

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE CIÊNCIAS RURAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA FLORESTAL**

**RELAÇÕES BIOMÉTRICAS EM POVOAMENTOS
JOVENS DE *Pinus taeda* L. NA PROVÍNCIA DE
CORRIENTES, REPÚBLICA ARGENTINA**

TESE DE DOUTORADO

Lourdes Patricia Elias Dacosta

Santa Maria, RS, Brasil

2008

**RELAÇÕES BIOMÉTRICAS EM POVOAMENTOS JOVENS
DE *Pinus taeda* L. NA PROVÍNCIA DE CORRIENTES,
REPÚBLICA ARGENTINA**

por

Lourdes Patricia Elias Dacosta

Tese apresentada ao Curso de Doutorado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Área de Concentração em Manejo Florestal, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de
Doutor em Engenharia Florestal

Orientador: Prof. Dr. César Augusto Guimarães Finger

Santa Maria, RS, Brasil

2008

**Universidade Federal de Santa Maria
Centro de Ciências Rurais
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal**

A Comissão Examinadora, abaixo assinada,
aprova a Tese de Doutorado

**RELAÇÕES BIOMÉTRICAS EM POVOAMENTOS JOVENS DE
Pinus taeda L. NA PROVÍNCIA DE CORRIENTES,
REPÚBLICA ARGENTINA**

elaborada por
Lourdes Patricia Elias Dacosta

como requisito parcial para obtenção do grau de
Doutor em Engenharia Florestal

COMISSÃO EXAMINADORA

César Augusto Guimarães Finger, Dr. (UFSM)
(Presidente/Orientador)

Nilton César Mantovani, Dr. (CESNORS)

Fabício Jaques Sutili, Dr. (KEF-ÖAW)

Elódio Sebem, Dr. (UFSM)

Frederico Dimas Fleig, Dr. (UFSM)

Santa Maria, 18 de julho de 2008.

Aos meus pais, Ida e Moisés.
Minha tia, Gudelia.
Meu avô, Raimundo (†).
Meu irmão, Héctor Daniel.
Minha cunhada, Alba Luz.
Meu sobrinho, Sebastián.

Dedico.

AGRADECIMENTOS

É justo expressar meu profundo agradecimento a todas as pessoas que, de alguma forma, colaboraram para a concretização deste trabalho. Agradeço sinceramente:

Ao meu orientador, Dr. César Augusto Guimarães Finger, pela infinita paciência, amizade e orientação com excelência profissional.

Aos professores, Dr. Paulo Renato Schneider e Dr. Solon Jonas Longhi, pelas recomendações pontuais no decorrer do trabalho e pelo apoio incondicional.

À Empresa BOSQUES DEL PLATA S.A., pela concessão do material e apoio logístico para o desenvolvimento do trabalho. Agradeço, especialmente, aos Engenheiros Florestais Raúl Pezutti, Rute Berger e Arturo Hernández.

À Universidade Federal de Santa Maria, ao Centro de Ciências Rurais e ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, pela possibilidade da realização do Doutorado. Em especial, aos professores e funcionários do curso, pela colaboração.

Ao CNPq e a Organização dos Estados Americanos (OEA), pela concessão da bolsa de estudos.

À Universidade Nacional de Assunção, à Faculdade de Ciências Agrárias, especialmente ao Decano da instituição, Eng. Agr. Lorenzo Meza, ao Vice decano, Eng. Agr. Miguel Angel Ruiz Díaz, e meu diretor, Eng. Agr. José Quinto Paredes, pela confiança em mim depositada.

A toda minha família, na representação de meus pais, pelo incentivo no estudo e pela compreensão por minha longa ausência de nosso país, proporcionando-me todo o apoio do qual necessitei.

A todos os colegas e amigos de Pedro Juan Caballero e Capiatá, em especial a Victorina, Héctor R., Federico B., Ramón M., Daily, Sonia e Patricia M.

Aos colegas e amigos, Cibele, Jovani, Atahualpa, Enrique B., Eduardo, Roberta, Ramiro, Edilene, Liziara, Carine, Deisy, Gerônimo, Teresita, Miriam A., Kathia, Francisco, senhora Irma e à família Bortoluzzi, pelos momentos agradáveis e convivência harmoniosa.

Aos colegas do laboratório, Magda, Eduardo Floriano, André, Eduardo R., Elisabete, Veridiana, Gerson, César M., Gustavo D. e Leonardo Z., e aos estudantes de Engenharia Florestal da UNA (Diana, Federico e José) pela colaboração nos trabalhos experimentais e, fundamentalmente, pela amizade.

Meu maior agradecimento a Deus e ao Divino *Niño Jesús*, por terem proporcionado o discernimento e a paciência necessária para a concretização deste trabalho.

RESUMO

Tese de Doutorado
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal
Universidade Federal de Santa Maria, RS, Brasil

RELAÇÕES BIOMÉTRICAS EM POVOAMENTOS JOVENS DE *Pinus taeda* L. NA PROVÍNCIA DE CORRIENTES, REPÚBLICA ARGENTINA

AUTORA: Lourdes Patricia Elias Dacosta
ORIENTADOR: Dr. César Augusto Guimarães Finger
Data e Local da Defesa: Santa Maria, 18 de julho de 2008.

