

Modelagem do volume do povoamento para *Pinus taeda* L. e *Pinus elliottii* Engelm., na região de Caçador – SC

Saulo Jorge Téó*

Rafaela Antunes Paz**

Aline Cristina Bortoncello**

Samara Pozzan da Rocha**

Reinaldo Hoinacki da Costa***

Resumo

O objetivo desta pesquisa foi o ajuste e seleção de modelos de crescimento e produção em nível de povoamento para *Pinus taeda* L. e *Pinus elliottii* Engelm na região de Caçador – SC. Os dados utilizados para a realização deste estudo provieram de inventários realizados de 2001 a 2009, contemplando as idades de 17 a 31 anos, de povoamentos de *Pinus elliottii* e *Pinus taeda*. Mensurou-se o diâmetro à altura do peito, bem como a altura total de todas as árvores de parcelas de área fixa de 400 a 800 m², distribuídas de maneira aleatória nos povoamentos florestais. As idades de cada parcela foram obtidas por meio do cadastro dos povoamentos florestais, a área basal foi obtida por meio do somatório das áreas transversais de cada árvore da parcela e os volumes por hectare foram obtidos por meio do somatório dos volumes individuais estimados de cada árvore. Os índices de sítio de cada parcela foram obtidos conforme a classificação de sítios feita por Bressan (2009) para a espécie *Pinus taeda*, e *Pinus elliottii* a classificação feita por Oliveira *et al.*, (1998). A seleção do melhor modelo ajustado foi feita por meio das seguintes estatísticas de ajuste e precisão: coeficiente de determinação ajustado (R^2), erro padrão da estimativa (SE), erro padrão da estimativa em porcentagem ($SE\%$) e distribuição gráfica de resíduos em porcentagem. A equação de melhor desempenho, tanto para a estimativa do volume por hectare com casca, como sem casca, foi obtida por meio do modelo proposto por Takata (1959), tanto para *Pinus elliottii* como para o *Pinus taeda*.

Palavras-chave: Modelos de crescimento e produção. Equação de volume. Pínus.

1 INTRODUÇÃO

Muitas das espécies de pínus foram introduzidas no Brasil pelos imigrantes europeus a mais de um século. Dentre as espécies que mais se destacaram no Sul e Sudeste do Brasil estão o *Pinus elliottii* e *Pinus taeda* (SHIMIZU, 2008).

O setor industrial florestal é altamente diversificado no processamento da madeira de pínus, destacando-se principalmente, as indústrias de celulose, madeira serrada, de compensados,

*Engenheiro Florestal; Mestre em Engenharia Florestal; Professor da Universidade do Oeste de Santa Catarina – Campus Xanxerê, R. Dirceu Giordani, 696 – Bairro Jardim Universitário – CEP: 89820-000, Xanxerê, SC, Brasil; sauloteo@yahoo.com.br

**Acadêmica do curso de Engenharia Florestal da Universidade do Oeste de Santa Catarina – Campus de Xanxerê; rafaela.bpaz@yahoo.com.br; aline-cris-tina@hotmail.com; samarapozzan@bol.com.br

***Engenheiro Florestal; Juliana Florestal Ltda., R. Padre Feijó, 241 – CEP: 89500-000, Caçador, SC, Brasil; reinaldo@frameport.com.br

energia e de remanufaturas de madeira. Estes setores contribuem de forma significativa para a competitividade do produto de base florestal nacional (SHIMIZU, 2008).

O objetivo primordial do manejo florestal visa à produção contínua e eficiente de madeira e as atividades desenvolvidas no manejo devem propiciar o máximo de efetividade e de baixos custos (SCHNEIDER; SCHNEIDER, 2008).

Conforme Machado e Figueiredo Filho (2009), para a elaboração de planos de manejo são necessárias informações sobre a floresta, uma avaliação do estoque atual e a produtividade do estoque em crescimento, bem com sua produção esperada. Tendo o conhecimento de seu estoque e produtividade, o proprietário florestal tem condições para planejar o abastecimento de indústrias florestais. Com essas informações é possível se calcular o que se pode retirar da floresta anualmente, ou periodicamente, para que esta não seja conduzida à exaustão de seus recursos ou, até mesmo, a uma superestocagem se, por acaso, seja feito o corte de uma quantia inferior do que o seu crescimento em sucessivos períodos, podendo a floresta ficar estagnada.

Uma maneira de expressar o crescimento e a produção florestal é mediante um modelo. Os modelos de produção podem expressar diferentes sistemas silviculturais e diferentes níveis de complexidade matemática, podendo ser classificados pelas populações para as quais a predição é possível (SCOLFORO, 2006).

De acordo com Vanclay (1994), os modelos de crescimento e produção são uma alternativa eficiente de prever os recursos florestais no futuro, sua habilidade em explorar as diferentes opções de manejo e práticas silviculturais, bem como, conhecer como um desbaste vai influenciar a estrutura da floresta e a colheita, mantendo a capacidade sustentável da mesma.

