculturais por iniciativa do serviço florestal do estado de São Paulo, onde foram introduzidas espécies americanas conhecidos como “pinheiros amarelos”, que são basicamente o *Pinus palustres*, *P. echinata*, *P. elliottii* e *P. taeda* (SHIMIZU, 2008).

A maioria da área reflorestada de *Pinus* presente no país foi formada entre as décadas de 1970 e 1980, período de vigência do programa de incentivos fiscais do Fundo de Investimentos Setoriais – FISET, do Banco do Brasil, estabelecendo assim os plantios industriais presentes atualmente (JUVENAL; MATTOS, 2002). Conjuntamente ao gênero *Eucalyptus*, essas duas essências formam a maior parte dos plantios florestais brasileiro e são a principal origem de produtos florestais (KOHLENER et al., 2015). A produtividade de um plantio florestal está diretamente relacionada a espécie utilizada, ao manejo aplicado e ao objetivo final da madeira.

Em estudo realizado por Vasquez et al. (2007), ressaltou-se a importância financeira do gênero do *Pinus* para a economia, sustentando que em termos de números e cifras, fica evidenciado a dimensão como base de apoio de um setor da economia que detém grande significância em âmbito nacional. Segundo Nascimento et al. (2019) devido a massiva movimentação de recursos relacionada ao setor, a cadeia produtiva da madeira e os requerimentos agregados são essenciais para o país. Em dados retirados do relatório anual do Instituto Brasileiro de Árvores (2019) mostra que o setor florestal gera 513 mil empregos diretos, com renda estimada em aproximadamente R\$ 10,2 bilhões, evidenciando a importância do setor para o país. Portanto, são necessárias maneiras de otimização da prognose da produção dos insumos gerados no setor, e as equações volumétricas é uma maneira eficaz de otimização.

Equações volumétricas são empregadas na prognose da produção madeireira, e consistem em ajustes de modelos de regressão a partir de variáveis dendrométricas mensuradas em campo (COUTO; BASTOS, 1987). A variável independente mais utilizada é o diâmetro à altura do peito (d) (medido a 1,30m acima do nível do solo). A ostensiva utilização dessa variável se dá pela facilidade da coleta em campo e por apresentar grande correlação com o volume real da árvore (NOGUEIRA et al., 2018).

Não obstante ao  $d$ , outras variáveis amplamente utilizadas são a altura comercial ( $h_c$ ) e a altura total ( $h$ ). No entanto, essas variáveis requerem maior esforço na sua determinação à campo durante a execução dos inventários florestais, especialmente em florestas densas, que dificultam o uso dos hipsômetros e propendem a aumentar o erro ligado ao dado coletado (SOARES et al., 2011; DA SILVA et al., 2012). Com a melhor equação de volume para o local é possível desenvolver tabelas de volume, as primeiras publicadas no Brasil foram feitas por Andrade (1961) e Heinsdijk (1965), com o enfoque no gênero *Eucalyptus*. Para se melhorar no ajuste de equações volumétricas podem ser utilizados alguns otimizadores florestais, como o método de Box e Cox (1964) que foi utilizado no trabalho.

Para se empregar técnicas de regressão linear e não linear existem alguns requisitos como: distribuição normal dos erros, variância constante para a distribuição dos erros, independência dos erros e não existência de colinearidade entre as variáveis independentes (MORÁN; FERRARI, 2017). Quando são realizados inventários florestais, são amostradas pequenas e grandes árvores o que torna comum a variância não ser constante porque árvores menores tendem a ter menos variância que árvores maiores (SILVA et al., 1994). Para normalizar os dados, o procedimento proposto por Box e Cox (1964), produziram uma série de transformações para qualquer variável dependente positiva.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 OBJETIVO GERAL**

O presente estudo tem por objetivo geral selecionar equações volumétricas para plantios de *Pinus taeda* L., localizados no Planalto Catarinense, utilizando técnicas de análise de regressão.

### **2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- a) Avaliar o desempenho dos modelos volumétricos testados;
- b) Verificar a precisão e a acurácia das estimativas volumétricas usando a transformação da variável dependente através do método de Box e Cox (1964);
- c) Desenvolver tabelas de volumes de simples e dupla entrada.

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1 CARACTERIZAÇÃO DAS ÁREAS DE ESTUDO

Os dados foram coletados em cinco municípios do estado de Santa Catarina: Otacílio Costa; Correia Pinto; Capão Alto; Campo Belo do Sul; Lages; segundo a classificação de Koppen o clima das cidades são Cfb, caracterizado por ser um clima temperado, com verão ameno, chuvas uniformemente distribuídas, sem estação seca (ALVARES et al., 2013). As coordenadas de cada município tão como as especificações de clima, altitude e pluviosidade estão presentes na Tabela 1.

**Tabela 1.** Municípios e suas características de coordenadas, altitude, pluviosidade acumulada anual e temperatura média anual

Município	Coordenadas UTM	Altitude (m)	PAA (mm)	TMA (°C)
OC	27° 29' S; 50° 7' W	873	1749	15,9
CP	27° 35' S; 50° 21' W	906	1645	16,4
CA	27° 56' S; 50° 30' W	950	1735	18,9
CBS	27° 53' S; 50° 45' W	898	1742	16,8
LGS	27° 48' S; 50° 19' W	987	1685	16,6

Em que: OC = Otacílio Costa; CP = Correia Pinto; CA = Capão Alto; CBS = Campo Belo do Sul; LGS = Lages; PAA = Pluviosidade acumulada anual, em mm; TMA (°C) = Temperatura média anual, em graus Celsius (°C).

#### 5.2 LEVANTAMENTO DE DADOS

Foram amostradas 158 árvores, todas pertencentes a espécie de *Pinus taeda* L., que estão detalhadas na Tabela 2, sendo 119 árvores usadas para cálculos e outras 39 restantes para validação. Conjuntamente as árvores utilizadas para ajustes e validação, consta na Tabela 2 as classes de diâmetro e as idades.

**Tabela 2.** Número de árvores utilizadas para ajuste, validação e número total de árvores com valores do centro de classes de diâmetro e idades

Idade (Anos)	Tipo	Centro de classes de diâmetro (cm)														Total				
		9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22		23	24	25	
4	Ajuste	1	1	3		3	1												9	
5					3	5	3	1	1										13	
6							1	4	5	3									13	
7									1	4	2	2		1					10	
8										1	2	2	6	1		1			13	
9										1	1	4	4	4	2				16	
10												2	3	5	4	1		1	16	
11														4	5	6	1	1	17	
12														3	4	3	2		12	
		Subtotal	1	1	3	3	8	5	5	7	9	5	10	13	18	15	11	3	2	119
4		Validação	1		2															3
5						1	1	1	1											4
6								1	1	1	1								4	
7									1				1	1					3	
8											1	1	2	1					5	
9											1	1			3				5	
10													1	2	1	1			5	
11												1		1		2	1	1	6	
12															1	1		2	4	
	Subtotal		1	0	2	1	1	1	2	2	1	3	4	4	5	5	3	3	1	39
	Total Geral	2	1	5	4	9	6	7	9	10	8	14	17	23	20	14	6	3	158	

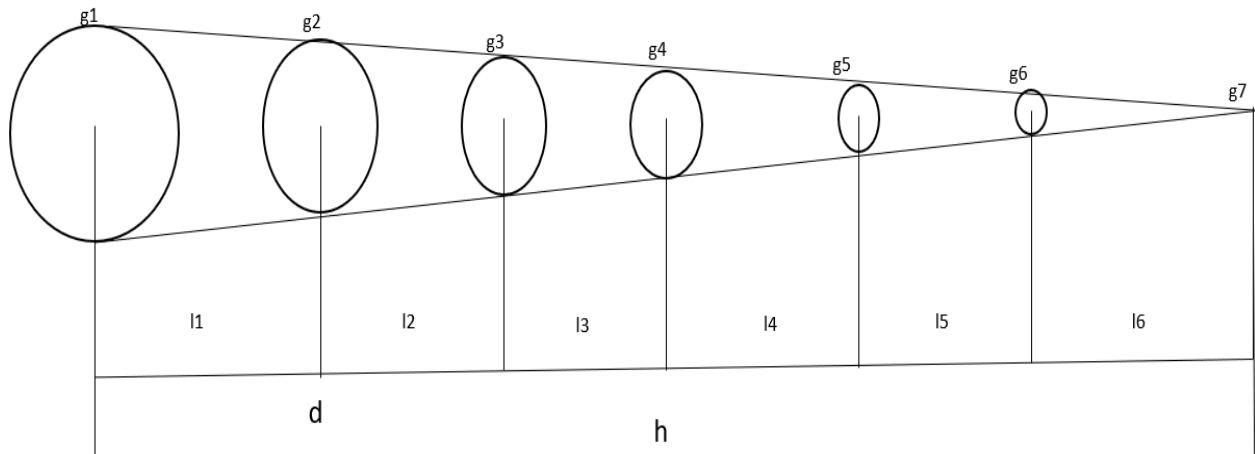
De acordo com os dados da Tabela 2, referentes ao centro de classes de diâmetro e idade, revelam que tanto os dados de ajuste quanto os de validação contemplam todas as classes de diâmetro. Dos menores valores de idade (4 anos) e centro de classes de diâmetro (9 cm) podem ser verificados nos dados de ajuste e validação.