Este trabalho tem como objetivo estudar as relações biométricas de uma floresta jovem de *Pinus taeda* L., localizada na região de Santo Tomé, Corrientes, Argentina, pertencente à empresa Bosques del Plata S.A. Os dados foram medidos em parcelas temporárias com idades de 4 a 8 anos, e de análise de tronco de árvores com idades de 12 a 17 anos, originadas de 3 sítios naturais (coxilha vermelha, coxilha parda e várzea), obtendo-se informações de altura dominante, idade, diâmetro, volume individual e fator de forma artificial. As equações de regressão selecionadas para representar o desenvolvimento da relação hipsométrica, volume individual (v), altura dominante (h_{100}), diâmetro da árvore de área basal média (d_g), área basal por hectare (G), volume por hectare (V), e fator de forma artificial (f), foram:

$$\frac{d}{\sqrt{h}} = 1,63568 + 0,22125 \cdot d, \quad \ln v = -9,40378 + 1,84287 \cdot \ln d + 0,85244 \cdot \ln h, \quad \ln h_{100} = -0,95979 + 2,88097 \cdot \ln t - 0,52061 \cdot \ln^2 t,$$

$$\ln d_g = 1,69872 \cdot \ln h_{100} - 0,21927 \cdot \ln^2 h_{100}, \quad \ln G = 1,78627 \cdot \ln h_{100} - 0,16742 \cdot \ln^2 h_{100}, \quad \ln V = -0,47410 + 0,50158 \cdot \ln G^2 + 0,86198 \cdot \ln h_{100},$$

$$f = 0,09956 + 0,45010 \cdot \left(\frac{d_{0,35}}{d}\right)^2 + 0,26882 \cdot \frac{1}{d} + 0,53626 \cdot \frac{1}{h}.$$

A análise das curvas de crescimento da altura dominante sobre a idade indicou existir inclinação comum das curvas de regressão para as árvores em cada sítio natural estudado. O mesmo foi também observado entre curvas dos três locais de amostragem permitindo determinar curvas de índice de sítio monomórficas. A comparação do sistema de curvas de índice de sítio, com as curvas elaboradas para regiões brasileiras, mostraram desenvolvimento diferente em altura dominante, obtendo-se crescimentos maiores para a região de Santo Tomé, Corrientes, Argentina até a idade de 11 anos, posteriormente, passando a ser menor que todas elas. As informações obtidas permitiram gerar tabelas de produção por índice de sítio. Para o índice de sítio 12 a produção total foi de 160 m³/há e, para o índice de sítio 22 de 492 m³/há, aos 12 anos, indicando a presença de diferença no potencial de produção em volume dos sítios da região. Os valores de incremento médio anual máximo foram alcançados aos 10 anos, para os índices de sítio 12 e 22, com 14 e 43 m³/há, respectivamente.

Palavras-chave: altura, área basal, volume, crescimento, índice de sítio, *Pinus taeda* L.

ABSTRACT

Doctor's Thesis
Post-Graduation Program in Forest Engineering
Universidade Federal de Santa Maria, RS, Brazil

BIOMETRICAL RELATIONSHIPS IN *Pinus taeda* L. YOUNG STANDS IN CORRIENTES PROVINCE, ARGENTINE

AUTHOR: Lourdes Patricia Elias Dacosta
ADVISER: Dr. César Augusto Guimarães Finger
Date and Place of the Defense: Santa Maria, July 18th, 2008.

This study has as objective to study the biometrical relationships in a *Pinus taeda* L., young forest located in Santo Tomé region, Corrientes, Argentina, belonging to Bosques del Plata S.A. company. The data were collected in temporary plots with ages varying from 4 to 8 years, and in plots for trunk analysis with ages from 12 to 17 years, originated in 3 natural sites (red hill, brown hill, paddy-soils), obtaining the dominant height, age, diameter, individual volume and artificial form factor information. The regression equations selected to represent hypsometric relationship development, individual volume (v), dominant height (h_{100}), diameter from the average basal area tree (d_g), basal area per hectare (G), volume per hectare (V), and artificial form factor (f) were:

$$\frac{d}{\sqrt{h}} = 1,63568 + 0,22125 \cdot d, \quad \ln v = -9,40378 + 1,84287 \cdot \ln d + 0,85244 \cdot \ln h, \\ \ln h_{100} = -0,95979 + 2,88097 \cdot \ln t - 0,52061 \cdot \ln^2 t, \quad \ln d_g = 1,69872 \cdot \ln h_{100} - 0,21927 \cdot \ln^2 h_{100}, \quad \ln G = 1,78627 \cdot \ln h_{100} - 0,16742 \cdot \ln^2 h_{100}, \\ \ln V = -0,47410 + 0,50158 \cdot \ln G^2 + 0,86198 \cdot \ln h_{100}, \quad f = 0,09956 + 0,45010 \cdot \left(\frac{d_{0,33}}{d}\right)^2 + 0,26882 \cdot \frac{1}{d} + 0,53626 \cdot \frac{1}{h}.$$

Growth curve analysis from dominant height upon age indicated that there is an ordinary inclination from the regression curves for the trees in each natural studied site. The same pattern was observed among the curves from the three sampling places, allowing to determine monomorphic site index curves. The comparison from site index curves system, with the curves elaborated for Brazilian regions, showed different development in dominant height, obtaining higher growths for Santo Tomé region (Corrientes, Argentina) until the age of 11, later on turning to be lower than them. The obtained information allows to produce yield tables per site index. For site index 12 total yield was 160 m³/ha and, for site index 22 it was de 492 m³/ha, at 12 years, indicating the presence of difference in volume yield potential in region sites. The maximum mean annual increment (MAI) was reached at 10 years, for site indexes 12 and 22, with 14 and 43 m³/ha, respectively.