Entre os modelos de crescimento e produção florestal, os modelos de produção em nível de povoamento ou tabelas de produção, são os mais antigos. Esses modelos consistiam de representações tabulares do volume por unidade de área, ou outras variáveis que expressavam a produção de um povoamento equiâneo, de mesma espécie, sítio e densidade.

Os modelos de crescimento e produção em nível de povoamento estimam o crescimento e produção por meio de atributos do povoamento, como idade, área basal e índice de sítio. Como representantes, tem-se os modelos de densidade variável, além dos modelos empíricos e normal (CAMPOS; LEITE, 2006; SCOLFORO, 2006).

Profumo Aguiar (2006), trabalhando com modelagem do volume do povoamento com casca, para bracatingais nativos da região metropolitana de Curitiba – PR, encontrou que os melhores modelos aritméticos para a estimativa do volume por hectare foram os modelos propostos por Stoate (1945), Spurr (1952) e Takata (1959). Enquanto que para os modelos logarítmicos os melhores desempenhos foram para os modelos propostos por Ung e Quellet (1991) e Spurr (1952).

Em seu trabalho com fragmentos florestais naturais do município de Viçosa – MG, Oliveira *et al.* (2005) encontrou que o modelo aritmético de melhor ajuste, para estimativa do volume por hectare foi o modelo proposto por Spurr (1952), e o modelo logarítmico de melhor ajuste foi o proposto por Ung e Quellet (1991).

O objetivo desta pesquisa foi o ajuste e seleção de modelos de crescimento e produção em nível de povoamento para *Pinus taeda* e *Pinus elliottii*, na região de Caçador – SC.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O presente trabalho foi desenvolvido na região meio oeste do estado de Santa Catarina, no alto vale do Rio do peixe. A região de estudo abrange os municípios de Rio das Antas, Santa Cecília, Timbó Grande, Macieira, Caçador, Calmon e Lebon Régis, onde estão situados os plantios da empresa Juliana Florestal Ltda.

O clima na região, de acordo com a classificação de Köppen, é o Cfb, ou seja, clima temperado constantemente úmido, sem estação de seca, com verão fresco. A região de estudo apresenta temperatura média anual variando de 15,8 a 17,9°C, já a precipitação média anual varia de 1.460 a 1.820 mm e umidade relativa do ar média de 76,3 a 77,7%. Os solos predominantes na região onde estão localizados os povoamentos são cambissolos, neossolos e nitossolos. A vegetação original da região era composta basicamente por três formações: Floresta Estacional Decidual, Campos e Floresta Ombrófila Mista.

2.2 CARACTERIZAÇÃO DOS DADOS

Para a realização deste estudo foram utilizados dados de inventários florestais realizados de 2001 a 2009, contemplando as idades de 17 a 31 anos dos povoamentos florestais de *Pinus taeda* e *Pinus elliottii*, localizados na região de Caçador – SC. Os dados utilizados nesta pesquisa são provenientes de parcelas com áreas variando de 400 a 800 m², distribuídas de maneira aleatória nos povoamentos florestais.

As idades de cada parcela medida foram obtidas por meio do cadastro dos povoamentos florestais, a área basal foi obtida por meio do somatório das áreas transversais de cada árvore da parcela e os volumes por hectare foram obtidos por meio do somatório dos volumes individuais, com e sem casca, estimados de cada árvore. Os índices de sítio de cada parcela foram obtidos conforme a classificação de sítios feita por Bressan (2009), para a espécie de *Pinus taeda*, e para a espécie de *Pinus elliottii* a classificação feita por Oliveira *et al.*, (1998).

2.3 PROCESSAMENTO DOS DADOS

Na Tabela 1 são apresentados os modelos aritméticos de volume do povoamento ajustados, os quais provêm da literatura florestal. Estes são modelos tradicionais utilizados para estimar o volume do povoamento com base em variáveis como: densidade, altura dominante (h_{dom}) e diâmetro médio quadrático (d_g) das parcelas, dentre outras.

Tabela 1 – Modelos aritméticos de produção em nível de povoamento e seus respectivos autores, encontrados na literatura florestal

nº	Modelos Aritméticos	Autor
1	$V = b_0 + b_1 G\bar{h} + b_2 G + b_3 \bar{h}$	Stoate (1945)
2	$V = b_0 + b_1 Gh_{dom} + b_2 G + b_3 h_{dom}$	Stoate (1945)
3	$V = b_0 + b_1 G\bar{h}$	Spurr (1952)
4	$V = b_0 + b_1 Gh_{dom}$	Spurr (1952)
5	$V = b_0 + b_1 G$	Spurr (1952)
6	$V = b_0 + b_1 G^2$	Machado (1973)
7	$V = b_0 + b_1 G^2 \bar{h}$	Rosot (1989)
8	$V = b_0 + b_1 G^2 h_{dom}$	Silva (1979)
9	$V = b_0 + b_1 G^2 + b_2 G$	Spurr (1952)
10	$V = \frac{G\bar{h}}{b_0} + b_1 d_g$	Takata (1959)
11	$V = b_0 + b_1 \ln G\bar{h}$	Figueiredo Filho (1983)
12	$V = b_0 + b_1 \ln G^2 \bar{h}$	Figueiredo Filho (1983)
13	$V = b_0 + b_1 \ln G$	Figueiredo Filho (1983)

Fonte: Profumo Aguiar (2006) e Campos e Leite (2006).