Para o levantamento dos dados foram instaladas unidades amostrais com área circulares de 400m<sup>2</sup> e medidas o d (diâmetro a 1,30 m do solo) de todas as árvores com a suta. A árvore de área basal média (dg) da parcela foi identificada e feito a cubagem rigorosa do tronco (FINGER, 2006). A cubagem foi realizada nas posições 0,1m, 0,3m, 1,3m, 3,3m, e sucessivamente de dois em dois metros até a altura final. O volume rigoroso foi obtido por meio da expressão de Smalian:

$$v_t = v_0 + \sum_{i=1}^n v_i + v_0 \quad (1)$$

Em que:  $v_0$  = volume do toco ( $v_0 = g_0 \cdot l_0$ );  $l$  = comprimento da seção;  $g$  = área da seção;  $V_i$  = volume das seções intermediárias ( $V_i = \frac{(g_1 + g_{i+1})}{2} \cdot l_i$ );  $v_p$  = volume do cone ( $v_p = \frac{1}{3} \cdot g_n \cdot l_n$ );  $g_n$  = área da seção do topo;  $l_n$  = comprimento da seção do topo.

Na medição pelo método de Smalian, o volume de cada seção é calculado em função do comprimento e das áreas basais nas extremidades das seções. Quando o tronco possui irregularidades como galhos, a medição volta ao local onde o tronco se normaliza (FINGER, 2006).



**Figura 1.** Ilustração do método de Smalian



### 3.3 MODELOS VOLUMÉTRICOS

Após a quantificação dos volumes das árvores deu-se a seleção dos modelos para ajuste. Foram utilizados os seguintes modelos (Tabela 2):

**Tabela 3.** Modelos volumétricos de simples e dupla entrada, lineares e não lineares

Tipo	Estrutura	Identificação	Modelos
Simples entrada (d)	Linear	M <sub>1</sub> (Kopezky e Gehrhardt)	$v = \beta_0 + \beta_1 \cdot d^2 + \varepsilon_i$
		M <sub>2</sub> (Hohenald; Krenn)	$v = \beta_0 + \beta_1 \cdot d + \beta_2 \cdot d^2 + \varepsilon_i$
	Não linear	M <sub>3</sub> (Husch)	$v = \beta_0 \cdot d^{\beta_1} \cdot \varepsilon_i$
Dupla entrada (d; h)	Linear	M <sub>4</sub> (Modelo exponencial)	$v = e^{(\beta_0 + \beta_1 \cdot d + \beta_2 \cdot (\frac{1}{d}))} \cdot \varepsilon_i$
		M <sub>5</sub> (Spurr Var combinada)	$v = \beta_0 + \beta_1 \cdot d \cdot h + \varepsilon_i$ $v = \beta_0 + \beta_1 \cdot d^2 h + \beta_2 \cdot h + \varepsilon_i$
	Não linear	M <sub>6</sub> (Spurr)	
		M <sub>7</sub> (Takata)	$v = \frac{d^2 h}{\beta_0 + \beta_1 \cdot d} \cdot \varepsilon_i$
		M <sub>8</sub> (Schumacher; Hall)	$v = \beta_0 \cdot d^{\beta_1} \cdot h^{\beta_2} \cdot \varepsilon_i$

Em que: v = volume, em m<sup>3</sup> com casca; d = diâmetro a 1,30 m do solo, em cm; h = altura, em m;  $\beta_0, \beta_1, \beta_2$  = coeficientes de regressão estimados.

Em todos os modelos ajustados foi aplicado a metodologia de Box e Cox (1964) que para normalizar os dados, produziram uma série de transformações para qualquer variável dependente positiva que tem forma:

$$(Y^\lambda - 1)/\lambda, \text{ para } \lambda \neq 0 \quad (2)$$

$$W = \ln Y, \text{ para } \lambda = 0 \quad (3)$$

A transformação é diretamente dependente do parâmetro  $\lambda$  para todos os conjuntos de dados, assim como o vetor de parâmetros  $\beta$  para o modelo que deverá ser ajustado.

$$W = X\beta + \epsilon \quad (4)$$

Em que:  $W = (W_1 + W_2, \dots, W_n)$ .

O valor de  $\lambda$  que maximize:

$$Kmax^\lambda = -\frac{n}{2} \cdot \ln \left( \frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y})^2}{n} \right) + (\lambda - 1) \sum_{i=1}^n \ln Y_i \quad (5)$$

Em que  $Y_i$  = variável observada;  $\hat{Y}_i$  = variável estimada;  $n$  = número de observações;  $\ln$  = logaritmo neperiano;  $Kmax^\lambda$  = estimador de máxima verossimilhança de  $\lambda$ .

### 3.4 CRITÉRIOS DE VALIDAÇÃO DOS MODELOS VOLUMÉTRICOS

Para a avaliação da eficiência de predição dos modelos utilizou-se os seguintes critérios (Tabela 4):

**Tabela 4.** Critérios utilizados para avaliação da eficiência de predição dos resultados e suas respectivas expressões

Critérios	Expressões
Coefficiente de determinação ajustado	$R^2_{aj. \%} = \left\{ 1 - \frac{\left[ \sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y})^2 \right]}{\left[ \sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2 \right]} \times \frac{[(n-1)]}{[(n-p)]} \right\} \times 100$
Raiz do erro médio quadrático	$RMSE = \sqrt{(n-p)^{-1} \sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y})^2}$
Erro percentual absoluto médio	$MAPE = \sum_{i=1}^n \frac{ y_i - \hat{y}_i }{y_i} \cdot \frac{100}{n}$
Critério de informação de Akaike corrigido	$AICc = -2 \log L(\hat{\theta}) + 2(p) + 2 \frac{p(p+1)}{n-p-1}$
Critério de Informação de Akaike Ponderado	$w_i(AIC) = \frac{e^{-\frac{1}{2}\Delta_i(AIC)}}{\sum_{k=1}^k e^{-\frac{1}{2}\Delta_i(AIC)}}$

Em que:  $Y$  = volume observado, em  $m^3$ ;  $\hat{Y}$  = volume estimado, em  $m^3$ ;  $\bar{Y}$  = média do volume, em  $m^3$ ;  $n$  = número de observações;  $p$  = número de coeficientes.

### 3.5 CRITÉRIOS DE VALIDAÇÃO

#### 3.5.1 Qui-Quadrado

O teste  $\chi^2$  (Qui-Quadrado) é um teste não paramétrico, ou seja, não está correlacionado a parâmetros populacionais como média e variância. O principal objetivo do método é a comparação de proporções, ou melhor, as prováveis discordâncias entre frequências observadas e esperadas para um evento (CONTI, 2009).

A seguir é apresentada a expressão usada para medir as possíveis discrepâncias entre as frequências observadas e esperadas:

$$\chi^2 = \sum_{n=1}^n [(F_o - F_e)^2 / F_e] \quad (6)$$

Em que:  $F_o$  = frequência observada;  $F_e$  = frequência esperada.