Key-words: height, basal área, volume, growth, site index, *Pinus taeda* L.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - Mapa da Província de Corrientes, Argentina, localizando o município de Santo Tomé.....	55
FIGURA 2 - Alturas observadas e estimadas pela equação 6 em unidades amostrais de uma floresta de <i>Pinus taeda</i> L. em Santo Tomé, Corrientes, Argentina.....	74
FIGURA 3 - Relação entre o volume observado e o volume estimado para <i>Pinus taeda</i> L. em Santo Tomé, Corrientes, Argentina.....	76
FIGURA 4 - Relação do volume individual com a altura pelo modelo de Schumacher e Hall para <i>Pinus taeda</i> L. em Santo Tomé, Corrientes, Argentina.....	76
FIGURA 5 - Volume de árvores cubadas em três sítios de florestas de <i>Pinus taeda</i> L. em Santo Tomé, Corrientes, Argentina.....	79
FIGURA 6 - Resíduos de equação 4 de altura dominante em função da idade para <i>Pinus taeda</i> L. em Santo Tomé, Corrientes, Argentina.	81
FIGURA 7 - Relação da altura dominante com a idade pelo modelo da equação de Backman para <i>Pinus taeda</i> L. em Santo Tomé, Corrientes, Argentina.....	83
FIGURA 8 - Distribuição das alturas dominantes observadas nas curvas de índice de sítio para <i>Pinus taeda</i> L. em Santo Tomé, Corrientes, Argentina.....	85
FIGURA 9 - Resíduos de equação 11 de diâmetro da árvore de área basal média para <i>Pinus taeda</i> L. (Santo Tomé, Corrientes, Argentina).....	87
FIGURA 10 - Número de árvores observadas.....	88
FIGURA 11 - Resíduos de equação 7 de área basal para <i>Pinus taeda</i> L. em Santo Tomé, Corrientes, Argentina.....	90
FIGURA 12 - Relação da área basal observada com a área basal estimada da equação 7 para <i>Pinus taeda</i> L. em Santo Tomé, Corrientes, Argentina.....	90
FIGURA 13 - Resíduos da equação 4 para volume por hectare para <i>Pinus taeda</i> L. em Santo Tomé, Corrientes, Argentina.....	92
FIGURA 14 - Relação do volume por hectare com a altura dominante pelo modelo da equação 4 para <i>Pinus taeda</i> L. em Santo Tomé, Corrientes, Argentina.....	92
FIGURA 15 - Resíduos de equação 2 de fator de forma para <i>Pinus taeda</i> L. em Santo Tomé, Corrientes, Argentina.....	94

FIGURA 16 - Relação do fator de forma com a altura pelo modelo da equação 2 para <i>Pinus taeda</i> L. em Santo Tomé, Corrientes, Argentina.....	95
FIGURA 17 - Comparação das curvas de índice de sítio para <i>Pinus taeda</i> L. de Santo Tomé, Corrientes, Argentina e das regiões brasileiras de Telêmaco Borba, e do Segundo Planalto Paranaense no Paraná, e Cambará do Sul, no Rio Grande do Sul.....	98
FIGURA 18 - Produção total em função da idade e índice de sítio para <i>Pinus taeda</i> L. em Santo Tomé, Corrientes, Argentina.....	99
FIGURA 19 - Curva de desenvolvimento do IMA (m ³ /ha/ano) para <i>Pinus taeda</i> L. em Santo Tomé, Corrientes, Argentina.....	100
FIGURA 20 - Curva de desenvolvimento do ICA (m ³ /ha/ano) para os índices de sítio 12 a 22 para <i>Pinus taeda</i> L. em Santo Tomé, Corrientes, Argentina.....	101
FIGURA 21 - Fluxograma da estruturação da produção em florestas de <i>Pinus taeda</i> L.	106
FIGURA 22 - Formulário de levantamento de dados da Empresa Bosques del Plata S.A.....	120
FIGURA 23 - Formulário de levantamento de dados de cubagem.....	121
FIGURA 24 - Curvas de desenvolvimento do IMA e do ICA (m ³ /ha/ano) por índice de sítio para <i>Pinus taeda</i> L. em Santo Tomé, Corrientes, Argentina.....	128