Legenda: V = volume por hectare com casca e sem casca (m³/ha⁻¹); G = área basal por hectare (m²/ha⁻¹); \bar{h} = altura total média (m); h_{dom} = altura dominante (m); d_g = diâmetro médio quadrático (cm); ln = logaritmo natural; b_1 , b_2 e b_3 = coeficientes dos modelos a serem estimados.

Na Tabela 2 podem ser observados os modelos logarítmicos encontrados na literatura florestal ajustados para estimar o volume do povoamento de *Pinus taeda* e *Pinus elliottii*, na região de Caçador – SC.

Tabela 2 – Modelos logarítmicos de produção em nível de povoamento e seus respectivos autores, encontrados na literatura florestal (continua)

nº	Modelos Logarítmicos	Autor
1	$\ln V = b_0 + \ln G \bar{h}^{b_1} \ln G h_{dom}^{b_2}$	Ung e Ouellet (1991)
2	$\ln V = b_0 + b_1 \ln G + b_2 \ln \bar{h}$	Ung e Ouellet (1991)
3	$\ln V = b_0 + b_1 \ln G \bar{h} + b_2 \ln Gh_{dom}$	Ung e Ouellet (1991)
4	$\ln V = b_0 + b_1 \ln G\bar{h}$	Spurr (1952)
5	$\ln V = b_0 + b_1 \ln G^2 \bar{h}$	Figueiredo Filho (1983)
6	$\ln V = b_0 + b_1 \ln G$	Spurr (1952)
7	$\ln V = b_0 + b_1 \ln GN$	Rosot (1989) e Scolforo (1997)
8	$\ln V = b_0 + b_1 \ln G^2 N$	Rosot (1989) e Scolforo (1997)
9	$\ln V = b_0 + b_1 \ln G^2 h_{dom}$	Spurr (1952)
10	$\ln V = b_0 + b_1 \ln Gh_{dom}$	Spurr (1952)
11	$\ln V = b_0 + b_1 \ln \bar{d}^2 \bar{d}$	Rosot(1989) e Scolforo (1997)
12	$\ln V = b_0 + b_1 \ln N\bar{d}$	Rosot(1989) e Scolforo (1997)
13	$\ln V = b_0 + b_1 \frac{1}{T} + b_2 S + b_3 G$	Mackinney e Schumacher (1937)
14	$\ln V = b_0 + b_1 \frac{1}{T} + b_2 S + b_3 N$	Mackinney e Schumacher (1937)
15	$\ln V = b_0 + b_1 \frac{1}{S} + b_2 \frac{1}{T} + b_3 \ln G$	Beck e Della-Bianca (1970)
16	$\ln V = b_0 + b_1 S + b_2 \frac{1}{T} + b_3 \ln G$	Clutter (1972)
17	$\ln V = b_0 + b_1 \ln S + b_2 \ln G + b_3 \frac{1}{T}$	Perala (1971)

Tabela 2 – Modelos logarítmicos de produção em nível de povoamento e seus respectivos autores, encontrados na literatura florestal (conclusão)

nº	Modelos Logarítmicos	Autor
18	$\ln V = b_0 + b_1 \frac{1}{I} + b_2 S + b_3 \left(\frac{S}{I} + \frac{G}{I} \right)$	Langdon (1961) e Vimmersted (1962)
19	$\ln V = b_0 + b_1 \ln G + b_2 \ln h_{dom}$	Ung e Ouellet (1991)

Fonte: Profumo Aguiar (2006), Clutter *et al.* (1983)

Legenda: $\ln V$ = volume por hectare com casca e sem casca (m^3/ha^{-1}); G = área basal por hectare (m^2/ha^{-1}); \bar{d} = diâmetro médio (cm); N = número de árvores por hectare; \bar{h} = altura total média (m); h_{dom} = altura dominante (m); I = idade (ano); S = índice de sítio (m); \ln = logaritmo natural; b_0, b_1, b_2, b_3 = coeficientes dos modelos a serem estimados.

Tanto os modelos aritméticos como logarítmicos, apresentados nas Tabelas 1 e 2, foram ajustados pela técnica dos mínimos quadrados por regressão linear simples ou múltipla, exceto o modelo número 1, proposto por Ung e Ouellet (1991), apresentado na Tabela 2, o qual foi ajustado por regressão não linear, com a utilização do algoritmo matemático Simplex.