Em  $\chi^2$  existem duas hipóteses, são elas  $H_0$  (que aceita a hipótese inicial) e  $H_1$  (que rejeita a hipótese inicial). Por exemplo, para se aceitar a proposta de que o volume calculado está próximo ao volume real o  $\chi^2_{\text{calculado}}$  deve ser menor que o  $\chi^2_{\text{tabelado}}$ .

### 3.5.2 TESTE t PAREADO

Observações pareadas correspondem a medidas tomadas antes e depois de uma dada intervenção. Cada indivíduo é examinado antes que um certo tratamento seja aplicado e novamente depois que o tratamento foi completado. No teste t, devemos elucidar duas hipóteses: a hipótese de nulidade ( $H_0$ ), em que, se rejeitada afirmará a hipótese científica e a hipótese alternativa ( $H_1$ ) que é assumida em caso de rejeição da hipótese de nulidade e que validará a hipótese científica.

Será utilizado o teste t pareado, que consiste em testar se a média das diferenças entre observações independentes ou pareadas é igual a um valor alvo (LIMA, 2018).

O teste será feito a partir da seguinte expressão:

$$T = \frac{\bar{D} - \mu_D}{\frac{s_D}{\sqrt{n}}} \quad (7)$$

Em que:  $\bar{D}$  = é a média amostral da diferença;  $\mu_D$  = é o valor da hipótese nula;  $s_D$  = é o desvio padrão da amostra;  $n$  = é o tamanho das amostras.

### 3.6 ANÁLISES ESTATÍSTICAS

No desenvolvimento do trabalho, será utilizado o *Software R* (R CORE TEAM, 2019) com a library nls (FLORENT, 2019) para o ajuste dos modelos e o pacote nlwr (RITZ; STREIBIG, 2008) para o cálculo do método de Box-Cox. Após todos os procedimentos os melhores modelos de simples e dupla entrada serão escolhidos e tabelas de volume vão ser confeccionadas.

## **4 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **4.1 CARACTERÍSTICAS DAS ÁRVORES**

Com base na Tabela 5, pode-se analisar o resumo estatístico para as variáveis dendrométricas das árvores analisadas.

**Tabela 5.** Resumo estatístico para as variáveis dendrométricas de tempo, diâmetro, altura e volume

Variáveis	Unidade	Tipo	Mínimo	Média	Mediana	Máximo	Desvio-Padrão
t	Anos	Ajuste (n=119)	4,0	8,5	8,9	12,4	2,5
d	cm		8,7	18,7	19,6	24,7	3,8
h	m		4,4	11,3	11,8	18,4	3,5
v	m <sup>3</sup>		0,0092	0,1436	0,1498	0,3195	0,0864
t	Anos	Validação (n=39)	4,1	8,5	8,9	12,4	2,5
d	cm		8,8	18,9	19,7	24,9	4,0
h	m		4,9	11,6	12,0	19,1	3,6
v	m <sup>3</sup>		0,0100	0,1526	0,1458	0,3866	0,0942

Em que: t = tempo em anos, d = diâmetro centímetros, h = altura em metros, v = volume em metros cúbicos

Segundo Moser e Oliveira (2016) pelo menos 25% dos dados devem ser utilizados para a confirmação dos resultados, nesse sentido, no presente trabalho utilizou-se 25% dos dados para validação.

Sugiro inserir um comentário ao longo do texto que as amostras apresentam valor média e mediana próximos. Sabe-se que, quando a média, moda e mediana são coincidentes, temos uma característica de distribuição normal dos dados.

Na análise da Tabela 5, tem-se dados de média, moda e mediana próximos, essa característica se dá quando os dados possuem distribuição normal que é basicamente uma simétrica em torno de seu ponto médio.

#### **4.2 MODELOS VOLUMÉTRICOS AJUSTADOS**

Os modelos lineares e não lineares volumétricos selecionados (Tabela 3), foram ajustados e apresentados com os seus coeficientes de regressão, bem como com suas estatísticas usadas para avaliar a qualidade do ajuste e precisão (Tabela 6). Os coeficientes de  $\beta_0$ ,  $\beta_1$  e  $\beta_2$  para os oito modelos de simples e dupla entrada são significativos ao  $\alpha = 0,05$ .



**Tabela 6.** Coeficientes e critérios usados para avaliar os ajustes dos modelos volumétricos de simples e dupla entrada para *Pinus taeda* L.

Tipo	Equações	$\beta_0$	$\beta_1$	$\beta_2$	R <sup>2</sup> aj.%	RMSE	MAPE	AICc	w <sub>i</sub> (AIC)
v = f(d)	1	-0,08552216	0,00063202		94,06	0,0211	24,93	-916,7	0,00000000
	2	0,19101445	-0,03284257	0,00156029	96,42	0,0163	8,89	-975,9	0,49862690
	3	0,00000236	3,70531900		96,37	0,0165	7,00	-975,2	0,31793850
	4	-0,56871927	0,06005097	-49,57324974	96,36	0,0165	9,34	-973,9	0,18343460
v = f(d; h)	5	-0,00475866	0,00003268		99,75	0,0044	2,42	-1291,7	0,13473610
	6	0,00033864	0,00003393	-0,00094977	99,75	0,0043	1,84	-1292,6	0,22214230
	7	36524,01	-238,49		99,75	0,0043	1,69	-1293,0	0,25809260
	8	0,00002078	2,11841900	1,02443100	99,75	0,0043	1,34	-1293,7	0,38502890

Em que:  $\beta_0, \beta_1, \beta_2$  = coeficientes de regressão estimados; R<sup>2</sup>aj.% = coeficiente de determinação, em porcentagem; RMSE = raiz do erro quadrático médio; MAPE = erro percentual absoluto médio; AICc = critério de informação de Akaike corrigido; w<sub>i</sub> (AIC) = critério de informação de Akaike ponderado

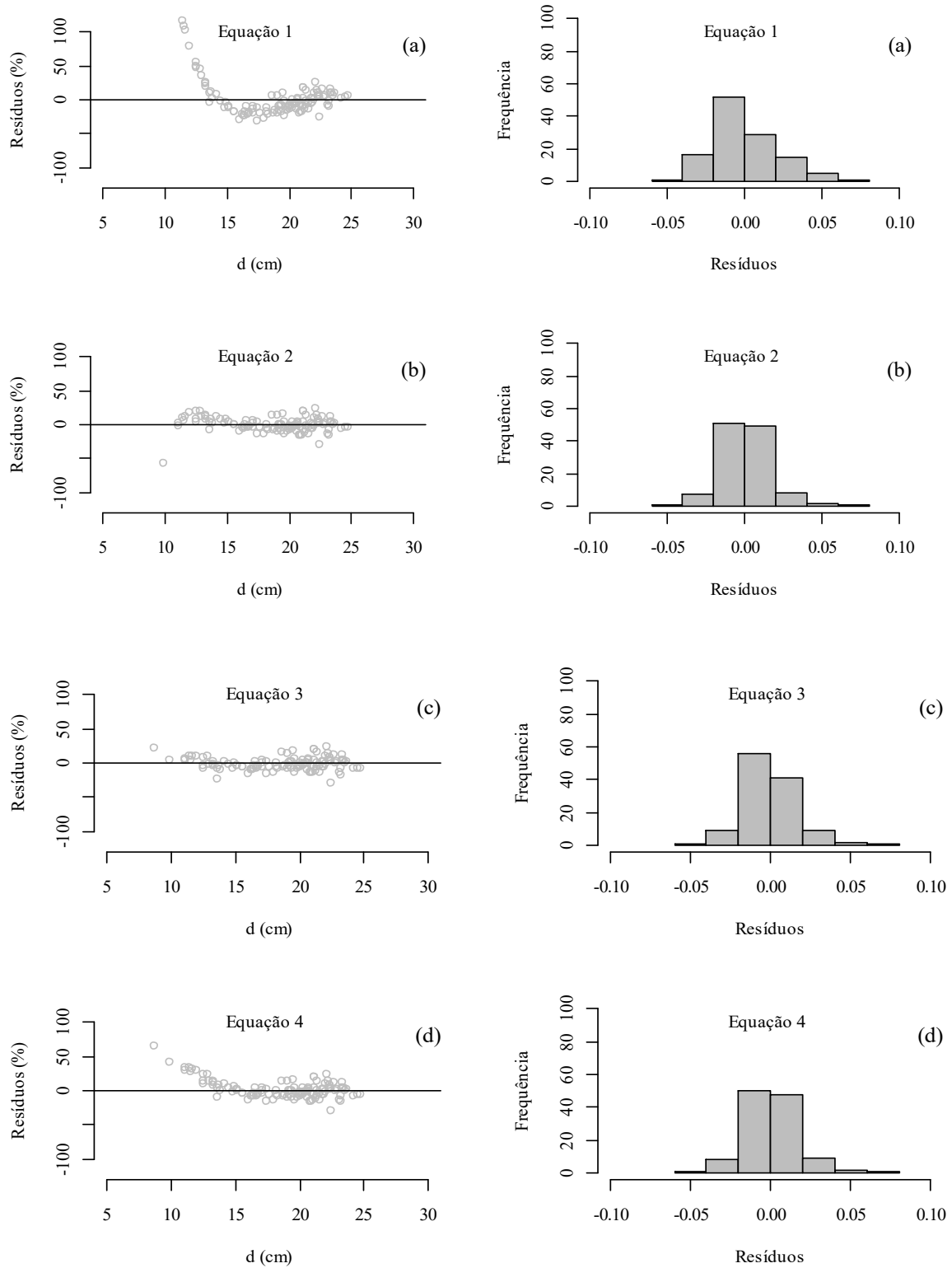
Os critérios estatísticos usados para avaliar a performance das equações volumétricas apresentaram valores parecidos quando avaliado separadamente o grupo de simples e dupla entrada (Tabela 6). Ao considerar todas as equações ficou evidente a melhoria na qualidade de ajuste e precisão nas equações de dupla entrada em razão da inserção da variável altura.