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - Número de unidades amostrais por sítio.....	57
TABELA 2 - Modelos de equações para a relação hipsométrica nos povoamentos de <i>Pinus taeda</i> L. em Santo Tomé, Corrientes, Argentina.....	58
TABELA 3 - Número de árvores cubadas por classe de DAP e idade, para <i>Pinus taeda</i> L. em Santo Tomé, Corrientes, Argentina.....	59
TABELA 4 - Modelos de equações para o volume individual das árvores de <i>Pinus taeda</i> L. em Santo Tomé, Corrientes, Argentina.....	60
TABELA 5 - Modelo de equações para a altura dominante nas árvores de <i>Pinus taeda</i> L. em Santo Tomé, Corrientes, Argentina.....	62
TABELA 6 - Modelo de equações para o diâmetro da árvore de área basal média nos povoamentos de <i>Pinus taeda</i> L. em Santo Tomé, Corrientes, Argentina.....	62
TABELA 7 - Modelo de equações para o número de árvores por hectare (N) ajustada nos povoamentos de <i>Pinus taeda</i> L. em Santo Tomé, Corrientes, Argentina.....	63
TABELA 8 - Modelo de equações para a área basal por hectare (G) ajustada nos povoamentos de <i>Pinus taeda</i> L. em Santo Tomé, Corrientes, Argentina.....	64
TABELA 9 - Modelo de equações para o volume total por hectare (V) nos povoamentos de <i>Pinus taeda</i> L. em Santo Tomé, Corrientes, Argentina.....	64
TABELA 10 - Modelo de equações para o fator de forma artificial nos povoamentos de <i>Pinus taeda</i> L. em Santo Tomé, Corrientes, Argentina.....	65
TABELA 11 - Modelo de equações para o diâmetro relativo nos povoamentos de <i>Pinus taeda</i> L. em Santo Tomé, Corrientes, Argentina.....	66
TABELA 12 - Coeficientes e estatísticas para o modelo de relação hipsométrica ajustada para <i>Pinus taeda</i> L. em Santo Tomé, Corrientes, Argentina.....	70

TABELA 13 - Resultados da análise da covariância para avaliar o efeito da idade na relação hipsométrica em <i>Pinus taeda</i> L. em Santo Tomé, Corrientes, Argentina.....	72
TABELA 14 - Coeficientes e estatísticas para o modelo de relação hipsométrica ajustada de 4 unidades amostrais para <i>Pinus taeda</i> L. em Santo Tomé, Corrientes, Argentina.....	73
TABELA 15 - Coeficientes e estatísticas para o modelo de volume individual para <i>Pinus taeda</i> L. em Santo Tomé, Corrientes, Argentina.....	75
TABELA 16 - Resultados da análise da covariância para avaliar o efeito do sítio no volume individual em <i>Pinus taeda</i> L. em Santo Tomé, Corrientes, Argentina.....	78
TABELA 17 - Coeficientes e estatísticas para o modelo de altura dominante para <i>Pinus taeda</i> L. em Santo Tomé, Corrientes, Argentina.....	80
TABELA 18 - Resultados da análise da covariância para avaliar o efeito do sítio na altura dominante em <i>Pinus taeda</i> L. em Santo Tomé, Corrientes, Argentina.....	82
TABELA 19 - Valores de altura dominante por índice de sítio e idade para <i>Pinus taeda</i> L. em Santo Tomé, Corrientes, Argentina.....	84
TABELA 20 - Coeficientes e estatísticas para o modelo de diâmetro da árvore de área basal média ajustado para <i>Pinus taeda</i> L. em Santo Tomé, Corrientes, Argentina.....	86
TABELA 21 - Coeficientes e estatísticas para o modelo de área basal ajustado para <i>Pinus taeda</i> L. em Santo Tomé, Corrientes, Argentina.....	89
TABELA 22 - Coeficientes e estatísticas para o modelo de volume por hectare ajustado para <i>Pinus taeda</i> L. em Santo Tomé, Corrientes, Argentina.....	91
TABELA 23 - Coeficientes e estatísticas para o modelo de fator de forma artificial ajustado para <i>Pinus taeda</i> L. em Santo Tomé, Corrientes, Argentina.....	93
TABELA 24 - Coeficientes e estatísticas para os modelos de diâmetros relativos ajustados para <i>Pinus taeda</i> L. em Santo Tomé, Corrientes, Argentina.....	95
TABELA 25 - Tabela de produção para <i>Pinus taeda</i> L., para o índice de sítio 12.....	102
TABELA 26 - Tabela de produção para <i>Pinus taeda</i> L., para o índice de sítio 14.....	103
TABELA 27 - Tabela de produção para <i>Pinus taeda</i> L., para o índice de sítio 16.....	103