Os critérios utilizados para selecionar o melhor modelo ajustado foram: coeficiente de determinação ajustado (R_{aj}^2), erro padrão da estimativa absoluto e em porcentagem (syx e $syx\%$) e análise gráfica de resíduos em porcentagem ($res\%$).

O R_{aj}^2 expressa a proporção da variação total da variável dependente explicada pela regressão, quanto mais próximo de 1, melhor terá sido o ajuste do modelo. Esta estatística é calculada de acordo com a seguinte fórmula:

$$R_{aj}^2 = 1 - \left[\left(\frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2}{\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2} \right) * \left(\frac{n-1}{n-p} \right) \right]$$

Onde:

Y_i = valor da variável dependente observada, neste caso, volume por hectare (m^3/ha^{-1});

\hat{Y}_i = valor da variável dependente estimada, neste caso, volume por hectare (m^3/ha^{-1});

\bar{Y} = média dos valores observados da variável dependente (m^3/ha^{-1});

n = número de observações;

p = número de coeficientes do modelo.

O syx mede a dispersão média entre os valores observados e estimados ao longo da linha de regressão, sendo que, quanto mais baixo for o valor do syx , melhor será a precisão do modelo ajustado. O syx é calculado pela seguinte expressão:

$$syx = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2}{n-p}}$$

Onde:

$Y_i, \hat{Y}_i, \bar{Y}, n, p$ = já definidos anteriormente.

O erro padrão da estimativa (syx) é dado em unidades da variável dependente, entretanto este valor pode ser transformado em porcentagem pela seguinte expressão matemática:

$$syx\% = \frac{syx}{\bar{Y}} * 100$$

Onde:

\bar{Y} = média dos valores observados da variável dependente (m^3/ha^{-1}).

A análise gráfica dos resíduos indica se o ajuste foi bom ao longo de toda a linha estimativa, se há ou não tendenciosidade e se a variância é homogênea. A dispersão de resíduos almejada quando se ajusta um modelo deve apresentar os resíduos distribuídos de maneira uniforme ao longo de todo o eixo das abscissas e deve apresentar valores dos resíduos, tanto positivos, como negativos. Os resíduos em porcentagem foram calculados pela seguinte expressão matemática:

$$res\% = \left(\frac{Y_i - \hat{Y}_i}{Y_i} \right) * 100$$

Onde:

Y_i, \hat{Y}_i = já definidos anteriormente.

Quando se calcula o volume estimado por meio de um modelo logarítmico, deve-se realizar a correção da discrepância logarítmica, para solucionar este problema usa-se o fator de correção de Meyer. A seguir é apresentada a fórmula para cálculo do fator de correção quando se utiliza logaritmo natural, caso deste trabalho.

$$F_M = e^{0,5 * QM_{\text{erro}}}$$

Onde:

QM_{erro} = quadrado médio do erro;

e = base do logaritmo natural (2,718281829...).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 3 são apresentados os resultados dos coeficientes e estatísticas de ajuste e precisão dos modelos de melhor desempenho, visando à estimativa do volume por hectare com e sem casca para *Pinus elliottii* e *Pinus taeda*, na região de Caçador – SC. A Tabela 3 apresenta o melhor modelo aritmético e logarítmico para cada tipo de volume estimado, isto é, volume por hectare com casca e sem casca para cada uma das espécies. O modelo de melhor desempenho foi selecionado com base nas estatísticas de ajuste e precisão e análise gráfica de resíduos em porcentagem, conforme descrito na metodologia.

Tabela 3 – Equações advindas dos modelos aritméticos e logarítmicos com suas respectivas estatísticas de ajuste e precisão, além do fator de correção de Meyer para os modelos logarítmicos, para a estimativa do volume por hectare, com e sem casca (m^3/ha^{-1}), para *Pinus elliottii* Engelm., e *Pinus taeda* L., na região de Caçador – Santa Catarina.

Espécie / V_{cc} e V_{sc}	nº	Equação	R_{aj}^2	syx	syx%	F_M
Pinus elliottii	10	$V_{cc} = \frac{G\bar{h}}{0,639} - 0,005d_g$	0,9591	30,94	6,03	
	2	$\ln V_{cc} = -0,161 + 1,026\ln G + 0,800\ln \bar{h}$	0,9448	35,93	7,01	1,00191
Pinus elliottii	10	$V_{sc} = \frac{G\bar{h}}{0,521} - 0,003d_g$	0,9293	36,40	8,07	
	2	$\ln V_{sc} = -0,954 + 1,053\ln G + 0,976\ln \bar{h}$	0,9190	38,96	8,63	1,00312
Pinus taeda	10	$V_{cc} = \frac{G\bar{h}}{0,613} - 0,004d_g$	0,9865	17,68	2,81	
	2	$\ln V_{cc} = -0,100 + 0,991\ln G + 0,762\ln \bar{h}$	0,9792	21,97	3,49	1,00069
Pinus taeda	10	$V_{sc} = \frac{G\bar{h}}{0,508} - 0,002d_g$	0,9840	17,85	3,20	
	2	$\ln V_{sc} = -0,433 + 0,986\ln G + 0,891\ln \bar{h}$	0,9766	21,60	3,87	1,00075

Legenda: V_{cc} = volume por hectare com casca (m^3/ha^{-1}); V_{sc} = volume por hectare sem casca (m^3/ha); G = área basal por hectare (m^2/ha^{-1}); \bar{h} = altura total média (m); d_g = diâmetro médio quadrático (cm); \ln = logaritmo natural; R_{aj}^2 = coeficiente de determinação ajustado; syx = erro padrão da estimativa em m^3/ha ; syx% = erro padrão da estimativa em porcentagem; F_M = fator de correção de Meyer.