Na averiguação das estatísticas pode-se notar equações que se destacaram, como foi o caso da equação de Hohenald e Krenn de simples entrada a qual sobressaiu nas estatísticas de  $R^2_{aj.}$ %, RMSE, AICc e  $w_i$  (AIC). Em relação às equações de dupla entrada tem-se resultados estatísticos muito parecidos, todavia a equação de Schumacher e Hall obteve destaque das demais nas estatísticas de MAPE e  $w_i$  (AIC). Se a melhor equação fosse escolhida somente por estatísticas usadas para avaliar o ajuste, seriam escolhidas as equações de Hohenald e Krenn e a equação de Schumacher e Hall, porém não se deve julgar as equações somente por critérios estatísticos, pois tão importante quanto a análise estatística é a habilidade em se interpretar gráficos e as relações neles contidas (GIMENEZ et al., 2015).

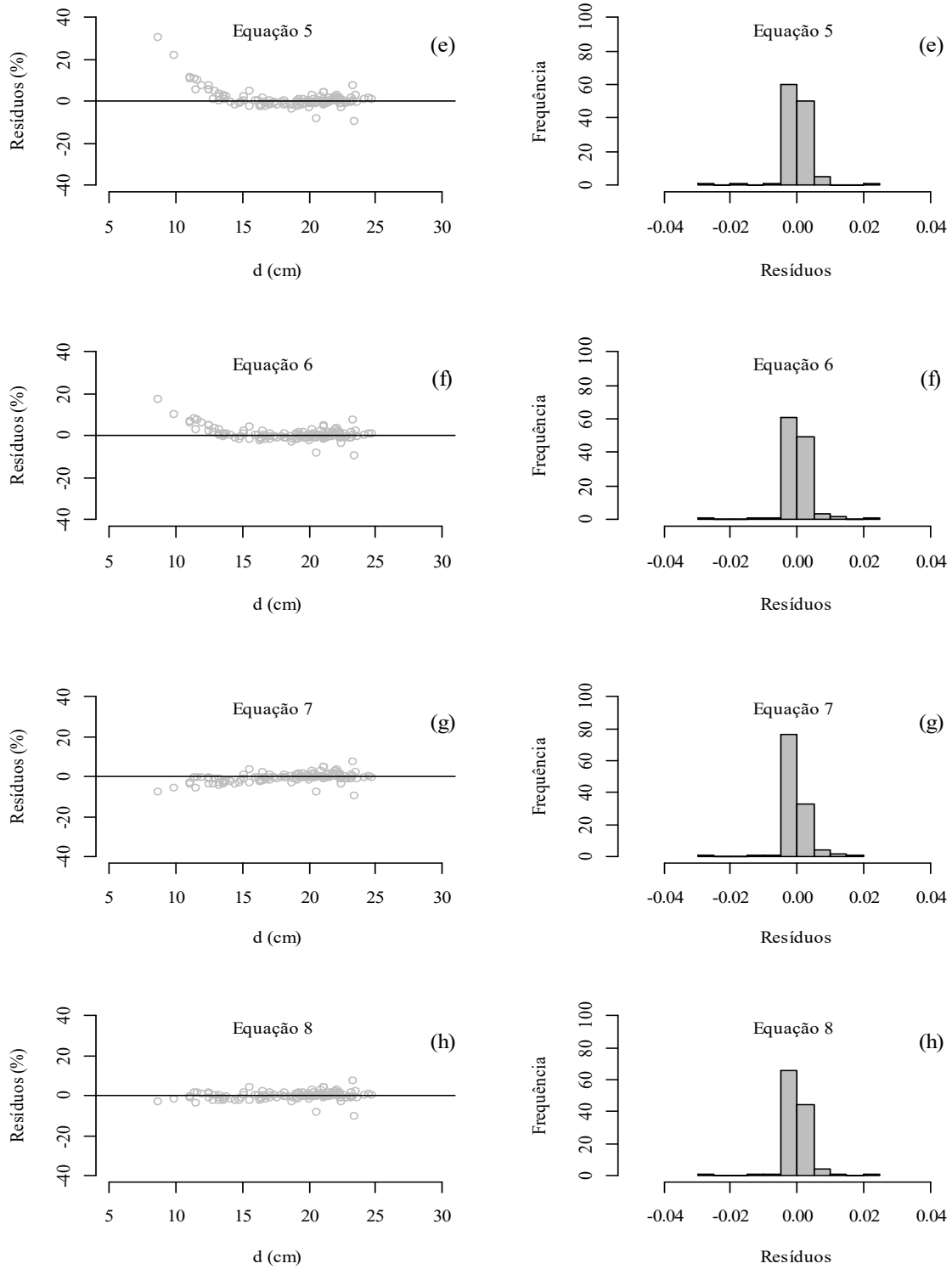
A análise gráfica dos resíduos é importantes ferramenta durante a seleção das melhores equações volumétricas (Figuras 1 e 2). O esperado é obter equações volumétricas sem tendência de superestimativa e subestimativas ao longo das classes de diâmetros. Para a análise dos histogramas o ideal é maior frequência de resíduos nas classes próximas ao valor de zero e comportamento similar a uma distribuição normal. Nesse sentido, a equação selecionada evita tendenciosidade nas estimativas.

Portanto, deve-se fazer a análise criteriosa das Figuras 2 e 3, onde contém os gráficos de resíduos e distribuição e histograma de resíduos dos resultados. Com a análise gráfica percebe-se que se tratando dos modelos de simples entrada, contrariando as estatísticas, a melhor equação é a de número 3, pois possui o gráfico de resíduos melhor, não demonstrando tendência e com os resultados mais próximos ao eixo das abscissas.

Das equações de dupla entrada, de 4 a 8, a equação de Schumacher e Hall confirmou as estatísticas e se mostrou superior as demais de dupla entrada, por não apresentar tendência e os dados estarem dispostos mais próximos ao eixo das abscissas.



**Figura 2.** Análise gráfica de resíduos e histograma de resíduos para os modelos volumétricos de simples entrada em árvores de *Pinus taeda* L.