TABELA 28 - Tabela de produção para <i>Pinus taeda</i> L., para o índice de sítio 18.....	104
TABELA 29 - Tabela de produção para <i>Pinus taeda</i> L., para o índice de sítio 20.....	104
TABELA 30 - Tabela de produção para <i>Pinus taeda</i> L., para o índice de sítio 22.....	105
TABELA 31 - Locais e talhões utilizados no estudo.....	119
TABELA 32 - Crescimento em altura dominante de <i>Pinus taeda</i> L. na região de Santo Tomé, Corrientes (Argentina), e nas regiões brasileiras de Telêmaco Borba, Segundo Planalto Paranaense no Paraná, e Cambará do Sul, no Rio Grande do Sul.....	122
TABELA 33 - Dados das parcelas geradas pelo programa ANAPAR (Análise de parcelas) para a densidade de 1428 plantas por ha.....	123
TABELA 34 - Dados das parcelas geradas pelo programa ANAPAR (Análise de parcelas) para a densidade de 1250 e 1666 plantas por ha.....	125
TABELA 35 - Análise de variância da regressão para a relação hipsométrica.....	126
TABELA 36 - Análise de variância da regressão para o volume individual.....	126
TABELA 37 - Análise de variância da regressão para a altura dominante.....	126
TABELA 38 - Análise de variância da regressão para o diâmetro de área basal média.....	126
TABELA 39 - Análise de variância da regressão para a área basal.....	126
TABELA 40 - Análise de variância da regressão para o volume final.....	127
TABELA 41 - Análise de variância da regressão para o fator de forma.....	127

LISTA DE ANEXOS

ANEXO 1 - Locais e talhões utilizados no estudo.....	119
ANEXO 2 - Formulário de levantamento de dados da Empresa Bosques del Plata S.A.....	120
ANEXO 3 - Formulário de levantamento de dados de cubagem.....	121
ANEXO 4 - Crescimentos em altura dominante de <i>Pinus taeda</i> L. na região de Santo Tomé, Corrientes (Argentina), comparada ao crescimento com outras regiões.	122
ANEXO 5 - Dados das parcelas geradas pelo programa ANAPAR (Análise de parcelas).....	123
ANEXO 6 - Análise de variância da regressão.....	126
ANEXO 7 - Curvas de desenvolvimento do IMA e do ICA (m ³ /ha/ano) por índice de sítio para <i>Pinus taeda</i> L. em Santo Tomé, Corrientes, Argentina.....	128

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	18
2	REVISÃO DE LITERATURA.....	21
2.1	Caracterização da espécie.....	21
2.2	Caracterização da Província de Corrientes e do Setor Florestal.....	22
2.3	Crescimento e produção	24
2.4	Crescimento dos componentes da árvore.....	26
2.4.1	Crescimento em diâmetro e área basal	26
2.4.2	Crescimento em altura.....	27
2.5	Volume	32
2.6	Fator de forma	35
2.7	Análise de tronco	38
2.8	Classificação de sítios florestais	39
2.9	Curvas de índice de sítio	44
2.10	Densidade	48
2.11	Modelos de crescimento	50
3	MATERIAL E MÉTODOS.....	54
3.1	Caracterização da área de estudo	54
3.2	Os dados	56
3.3	Unidades amostrais	56
3.4	Relação hipsométrica	58
3.5	Volume das árvores.....	59
3.6	Análise de tronco.....	60
3.7	Descrição do crescimento da altura dominante e a classificação de sítios	61
3.8	Determinação do diâmetro da árvore de área basal média (dg).....	62
3.9	Determinação do número de árvores por hectare (N).....	63
3.10	Cálculo da área basal por hectare (G).....	63
3.11	Cálculo do volume por hectare (V).....	64
3.12	Determinação do fator de forma artificial (f).....	65

3.13	Cálculo dos incrementos corrente e médio anual (ICA e IMA)	66
3.14	Análise de covariância (ANACOVA)	66
3.15	Comparação com curvas de índice de sítio elaboradas por outros autores	67
3.16	Construção de modelos	67
3.17	Seleção do modelo matemático	68
3.17.1	Coeficiente de determinação ajustado (R^2_{aj}).....	68
3.17.2	Coeficiente de variação (CV%).....	68
3.17.3	Valor F.....	69
3.17.4	Análise gráfica da distribuição dos resíduos.....	69
3.17.5	Processamento e análise dos dados.....	69
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	70
4.1	Relação hipsométrica	70
4.1.1	Paralelismo e coincidência das curvas de relação hipsométrica sob efeito da idade e sítio.....	71
4.2	Volume individual	74
4.2.1	Análise de covariância para avaliar o efeito do sítio no volume individual das árvores.....	77
4.3	Crescimento em altura dominante	79
4.3.1	Análise de covariância para avaliar o efeito do sítio na altura dominante.....	82
4.4	Diâmetro da árvore de área basal média	85
4.5	Número de árvores por hectare	87
4.6	Área basal por hectare	88
4.7	Volume por hectare	91
4.8	Fator de forma artificial	93
4.9	Comparação com curvas de índice de sítio elaboradas por outros autores	96
4.10	Produção total	98
4.10.1	Volume por hectare.....	98
4.10.2	Incremento médio anual por hectare.....	99
4.10.3	Incremento corrente anual por hectare.....	101
4.11	Tabelas de produção para <i>Pinus taeda</i> L.	102

4.12	Concatenação das equações para a elaboração de tabelas de produção para <i>Pinus taeda</i> L. em Santo Tomé, Corrientes, Argentina.....	105
5	CONCLUSÕES.....	107
6	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	109
7	ANEXOS.....	118

1 INTRODUÇÃO

Com a crescente demanda de madeira pela população, tem ocorrido o aumento de plantações de pináceas no mundo e, principalmente, daquelas do gênero *Pinus*. Assim, o interesse das pessoas a respeito desse gênero também aumenta quase que na mesma intensidade em que os *Pinus* se tornam gradativamente mais importantes. Isso ocorre devido às características das árvores deste gênero que, além de possuírem rápido crescimento, também são matéria-prima para vários produtos, como os derivados de papéis e papelões, móveis, moradias, resinas, carvão, medicamentos, produtos de higiene e limpeza, entre outros.