Com base nas estatísticas de ajuste e precisão a equação aritmética que apresentou melhor desempenho para estimativa do volume por hectare com casca, para *Pinus elliottii* provém do modelo número 10, proposto por Takata (1959), com valores de coeficiente de determinação ajustado (R_{aj}^2) de 0,9591, erro padrão da estimativa (syx) de 30,94 m^3/ha^{-1} e erro padrão da estimativa em porcentagem (syx%) de 6,03%. Já a equação logarítmica que apresentou melhor ajuste para estimativa do volume por hectare com casca, para *Pinus elliottii* provém do modelo número 2, proposto por Ung e Ouellet (1991), com valores de R_{aj}^2 igual a 0,9448 syx igual a 35,93 e syx% igual a 7,01.

O melhor desempenho para estimativa do volume por hectare sem casca, para *Pinus elliottii* foi obtido através do modelo aritmético proposto por Takata (1959), com valores de R_{aj}^2 igual a 0,9293, syx igual a 36,40 e syx% igual a 8,07%. A equação logarítmica que apresentou melhor ajuste para estimativa do volume por hectare sem casca, para *Pinus elliottii* foi a equação de número 2, resultante do modelo proposto por Ung e Ouellet (1991), com valores de igual a 0,9190, igual a 38,96 e igual a 8,63%.

O modelo aritmético que apresentou as melhores estatísticas de ajuste e precisão para a estimativa do volume por hectare (m^3/ha^{-1}), para *Pinus taeda* com casca, foi à equação de número 10, resultante do modelo proposto por Takata (1959), com valores de R_{aj}^2 de 0,9865, syx igual a 17,68 e syx% igual a 2,815. Já a equação logarítmica que apresentou melhor ajuste para estimativa

do volume por hectare com casca, para *Pinus taeda* foi a equação de número 2, a qual provém do modelo de Ung e Ouellet (1991), com valores de R_{aj}^2 de 0,9792, syx de 21,97 e $syx\%$ de 3,49%.

O melhor desempenho para estimativa do volume por hectare sem casca, para *Pinus taeda* foi obtido através do modelo aritmético proposto por Takata (1959), com valores de R_{aj}^2 igual a 0,9840, syx igual a 17,85 e $syx\%$ igual a 3,20%. A equação logarítmica que apresentou melhor ajuste para *Pinus taeda* sem casca, foi a equação de número 2, resultante do modelo proposto por Ung e Ouellet (1991), com valores de R_{aj}^2 igual a 0,9766, syx igual a 21,60 e $syx\%$ igual a 3,87%.

Os modelos que apresentaram os melhores desempenhos para a estimativa do volume por hectare com e sem casca para *Pinus elliottii* e *Pinus taeda* apresentam em comum a variável independente área basal e altura média combinadas ($G\bar{h}$). O modelo proposto por Takata (1959) foi o único modelo que apresentou bom desempenho incluindo a variável d_g .

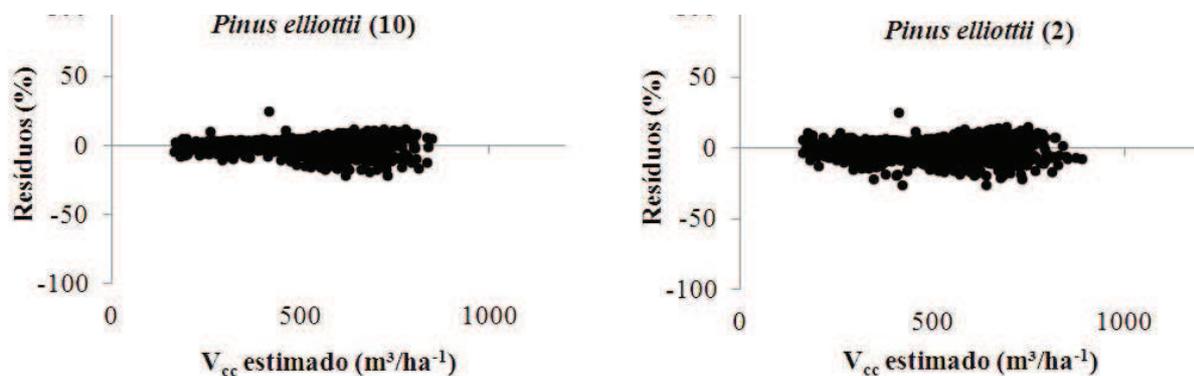
Profumo Aguiar (2006), trabalhando com modelagem do volume do povoamento com casca para bracatingais nativos da região metropolitana de Curitiba – PR, encontrou que os 3 modelos aritméticos de melhor desempenho foram os modelos propostos por Takata (1959), Stoate (1945) e Spurr (1952), os mesmos encontrados para a estimativa do volume por hectare com e sem casca, para *Pinus elliottii* e *Pinus taeda* neste trabalho. Porém o melhor ajuste encontrado no trabalho realizado por Profumo Aguiar (2006), foi o modelo proposto por Stoate (1945), o qual ficou com o segundo melhor desempenho neste trabalho.