**Figura 3.** Análise gráfica de resíduos e histograma de resíduos para os modelos volumétricos de dupla entrada

### **4.3 O USO DA TRANSFORMAÇÃO DE BOX E COX NOS MODELOS VOLUMÉTRICOS**

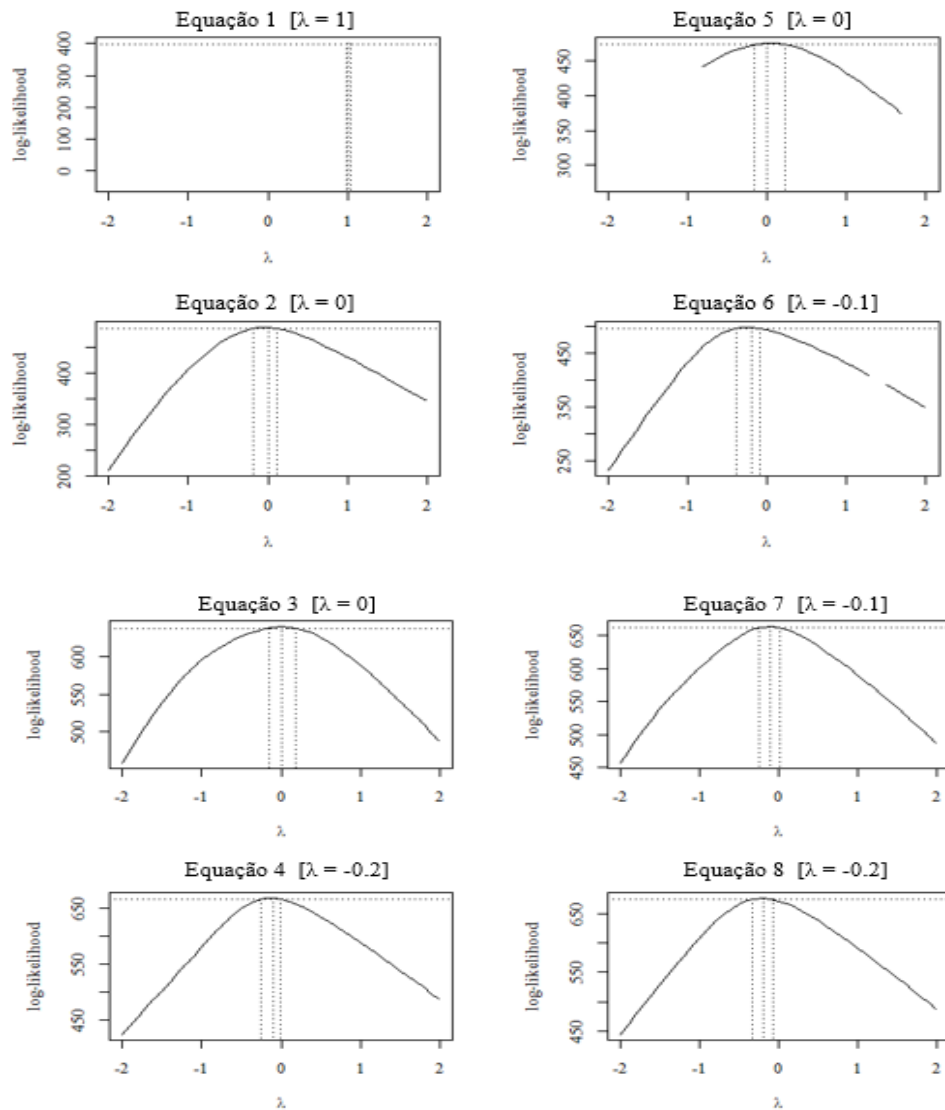
Além do ajuste das equações realizado anteriormente, também foi feito o ajuste com a utilização da transformação Box-Cox. Os resultados das transformações podem ser observados na Tabela 7, também podem ser visualizados o lambda ( $\lambda$ ) utilizado na transformação e o limite inferior e superior do mesmo. Da mesma forma, podem ser analisados os resultados dos coeficientes, e das estatísticas de avaliação.

**Tabela 7.** Coeficientes e critérios de usados para avaliar os ajustes dos modelos volumétricos de simples e dupla entrada aplicando-se o método de Box-Cox para *Pinus taeda* L.

Tipo	Equações	$\lambda$ [L.I.; L.S.] = 95%	$\Theta_0$	$\Theta_1$	$\Theta_2$	R <sup>2</sup> aj.%	RMSE	MAPE	AICc	$w_i$ (AIC)
$v^\lambda = f(d)$	1	1,0 [0,99; 1,04]	-0,08552216	0,00063202		94,06	0,0211	24,93	-916,7	0,00000000
	2	0,0 [-0,16; 0,23]	0,10965363	-0,02176341	0,00120679	95,65	0,0180	8,09	-952,9	0,00004108
	3	0,0 [-0,19; 0,11]	0,00000259	3,67116900		96,30	0,0166	6,90	-973,2	0,99995103
	4	-0,2 [-0,39;-0,09]	-4,17990880	0,15704460	-17,00654240	95,53	0,0183	6,32	-949,6	0,00000789
$v^\lambda = f(d; h)$	5	0,0 [-0,15; 0,19]	-0,00230764	0,00003193		99,68	0,0049	1,88	-1263,8	0,00000038
	6	-0,1 [-0,25; 0,02]	0,00359428	0,00003421	-0,00139185	99,74	0,0044	1,47	-1286,9	0,04228814
	7	-0,1 [-0,26;-0,01]	38677,0337	-340,7427		99,73	0,0045	1,38	-1285,4	0,01900129
	8	-0,2 [-0,33;-0,08]	0,00001949	2,14205100	1,02135400	99,75	0,0043	1,27	-1293,1	0,93871019

Em que:  $\lambda$  [L.I.; L.S.] = 95% - limite inferior e superior de lambda ao nível de significância de 95%,  $\Theta$  = parâmetros de teta 0, 1 e 2 e seus resultados, R<sup>2</sup>aj.% = coeficiente de determinação expresso em porcentagem, RMSE = raiz do erro quadrático médio, MAPE = erro percentual absoluto médio, AICc = critério de informação de Akaike corrigido,  $w_i$  (AIC) = critério de informação de Akaike ponderado.

A seguir, pode-se analisar os gráficos de como a ferramenta de Box-Cox fez as alterações mostrando quais lambdas foram utilizados e o intervalo de limite inferior e limite superior dos mesmos. Logo após, confere-se a Figura 5 que contém os gráficos de resíduos e distribuição dos dados após as transformações de Box-Cox (Figura 4).



**Figura 4.** Limite inferior e superior de lambda ao nível de significância de 95% utilizados na transformação Box-Cox

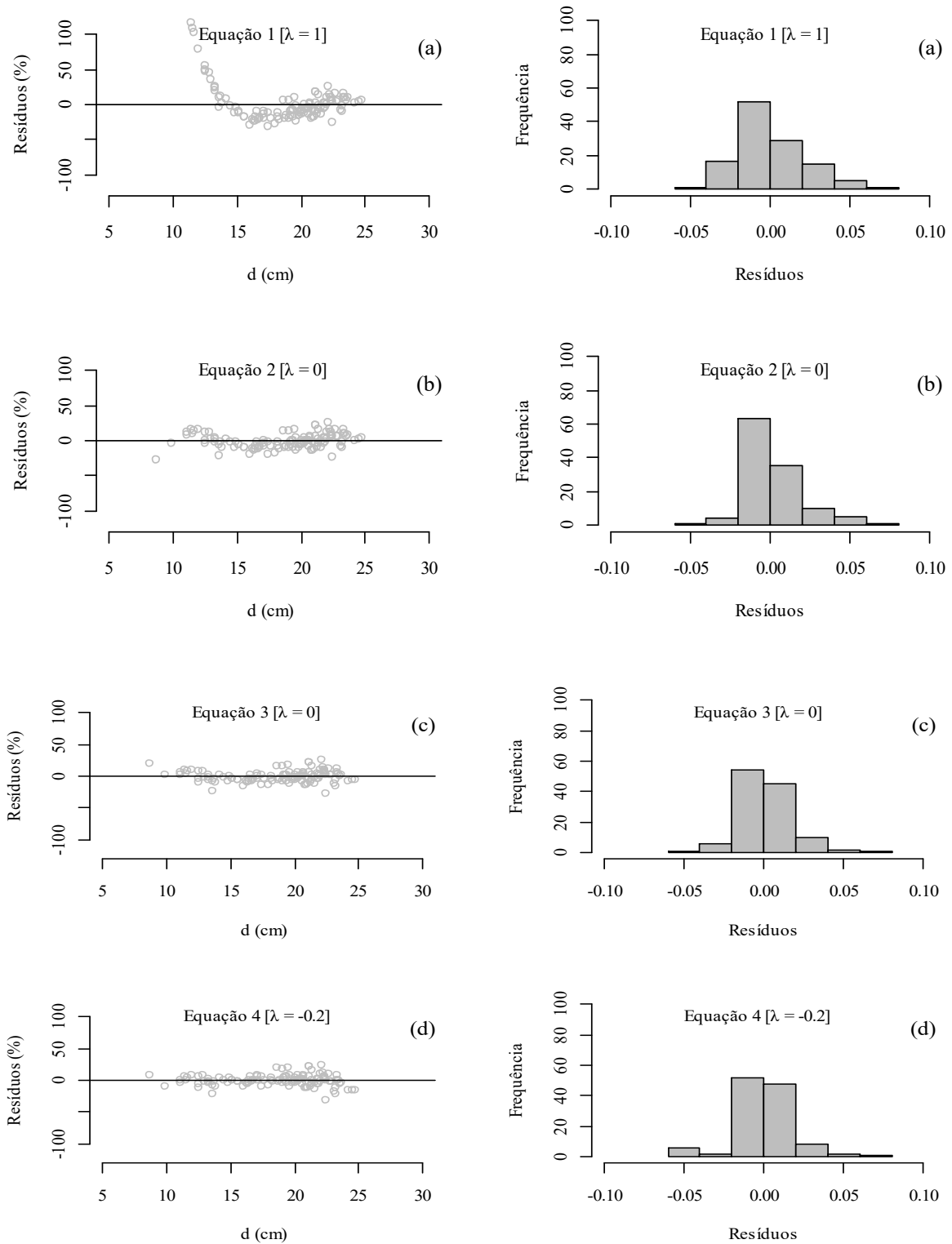
Contrariamente a usar transformações da variável  $\ln(v)$ , que isso gera discrepância logarítmica é importante que faça sua correção. A transformação Box-Cox possibilita normalizar os dados na maioria das situações e permite obter modelos mais acurados (MEYER, 1941). Assim