Atualmente as empresas florestais estão mais preocupadas com o planejamento da produção, por várias razões: a matéria-prima não é mais abundante, o custo da terra e mão-de-obra está aumentando e, os plantios entram na fase dos desbastes.

Nesta situação, as empresas florestais estão forçadas a definir objetivos e manejar os povoamentos de maneira que cumpram os objetivos da melhor forma.

Assim, o manejo de plantações florestais implica decidir sobre as ações silviculturais que devem ser executadas, de tal modo que possam produzir a madeira com as características desejadas, no momento da sua demanda e na quantidade requerida, ou seja, onde, quando, como e quanta madeira deve ser produzida (GALVÃO, 2000).

Em virtude da redução da oferta de madeira de folhosas, notadamente em regiões da Argentina, têm se realizado esforços para a implantação de florestas com o fim de suprir as necessidades de consumo e abastecimento das indústrias florestais.

O *Pinus taeda* L. é uma das espécies mais difundidas na Argentina, principalmente na região mesopotâmica, adaptada a uma ampla gama de condições ecológicas e com elevados níveis de produtividade.

A província de Corrientes conta, na atualidade, com extensas áreas de bosques implantados, na sua maioria, com espécies exóticas, entre as que se

mencionam dentro das coníferas o gênero *Pinus* (*Pinus elliottii* Engelm., e *Pinus taeda* L.) (ARGENTINA, 2003).

A empresa Bosques del Plata S.A., localizada nas províncias de Corrientes e Misiones (Argentina), dedica-se à implantação e manejo de suas florestas de *Pinus spp.* Esta empresa reflorestou com *Pinus taeda* L. cerca de 66.000 ha em solos de coxilhas e de várzeas, com plantios sobre camalhões, até o ano 2007, e, tendo anteriormente como meta de plantio, seis mil hectares por ano.

Costas et al. (2006) comentam que nas províncias de Misiones e Corrientes, nos últimos 17 anos, ocorreu a difusão e implementação de sistemas intensivos de manejo silvicultural de plantações de coníferas, o controle da densidade e realização de podas para otimizar a quantidade e qualidade da produção florestal, o que têm mostrado serem ferramentas eficazes para satisfazer as demandas do mercado local e internacional.

Ahrens (1997) afirma que, a princípio, o que se deseja com a aplicação de determinado regime de manejo é a produção de toras em quantidades e qualidades dependentes das diretrizes maiores de organização. Deve-se considerar, neste caso, que um mesmo regime terá efeitos distintos se aplicado em diferentes espécies florestais ou se aplicado em sítios de produtividades variadas.

Uma das informações de maior importância para o conhecimento do potencial florestal disponível em uma região é a variável volume, sendo que o volume individual oferece um ponto de partida para avaliação da quantidade de madeira dos povoamentos florestais.

No sentido de estimar os volumes comerciais e, ainda, volumes de partes específicas do fuste, é importante realizar uma avaliação quantitativa de estoques florestais, direcionando a matéria-prima para diferentes usos.

Um sistema de predição presente e futuro da produção, baseado em algumas das funções matemáticas, é imprescindível para definir, antecipadamente, estratégias de manejo dos povoamentos florestais de *Pinus taeda* L.

Assim, a disponibilidade de modelos de regressão, permite prognosticar o crescimento em função da idade e das características que possam planificar-se de antemão, determinando políticas de manejo eficientes. Em consequência, a informação proveniente do acompanhamento de parcelas de pesquisa é muito valiosa.

Além disso, os sistemas atuais de inventário florestal estabelecem como necessária uma adequada estratificação do material, considerando fatores como: seleção da espécie, rotação, procedência, idade, produtividade, espaçamento e local para a obtenção de regras gerais de manejo.

Baseando-se no exposto, o objetivo geral da presente pesquisa foi estudar as relações biométricas de povoamentos jovens de *Pinus taeda* L., e os objetivos específicos foram:

- a) determinar a relação hipsométrica;
- b) modelar o crescimento em altura dominante;
- c) determinar índices de sítio;
- d) descrever o diâmetro e altura da árvore de área basal média, da área basal, do número de árvores vivas e o volume total com casca por hectare;
- e) comparar os crescimentos em altura dominante da região em estudo com as regiões brasileiras de Telêmaco Borba, do Segundo Planalto Paranaense no Paraná e Cambará do Sul, no Rio Grande do Sul, e
- f) elaborar tabelas de produção para a região de Santo Tomé, Corrientes, Argentina.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Caracterização da espécie

Segundo Mirov (1967) o gênero *Pinus* tem sido utilizado pelo homem desde tempos remotos. O autor cita que, Theophrastus (370-285 ac), em seu inquérito sobre plantas, escreveu sobre a morfologia deste gênero, sua reprodução e utilidade para o homem.