O modelo logarítmico de melhor desempenho, proposto por Ung e Ouellet (1991), apresenta como variáveis independentes o logaritmo da área basal e o logaritmo da altura média dos povoamentos. O modelo de Ung e Ouellet (1991) apresentou o terceiro melhor desempenho, dentre os modelos utilizados por Profumo Aguiar (2006), para modelagem do volume do povoamento com casca para bracatingais nativos da região metropolitana de Curitiba – PR.

Por outro lado, o melhor modelo logarítmico para a estimativa do volume por hectare encontrado no trabalho realizado por Oliveira *et al.* (2005), em fragmentos florestais naturais do município de Viçosa – MG, coincidiu com o melhor ajuste encontrado no presente estudo, o modelo proposto por Ung e Ouellet (1991).

A Figura 1 apresenta os gráficos de dispersão de resíduos em porcentagem para estimativa do volume por hectare com casca, para *Pinus elliottii*, na região de Caçador – SC.

Figura 1 – Dispersão dos resíduos em porcentagem do volume por hectare com casca (m^3/ha^{-1}), para os modelos aritméticos e logarítmicos de melhor desempenho, para *Pinus elliottii* Engelm., na região de Caçador – Santa Catarina

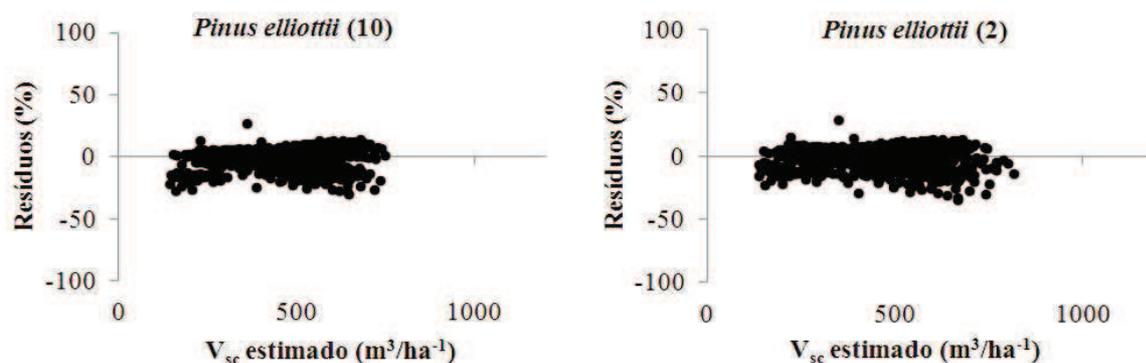


Legenda: V_{cc} = volume por hectare com casca (m^3/ha^{-1}).

Os gráficos de dispersão de resíduos apresentam valores distribuídos de maneira uniforme ao longo da linha de estimativa. Os valores se distribuíram entre os limites de 24,53% e -21,76%, para a equação de número 10 e 24,19% e -26,46%, para a equação de número 2. Ambos os gráficos apresentam alguns valores mais acentuados de resíduo. De modo geral, o gráfico de resíduos em porcentagem para o modelo aritmético, apresenta valores mais próximos da linha de estimativa.

A Figura 2 apresenta os gráficos de dispersão de resíduos em porcentagem para estimativa do volume por hectare sem casca, para *Pinus elliottii*, na região de Caçador – SC.

Figura 2 – Dispersão dos resíduos em porcentagem do volume por hectare sem casca ($\text{m}^3/\text{ha}^{-1}$), para os modelos aritméticos e logarítmicos de melhor desempenho, para *Pinus elliottii* Engelm., na região de Caçador – Santa Catarina.