como visto por Azevedo et al. (2016) a utilização do método de Box-Cox é uma importante ferramenta para a normalização dos dados, independente da disposição dos mesmos.

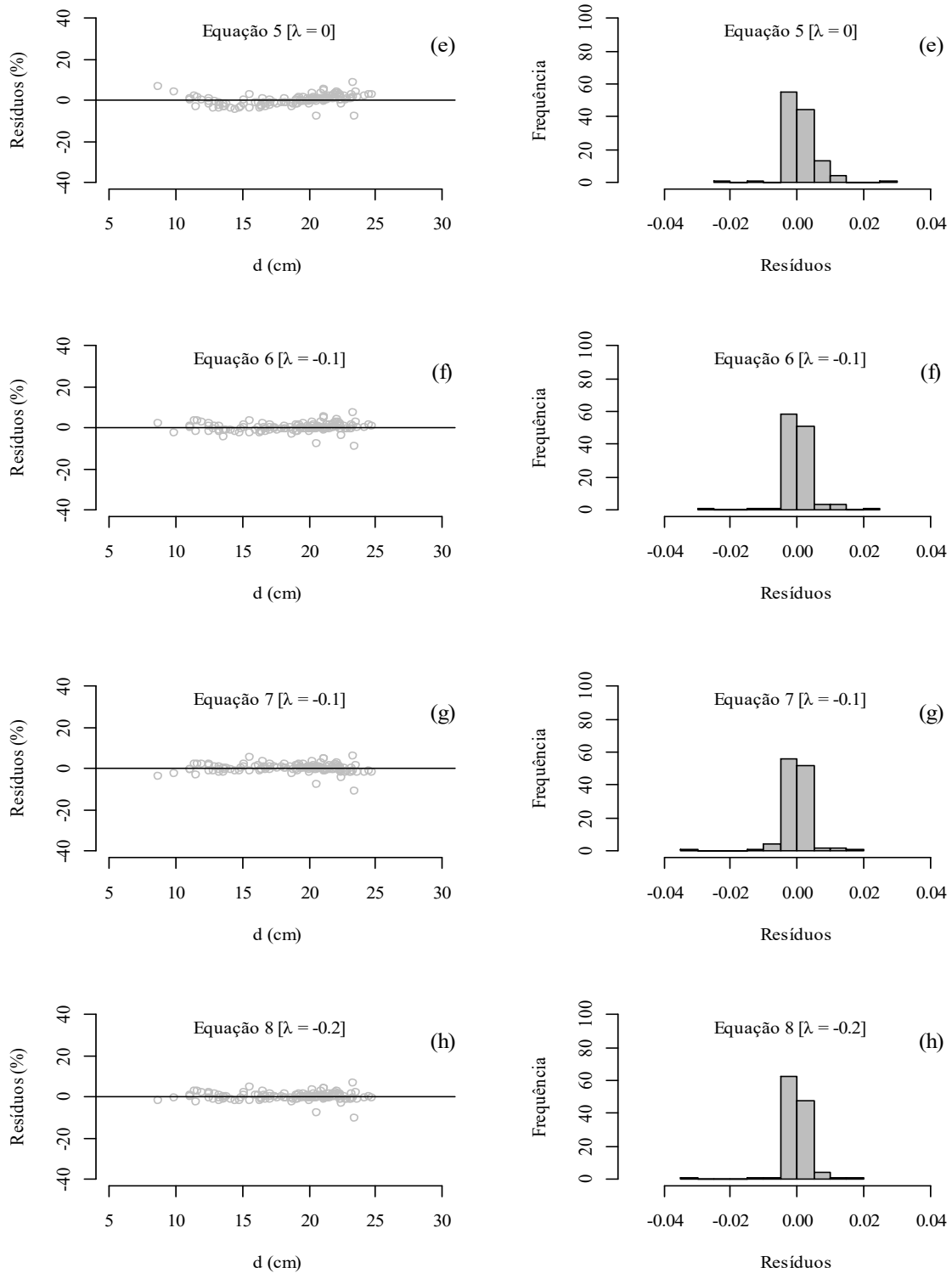
Utilizando conjuntamente a Tabela 7 e as Figuras 5 e 6 consegue-se selecionar os melhores modelos. Para os de simples entrada o modelo de Husch se destacou, principalmente na estatística de  $w_i$  (AIC) que é auxiliadora na escolha e conjuntamente aos gráficos de resíduos e histograma de resíduos da Figura 5 seleciona-se seguramente o modelo de Husch como melhor preditor de simples entrada. Não obstante, temos o modelo de Schumacher e Hall se destacando tanto estatisticamente quanto no gráfico de resíduos e histograma de resíduos.

As estatísticas mostram que os modelos utilizados, de simples e dupla entrada, conseguiram prever com eficácia os volumes, nota-se de acordo com a Tabela 3 que os dois melhores modelos, de Husch e Schumacher e Hall são bastante simples, assim como visto por Imaña et al. (2009) que mostrou que modelos mais simples e com menos parâmetros podem ser mais representativos e tem menor chance de gerarem colinearidade.





**Figura 5.** Gráficos de resíduos e histograma de resíduos para os modelos volumétricos de simples entrada após a aplicação do método de Box-Cox para *Pinus Taeda* L.



**Figura 6.** Análise gráfica de resíduos e histograma de resíduos para os modelos volumétricos de dupla entrada após a aplicação do método de Box-Cox para *Pinus taeda* L.

Após a visualização da Figura 5 pode-se notar onde a transformação Box-Cox desempenha uma importante função. Com a transformação, os gráficos de resíduos e distribuição tiveram grande melhora, comprovando o que foi mostrado por Costa et al. (2014), de que o método desenvolvido por Box-Cox é uma importante ferramenta de normalização dos dados e consequente melhoria visual de gráficos de dispersão de dados e resíduos.

Se comparados os gráficos de resíduos da equação 5 nas Figuras 3 e 5 pode-se ver o quão benéfico para o gráfico de resíduos o método de Box-Cox pode ser. Antes da aplicação na equação 5 o gráfico de resíduos apresentava uma forte tendência a superestimar os dados em diâmetros menores, no entanto, depois do método aplicado essa tendência foi bastante diminuída.