O *Pinus taeda* L., também conhecido como *Loblolly pine*, é natural dos Estados Unidos, ocorrendo entre os paralelos 28° e 39° N, sendo encontrado no sul de New Jersey, Ronda Central, oeste do Texas, ao norte do Vale do Mississippi, no sudeste de Oklahoma e Arkansas, e sul do Tennessee. Sua faixa de dispersão vai desde o nível do mar até 2.500 m de altitude, ocasionalmente até 4.500 m, com ampla variação do tipo de solo (MIROV, 1967; GARCIA et al., 1996; MARCHIORI, 1996; KRONKA et al., 2005).

Segundo Marchiori (1996) estas árvores alcançam cerca de 20 m de altura e 100 cm de diâmetro à altura do peito (DAP), produzindo copa densa, casca gretada e ramos acinzentados. As folhas, aciculares e verde-escuras, reúnem-se em grupos de 3 por fascículo e medem de 15 a 20 cm de comprimento.

Marchiori (1996) comenta que a madeira é indicada para construções, móveis e caixotaria. As fibras são longas, adequadas à fabricação de papel e produzem bastante resina.

Na silvicultura preferem-se as espécies do gênero *Pinus* pelas seguintes razões (LAMPRECHT, 1990):

a) Entre as numerosas espécies deste gênero quase sempre se pode encontrar uma com atitude ambiental para cada sítio;

b) Muitas espécies possuem um amplo intervalo de adaptabilidade ao meio ambiente;

c) Muitas delas adaptam-se em solos que, por natureza, são pobres e secos e também em sítios degradados;

d) Os incrementos em volume de algumas espécies, geralmente, são de alto a muito alto, inclusive em condições de meio ambiente desfavoráveis;

e) Como espécies pioneiras resistentes, são muito apropriadas para reflorestamentos e para plantios com um manejo esquemático simples (monocultivo/corte raso);

f) A madeira das coníferas é, por natureza, uma matéria-prima em escassez nos trópicos e os *Pinus* têm a capacidade de produzi-la em grande quantidade e com qualidade uniforme, a qual é necessária para a produção de polpa, papel, painéis, etc.

2.2 Caracterização da Província de Corrientes e do Setor Florestal

Segundo Braier (2004) a situação social da província é das mais críticas da Argentina, com a maior proporção de população abaixo da linha de pobreza, compartilhando com as outras províncias da região Nordeste Argentina os índices mais altos do país de população indigente. Os 50% dos lares mais pobres recebem 26 % da renda, e os 10% mais ricos acumulam 29,3% da renda total.

De acordo com o mesmo autor, a maioria das terras incorporadas à atividade florestal estavam dedicadas ao uso agrícola-pecuário, sendo as espécies mais usadas as coníferas como o *Pinus taeda* L. e *Pinus elliottii* Engelm. considerando que a região mesopotâmica do Nordeste de Argentina possui grande potencial florestal, sendo desta forma a principal área de florestas cultivadas do país.

Segundo ARGENTINA (2003) a maior concentração de bosques plantados de *Pinus* estão nas bacias do Rio Uruguai e norte do Rio Paraná, nas cidades de Monte Caseros, Paso de los Libres, Santo Tomé, Alvear, San Martín, e parte de Ituzaingó. O potencial florestal da Província de Corrientes, considerando os melhores solos, sem discriminar por espécie, é de 324.313 hectares, quantificando-se 193.140 para a espécie *Pinus taeda* L., sendo 104.824 hectares a área para reflorestamento em Santo Tomé.

O ritmo de plantio até o ano 1996 não foi uniforme e, desde o ano 1997, tem crescido sustentavelmente, respaldado pela chegada de novos investidores no setor,

fundamentalmente do Chile, incentivados pela Lei argentina nº 25.080, que deu um prazo de promoção para o setor por um período de 10 anos (BRAIER, 2004).

Estes plantios abastecem de matéria-prima as indústrias de transformação mecânica em serrarias e de madeira compensada, e indústrias de transformação química, em fábricas de pastas celulósicas e papel, desde o começo da década de 60, superando amplamente algumas espécies nativas, como é o caso do Pinheiro do Paraná (*Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze.), que também se utiliza em reflorestamento (PEREYRA e GELID, 2003).

O acelerado desenvolvimento florestal observado na região, que inclui cultivos florestais intensivos, trouxe a preocupação pela conservação e melhoramento da capacidade produtiva dos sítios. Para isto, deve-se considerar que o solo e o clima são fatores que determinam a produtividade potencial natural do sítio, capacidade que pode ser parcialmente modificada aplicando técnicas de preparo de solos e programas de nutrição florestal, adequados para cada local (IBÁÑEZ et al., 2004).