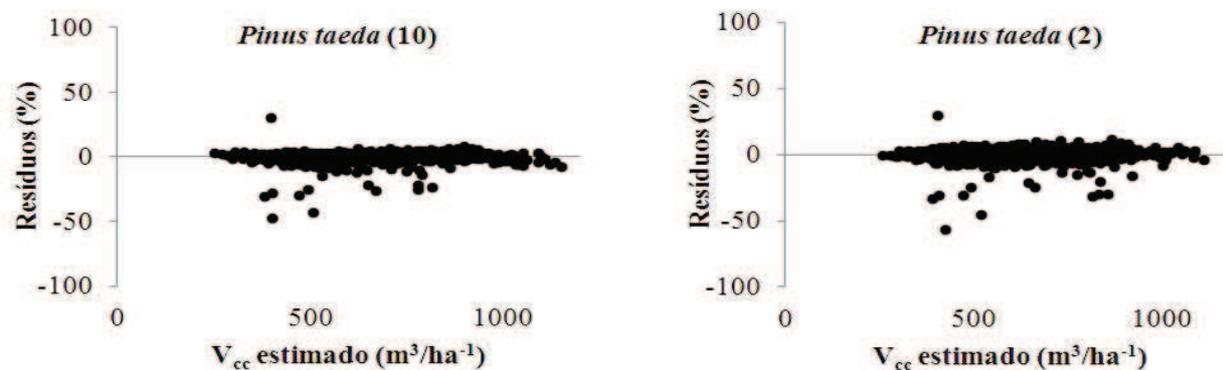


Legenda: V_{cc} = volume por hectare com casca ($\text{m}^3/\text{ha}^{-1}$).

Os gráficos de dispersão de resíduos apresentam valores distribuídos de maneira relativamente uniforme ao longo da linha estimativa. Os valores se distribuíram entre os limites de 26,51% e -30,73%, para a equação de número 10 e 28,37% e -30,50%, para a equação de número 2. Ambos os gráficos apresentam alguns valores mais acentuados de resíduo. De modo geral, o gráfico de resíduos em porcentagem para o modelo aritmético, apresenta valores ligeiramente mais próximos da linha de estimativa.

A Figura 3 apresenta os gráficos de dispersão de resíduos em porcentagem para estimativa do volume por hectare com casca, para *Pinus taeda*, na região de Caçador – SC.

Figura 3 – Dispersão dos resíduos em porcentagem do volume por hectare com casca (m^3/ha), para os modelos aritméticos e logarítmicos de melhor desempenho, para *Pinus taeda* L., na região de Caçador – Santa Catarina



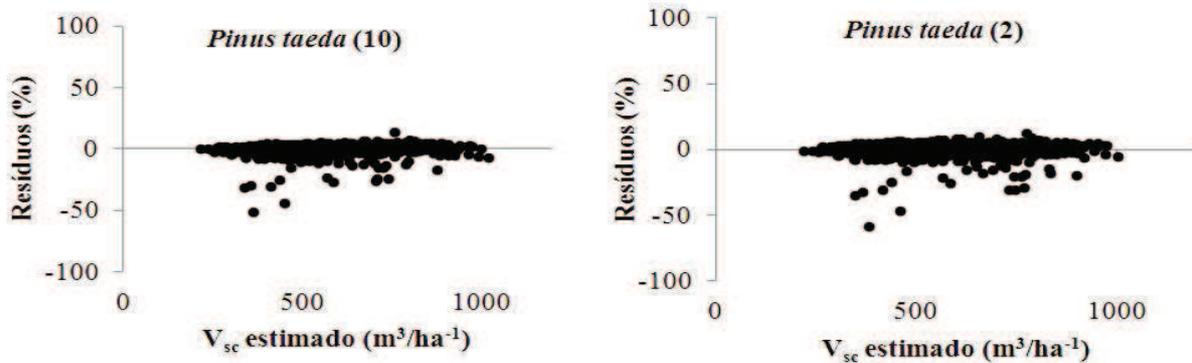
Legenda: V_{cc} = volume por hectare com casca ($\text{m}^3/\text{ha}^{-1}$).

A maioria dos valores de resíduos foram, relativamente, próximos de zero ao longo da linha de estimativa, entretanto, ocorreram alguns valores de resíduos muito acentuados. Estes valores se distribuíram entre os limites de 30,24% e -47,73%, para a equação de número 10 e 29,01% e -56,71%, para a equação de número 2. Ao longo da linha de estimativa, ocorreram alguns valores de resíduos muito

baixos, indicando superestimativa. Essa tendência de superestimativa é mais evidente para a equação número 2 da Figura 3, resultante do ajuste do modelo logarítmico proposto por Ung e Ouellet (1991).

A Figura 4 apresenta os gráficos de dispersão de resíduos em porcentagem para estimativa do volume por hectare sem casca, para *Pinus taeda*, na região de Caçador – SC.

Figura 4 – Dispersão dos resíduos em porcentagem do volume por hectare sem casca (m³/ha) para os modelos aritméticos e logarítmicos de melhor desempenho, para *Pinus taeda* L., na região de Caçador – Santa Catarina



Legenda: = volume por hectare com casca (m³/ha⁻¹).