#### 4.4 VALIDAÇÃO DOS MODELOS VOLUMÉTRICOS AJUSTADOS

Na Tabela 8, observa-se as equações com e sem a aplicação do método de Box-Cox com seus respectivos coeficientes de lambda, teste de Qui-Quadrado e teste t. No teste de Qui-Quadrado todas as equações predizeram corretamente os volumes, mostrando que as equações de Husch e Schumacher e Hall predisseram corretamente os volumes. Quanto ao teste t, idem, as duas equações selecionadas obtiveram bons resultados e reforçaram o teste de Qui-Quadrado que foi não significativo para as equações 3 e 4 com e sem a aplicação do método de Box e Cox (1964), mostrando que conseguem prever corretamente os volumes.

**Tabela 8.** Teste de Qui-Quadrado e Teste t para equações 3 e 8

Tipo	Equações	$\lambda$ [L.I.; L.S.] = 95%	$\chi^2$ calculado		t calculado	t (p-valor)
$v = f(d)$	3	-	0,0347	ns	-0,4110	0,6834
$v = f(d; h)$	8	-	0,0025	ns	-0,4668	0,6433
$v^\lambda = f(d)$	3	0,0 [-0,19; 0,11]	0,0360	ns	0,4524	0,6535

Tipo	Equações	$\lambda$ [L.I.; L.S.] = 95%	$\chi^2_{\text{calculado}}$	t calculado	t (p-valor)	
$v^\lambda = f(d; h)$	8	-0,2 [-0,33;-0,08]	0,0024	ns	-0,4773	0,6359

Em que: Teste  $\chi^2$ : considerado  $\alpha = 1\%$ ;  $\nu = 38$  graus de liberdade;  $\chi^2_{\text{tabelado}} = 61.16$ ,  $\lambda$  [L.I.; L.S.] = 95%  
- Limite inferior e superior de Lambda ao nível de confiança de 95%

#### 4.5 CONFECÇÃO DAS TABELAS DE VOLUME DE SIMPLES E DUPLA ENTRADA

A Tabela 9 mostra o volume predito da equação de simples entrada 3:  $v = 0.00000259 \cdot d^{3.67116900}$ , englobando todos os diâmetros amostrados. Essa é uma tabela estática que foi confeccionada utilizando os parâmetros após as transformações de Box-Cox.

**Tabela 9.** Predições de volume para cada diâmetro

d (cm)	v (m <sup>3</sup> )
9	0,0082
10	0,0121
11	0,0172
12	0,0237
13	0,0318
14	0,0417
15	0,0537
16	0,0681
17	0,0851
18	0,1050
19	0,1280
20	0,1545
21	0,1849
22	0,2193
23	0,2581
24	0,3018
25	0,3506

Em que: d = diâmetro à altura do peito em cm; v = volume em metros cúbicos.

O uso da tabela de volume de simples entrada por meio de uma exemplificação será dada considerando uma árvore com d = 17 cm, ao aplicar o modelo volumétrico 3:  $v = 0.00000259 \cdot d^{3.67116900}$ , tem-se que o volume é obtido é de 0,0851 m<sup>3</sup> sendo este com casca.

A Tabela 10 mostra o volume de madeira, em função do diâmetro e altura. Essa tabela é relativa ao modelo 8:  $v = 0.00001949 \cdot d^{2.14205100} \cdot h^{1.02135400}$  de dupla entrada, sendo as variáveis explicativas o diâmetro e a altura. A tabela foi calculada utilizando os resultados dos parâmetros depois da utilização do método de Box-Cox como mostrado na equação anteriormente.

**Tabela 10.** Volume calculado em função do diâmetro (cm) e altura (h) de *Pinus taeda* L.

d (cm)	h (m)																
	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	
9	0,0089																
10	0,0111																
11		0,0172															
12		0,0207	0,0249														
13		0,0245	0,0296	0,0346													
14		0,0288	0,0346	0,0406	0,0465												
15				0,0470	0,0539												
16					0,0619	0,0698	0,0777	0,0857									
17					0,0705	0,0795	0,0885	0,0975									
18						0,0898	0,1000	0,1102	0,1205	0,1308							
19								0,1238	0,1353	0,1468		0,1699					
20								0,1382	0,1510	0,1639	0,1767	0,1896					
21									0,1676	0,1819	0,1962	0,2105	0,2249				
22									0,1852	0,2010	0,2168	0,2326	0,2484	0,2643	0,2802	0,2961	
23										0,2210	0,2384	0,2558	0,2733	0,2907	0,3082	0,3257	
24												0,2803	0,2993	0,3185	0,3376	0,3568	
25																0,3267	

Em que: d = diâmetro em cm; h = altura em m

O uso da tabela de volume de simples entrada por meio de uma exemplificação será dada considerando uma árvore com  $d = 22$  cm e  $h = 17$ m , ao aplicar o modelo volumétrico 8:  $v = 0.00001949 \cdot d^{2.14205100} \cdot h^{1.02135400}$ , tem-se que o volume é obtido é de  $0,2643 \text{ m}^3$  sendo este com casca.

## 5 CONCLUSÃO

Os melhores modelos foram o de Husch para as equações de simples entrada e o modelo de Schumacher e Hall para as equações de dupla entrada, ambos os modelos possuem característica não linear. Os modelos foram selecionados por conseguirem estatísticas superiores aos demais e gráficos de resíduos praticamente sem tendência. Graficamente, os modelos de dupla entrada conseguiram retirar praticamente todas as tendências com o uso do método de Box-Cox.

O método de Box e Cox (1964) se mostrou eficiente, principalmente se utilizado com a estatística de Akaike ponderado. Conjuntamente com essa estatística os gráficos melhoraram substancialmente após a utilização do método. As equações volumétricas selecionadas podem ser utilizadas na área do presente estudo e sua eficiência deve ser averiguada por meio de uma amostra piloto.



## 6 RECOMENDAÇÕES

Com base nos resultados alcançados no presente estudo, sugere-se que:

- A utilização do método de Box-Cox foi útil para equações de volumétricas de espécies florestais, pois não existem perdas ao se utilizar o método, o seu uso somente tenderá a melhorar a performance das equações ajustadas, este método deve ser usado na modelagem de outras variáveis biométricas de espécies florestais.
- Sugere-se o uso de modelos simples e com poucos coeficientes de regressão, pois modelos volumétricos com maior quantidade de coeficientes podem estar sujeitos a multicolinearidade.

## 7 REFERÊNCIAS

- ALVARES, C. A. et al. **Köppen's climate classification map for Brazil**. Meteorologische Zeitschrift, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013. Disponível em: <<https://www.ingentaconnect.com/content/schweiz/mz/2013/00000022/00000006/art00008>>. doi: 10.1127/0941-2948/2013/0507.
- ANDRADE, E. N. **O eucalipto**. 2. ed. Jundiaí, Cia Paulista de Estradas de Ferro, 1961. 660 p.
- ANDRADE, V. C. L. Modelos volumétricos de dupla entrada para aplicar em povoamentos florestais brasileiros. **Floresta e Ambiente**, v. 24, p. 3-19, 2017. Disponível em: <<https://floram.org/article/doi/10.1590/2179-8087.135415>>. doi: 10.1590/2179-8087.135415.
- AZEVEDO, A. M. et al. Box-Cox transformation in homoscedasticity and normality univariate and multivariate in experiments evaluating sweet potato. **Horticultura Brasileira**, v. 34, n. 1, p. 93-101, 2016. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S010205362016000010093&script=sci\\_abstract](http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S010205362016000010093&script=sci_abstract)>.
- BAKARGY, T. C. G. et al. Influência da estrutura de capital no valor de mercado de empresas do segmento de celulose listadas na b3: Ensaio com Regressão Linear. **Encontro Internacional de Gestão, Desenvolvimento e Inovação (EIGEDIN)**, v. 3, n. 1, 2019. Disponível em: <<http://www.trilhasdahistoria.ufms.br/index.php/EIGEDIN/article/view/8770>>.
- BOX, G. EP; COX, DAVID, R. An analysis of transformations. **Journal of the Royal Statistical Society: Series B (Methodological)**, v. 26, n. 2, p. 211-243, 1964. <Disponível em: <https://rss.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.2517-6161.1964.tb00553.x>>. doi: 10.1111/j.2517-6161.1964.tb00553.x
- CONTI, S. et al. Gaussian process emulation of dynamic computer codes. **Biometrika**, v. 96, n. 3, p. 663-676, 2009. Disponível em: <<https://academic.oup.com/biomet/article-abstract/96/3/663/255311>>. doi: 10.1093/biomet/asp028.
- COSTA, E. A.; FINGER, C. A. G; DA CUNHA, T. A. Influência da posição sociológica na relação hipsométrica de Araucaria angustifolia. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 9, n. 1, p. 110-116, 2014. Disponível em: <[http://www.agraria.pro.br/ojs-2.4.6/index.php?journal=agraria&page=article&view=filepath%5B%5D=agraria\\_v9i1a3201](http://www.agraria.pro.br/ojs-2.4.6/index.php?journal=agraria&page=article&view=filepath%5B%5D=agraria_v9i1a3201)>. Doi: 10.5039/agraria.v9i1a3201.
- COUTO, H. T. Z.; BASTOS, N. L. M. Modelos de equações de volume e relações hipsométricas para plantações de *Eucalyptus* no Estado de São Paulo. **Revista Ipef**, v. 37, p. 33-44, 1987. Disponível em: <<https://docplayer.com.br/27061856-Modelos-de-equacoes-de-volume-e-relacoes-hipsometricas-para-plantacoes-de-eucalyptus-no-estado-de-sao-paulo.html>>.
- FINGER, C. A. G. Fundamentos da Biometria florestal. **Santa Maria: CEPEF**, 2006. p. 269.