A maioria dos valores de resíduos foram, relativamente, próximos de zero ao longo da linha de estimativa, entretanto, ocorreram alguns valores de resíduos muito acentuados. Estes valores se distribuíram entre os limites de 13,10% e -51,40%, para a equação de número 10 e 5,13% e -59,13%, para a equação de número 2. Ao longo da linha de estimativa, ocorreram alguns valores de resíduos muito baixos, indicando superestimativa. Da mesma maneira que ocorre para os resíduos apresentados na Figura 3, a tendência de superestimativa é mais evidente para a equação número 2 da Figura 4, resultante do ajuste do modelo logarítmico proposto por Ung e Ouellet (1991).

4 CONCLUSÃO

Em função dos resultados apresentados na presente pesquisa é possível concluir que:

a) Dentre os modelos para estimativa do volume do povoamento, os que apresentaram as variáveis área basal e altura média combinadas ($G\bar{h}$), e diâmetro médio quadrático (d_g), de maneira geral, apresentaram os melhores ajustes.

b) Com base nas estatísticas de ajuste e precisão e dispersão de resíduos, o modelo que apresentou melhor ajuste para a estimativa do volume por hectare (m³/ha), com e sem casca, foi o modelo proposto por Takata (1959), tanto para a espécie de *Pinus elliottii*, como para *Pinus taeda*.

c) De modo geral, os modelos para a estimativa do volume do povoamento, com casca, apresentaram melhor desempenho do que aqueles para a estimativa do volume do povoamento sem casca.

d) Da mesma forma, os modelos para estimativa do volume do povoamento para *Pinus taeda* apresentaram, de modo geral, melhores ajustes do que para *Pinus elliottii*.

Modeling of the stand volume for *Pinus taeda* L. and *Pinus elliottii* Engelm., in the region of Caçador, Santa Catarina State, Brazil

Abstract

The objective of this research was to fit and select several growth and yield models in stand level for *Pinus taeda* L. and *Pinus elliottii* Engelm., in the region of Caçador, Santa Catarina State, Brazil. The data used in this study came from inventories conducted from 2001 to 2009, covering ages 17 to 31 years in *Pinus elliottii* and *Pinus taeda* stands. The diameter at breast height and total height of all trees are measured into fixed area plots of 400 to 800 m², distributed randomly in the forest. The ages of each plot were obtained through the registration of the forest, basal area was obtained through the summation of the cross-sectional areas of individual tree, and volumes per hectare were obtained by the sum of individual volumes estimated for each tree. The site index of each plot were obtained according to the site classification developed by Bressan (2009) for the specie *Pinus taeda*, and the *Pinus elliottii* site classification was made by Oliveira et al. (1998). The selection of the best fitted models was made by the following statistics of fit and precision: coefficient of determination (R^2), standard error of estimate (SEE), standard error of estimate in percentage (SEE%) and graphic distribution of residual in percentage. The best performance equation, both for the estimated volume per hectare outside bark and inside bark, was obtained through the model proposed by Takata (1959), for both *Pinus elliottii* and *Pinus taeda*.
Keywords: Growth and yield models. Volume equation. Pine.

REFERÊNCIAS

- BRESSAN, D.R. **Ajuste de funções matemáticas para classificação de sítios em florestas de *Pinus taeda* L. na região de caçador – SC.** 2009. 45 f. Monografia (Graduação em Engenharia Florestal) – Universidade do Oeste de Santa Catarina, Xanxêre, 2009.
- CAMPOS, J. C. C.; LEITE, H. G. **Mensuração florestal:** perguntas e respostas. 2. ed. Viçosa: UFV, 2006.
- CLUTTER, J.L. et al. **Timber management:** a quantitative approach. New York: John Wiley & Sons, 1983.
- MACHADO, S. A.; FIGUEIREDO FILHO, A.. **Dendrometria.** 2 ed. Guarapuava: UNICENTRO, 2009.
- OLIVEIRA, E. B. et al. Classificação de sítio para povoamentos de *Pinus elliottii* Engelm. no sul do Brasil. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Colombo, n. 37, p. 5-18.1998.
- OLIVEIRA, M. L. R.; SOARES, C. P. B.; LEITE, H. G. Equações de volume de povoamento para fragmentos florestais naturais do município de Viçosa, Minas Gerais. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 29, n. 2, p. 213-225, 2005.
- PROFUMO AGUIAR, L. **Modelagem do volume do povoamento da *Mimosa scabrella* Benth em bracatingais nativos da região metropolitana de Curitiba.** 2006. 120 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Paraná: Curitiba, 2006.
- SCOLFORO, J. R. S. **Biometria florestal:** modelos de crescimento e produção florestal. Lavras: FAEPE – UFLA, 2006.

SHIMIZU, J. Y. **Pínus na silvicultura brasileira**. Colombo: Embrapa, 2008.

SCHNEIDER, P. R.; SCHNEIDER, P. S. P. **Introdução ao manejo florestal**. Santa Maria: FATEC, 2008.

VANCLAY, J.K. **Modelling Forest Growth and Yield**: Applications to Mixed Tropical Forests. Wallingford: CAB International, 1994.