FLORENT B. et al. A Toolbox for Nonlinear Regression in R: The Package nlstools. **Journal of Statistical Software**. Disponível em: <<http://www.jstatsoft.org/v66/i05/>>. Acesso em: 27 novembro 2019.

GIMENEZ, B. O. et al. Equações volumétricas para espécies comerciais madeireiras do sul do estado de Roraima. **Scientia Forestalis**, v. 43 n. 106, p. 291-301, 2015. Disponível em: <<https://www.ipef.br/publicacoes/scientia/leitura.asp?Article=05eNumber=106ep=s>>.

HEINSDIJK, D. Plantações de eucalipto no Brasil. **Boletim do Setor de Inventário Florestal**, Rio de Janeiro, v. 10, p. 1-69, 1965. Disponível em: <[https://www.bdpa.cnptia.embrapa.br/consulta/busca?b=adeid=296112biblioteca=vazioebusca=autoria:"HEINSDIJK,%20D."eqFacets=autoria:"HEINSDIJK,%20D."esort=epaginacao=tepaginaAtual=1](https://www.bdpa.cnptia.embrapa.br/consulta/busca?b=adeid=296112biblioteca=vazioebusca=autoria:)>.

IBÁ - Indústria Brasileira de produtores de Árvores. **Relatório IBÁ 2019** ano base 2018. Brasília: 2019. 79 p. Disponível em: <<http://iba.org/pt/biblioteca-iba/publicacoes>>. Acesso em: 25 set. 2019.

IMAÑA-ENCINAS, J. et al. Equações de volume de madeira para o cerrado de Planaltina de Goiás. **Floresta**, v. 39, n. 1, 2009. Disponível em: <<https://revistas.ufpr.br/floresta/article/view/13731>>. doi: 10.5380/ufpr.v39i1.13731

JUVENAL, T. L.; MATTOS, R. L. G. O setor florestal no Brasil e a importância do reflorestamento. **BNDES Setorial**, Rio de Janeiro, n. 16, p. 3-30, 2002. <Disponível em: <https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/handle/1408/3142>>.

KARLIK, J. F.; CHOJNACKY, D. C. Biomass and carbon data from blue oaks in a California oak savanna. **Biomass and Bioenergy**, v. 62, p. 228-232, 2014. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/259519195\\_Biomass\\_and\\_carbon\\_data\\_from\\_blue\\_oaks\\_in\\_a\\_California\\_oak\\_savanna](https://www.researchgate.net/publication/259519195_Biomass_and_carbon_data_from_blue_oaks_in_a_California_oak_savanna). doi: 10.1016/j.biombioe.2013.11.018

KOHLER, A. et al. High-throughput biochemical fingerprinting of *Saccharomyces cerevisiae* by Fourier transform infrared spectroscopy. **Plos One**, v. 10, n. 2, p. 3-5, 2015. Disponível em: <<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/25706524>>. doi: 10.1371/journal.pone.0118052

LIMA, B. de A. et al. Estrutura e dinâmica florestal sob efeito do manejo madeireiro na FLONA Tapajós. **Advances in Forestry Science**, v. 5, n. 4, p. 437-443, 2018. Disponível em: <<http://periodicoscientificos.ufmt.br/ojs/index.php/afor/article/view/5984>>. doi: 10.34062/afs.v5i4.5984

MAYER, H. A. A correction for systematic errors occurring in the application of the logarithmic volume equation. Pennsylvania: For. School Res., Paper 7, 1941. Disponível em: <[https://www.scirp.org/\(S\(351jmbntvnsjt1aadkposzje\)\)/reference/ReferencesPapers.aspx?ReferenceID=1459767](https://www.scirp.org/(S(351jmbntvnsjt1aadkposzje))/reference/ReferencesPapers.aspx?ReferenceID=1459767)>. doi:

MORÁN V. R. A.; FERRARI, S. L. de P. **Modelos Box-Cox elípticos**. 2017. 106 p. Tese (Doutorado em Estatística) – Universidade de São Paulo, Instituto de Matemática e Estatística, São Paulo, 2007.

MOSER, P.; OLIVEIRA, L. Z. **Regressão Linear aplicada à dendrometria: uma introdução e iniciação ao R**. Blumenau: Edifurb, 2016. 152 p.

NASCIMENTO, K. A. O. et al. Diagnóstico do planejamento de pequenos e médios produtores de *Pinus taeda* dos Estados do Paraná e Santa Catarina. **BIOFIX Scientific Journal**, v. 5, n. 1, p. 01-06, 2019. Disponível em: <<https://revistas.ufpr.br/biofix/article/view/66648>>. doi: 10.5380/biofix.v5i1.66648

NOGUEIRA, I. et al. Estatística descritiva dos caracteres morfoagrômicos, altura, circunferência a altura do peito (CAP), e diâmetro a altura do peito (DAP), de plantas de cacau em comunidades da região do médio rio Purus. **Cadernos de Agroecologia**, v. 13, n. 1, 2018. Disponível em: <<http://cadernos.aba-agroecologia.org.br/index.php/cadernos/article/view/1284>>.

OLIVEIRA, L. Z. et al. Modelos volumétricos estatisticamente robustos para o manejo de remanescentes secundários na floresta pluvial do Sul do Brasil. In: **2 Fórum Integrado da Pós-Graduação**. p. 5-20, 2018. Disponível em: <https://bu.furb.br/soac/index.php/fip/2fip/paper/view/3219>.

REGAZZI, A. J.; SILVA, C. H. O. Testes para verificar a igualdade de parâmetros e a identidade de modelos de regressão não-linear em dados de experimento com delineamento em blocos casualizados. **Ceres**, v. 57, n. 3, 2015. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttextepid=S0034-737X2010000300005](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttextepid=S0034-737X2010000300005)>. doi: 10.1590/S0034-737X2010000300005

RITZ, C.; STREIBIG, J. C. **Nonlinear regression with R**. Springer Science e Business Media, 2008. 144 p.

SHIMIZU, J. Y.; **Pinus na silvicultura brasileira**. Colombo: Embrapa Florestas, 1 ed., 2008. 223 p.

SILVA, J.A.A. da.; MACHADO, S.A.; BORDERS, B.E. et al. Aumento da precisão de modelos volumétricos através do uso da transformação de Box e Cox. **Revista Cerne, Lavras**, v.1, n.1, p.13 16, 1994.

SOARES, C. P. B.; NETO, F. de P.; SOUZA, A. L. de. **Dendrometria e inventário florestal**. 2 ed., Viçosa: UFV, 2011. 272 p.

R Core Team. **R: A language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>. 2019.

VASQUEZ, A. G. et al. Uma síntese da contribuição do gênero *Pinus* para o desenvolvimento sustentável no sul do Brasil. **Floresta**, v. 37, n. 3, 2007. Disponível em: <<https://revistas.ufpr.br/floresta/article/view/9941>>. doi: 10.5380/rf.v37i3.9941