Uma das pesquisas realizadas nesta região foi a do 10/96 ``Proyecto de Investigación Aplicada`` (PIA), orientada para avaliar as técnicas de implantação de *Pinus elliotii* Engelm. e *Pinus taeda* L. e do *Eucalyptus grandis* W.Hill ex Maiden, nos solos vermelhos do nordeste do país (ARGENTINA, 2003). Na pesquisa, foram avaliados o crescimento e a produtividade das três espécies como consequência de várias técnicas de implantação para identificar as mais apropriadas do ponto de vista da sustentabilidade do solo.

Outros estudos avaliaram o crescimento inicial do *Pinus taeda* L., implantado em solos vermelhos, cultivados sob diferentes modalidades de preparo do solo, em Santo Tomé, Corrientes, sobre um solo vermelho, profundo e argiloso (*Kandiudalf*), com uso prévio agrícola-pecuário. Em relação à qualidade dos sítios para reflorestamentos, o PIA 44/96 realizou uma identificação da aptidão dos solos do setor oriental de Corrientes para *Pinus* spp. e *Eucalyptus grandis* W.Hill ex Maiden (ARGENTINA, 2003).

Segundo pesquisas realizadas com a espécie *Pinus taeda* L. na província de Corrientes, o crescimento em diâmetro e em altura, resultou três vezes maior nas áreas onde as espécies foram implantadas sobre camalhões. Além do efeito positivo do plantio em camalhões foi observado que, o sistema radicular mostrava certa orientação das raízes, no sentido dos camalhões, o que poderia trazer problemas quando a floresta fosse desbastada, já que as árvores contariam com uma

ancoragem deficiente em relação aos ventos comuns da região (ARGENTINA, 2003).

2.3 Crescimento e produção

Segundo Vanclay (1994) o crescimento refere-se ao incremento em dimensão de uma ou mais árvores do talhão, através de um período de tempo determinado.

O crescimento da árvore é o resultado da modificação e acréscimo das diversas variáveis dendrométricas como o diâmetro, altura total, altura da base da copa, perfil do tronco, volumes total e parcial, etc., tanto da árvore individual ou do povoamento. Esse aumento é produzido pela atividade fisiológica da planta, através do meristema apical e lateral (SCOLFORO, 1994; SPATHELF e NUTTO, 2000; CAMPOS et al., 2002; ARANDA, 2003).

O crescimento das árvores consiste no alongamento e engrossamento das raízes, caules e ramos, que é a mudança em peso, volume e forma da árvore, e é influenciado diretamente pelos fatores genéticos da espécie, interagindo com o meio ambiente (fatores climáticos, solo, topografia e competição) (HUSCH et al., 1982; KRAMER e KOZLOWSKI, 1972; FINGER, 1992; SCOLFORO, 1994; ENCINAS et al., 2005).

De acordo com Schneider (1993), para o manejador inferir no crescimento de uma determinada árvore ou povoamento, faz-se necessário conhecer os fatores que afetam o crescimento, dentre os quais estão a luz, a temperatura, a água, os nutrientes, o CO₂ e conteúdo de clorofila. A disponibilidade desses fatores depende da concorrência da árvore e do povoamento, e esta pode ser modificada por meio dos desbastes e cortes de melhoramentos.

O termo produção é definido por Assmann (1970), como o processo de crescimento da floresta em relação ao tempo, sítio e as medidas técnicas e econômicas adotadas no manejo. No sentido técnico e específico da palavra, produção refere-se à soma de todos os incrementos anuais acumulados pelas árvores de um povoamento, até um determinado momento.

Spurr (1952) fez um levantamento histórico de como sofre o desenvolvimento e a evolução dos estudos de crescimento e produção destacando que, já no século

XVIII, trabalhava-se com tabelas de produção de volume médio dos povoamentos em várias idades e em vários índices de sítio.

Scolforo (1994) comenta que, o conhecimento do crescimento e da produção presente e futura de árvores em povoamentos florestais é elemento fundamental no manejo florestal sustentável, sendo necessário possuir informações sobre a existência de relações quantitativas e modelos matemáticos que sejam consistentes e, numericamente, compatíveis, para a predição do desenvolvimento do povoamento em qualquer idade.

Existem muitas formas de estimar a produção de povoamentos florestais, variando de simples inventários a modernos modelos de crescimento e produção. O inventário florestal contínuo é uma prática comum na maioria das empresas, sendo geralmente utilizado para avaliar os povoamentos e executar planos de manejo. Essa prática permite estimar a produção corrente de povoamentos florestais e fazer projeções para curtos períodos de tempo, além de permitir o ajuste de equações que expressem uma condição média do povoamento (SCOLFORO, 1994).

Para estimativas de crescimento e de produção em longo prazo, bem como estimativas correntes, visando indicar a melhor opção entre diferentes tratamentos é mais indicado o uso de modelos ou sistemas de predição que, além de apontar opções silviculturais, servem para atualizar os inventários florestais. Esses modelos compreendem um conjunto de relações matemáticas, que podem ser apresentadas na forma de tabelas, sendo utilizadas para descrever quantitativamente os povoamentos (SCHEEREN, 2003).

Segundo Costas et al. (2006) a produção de uma floresta regular pode ser predita por modelos matemáticos, cujas variáveis preditivas mais usadas são a idade, a densidade e a qualidade do sítio expressa pelo índice de sítio.

Para Clutter et al. (1983), os métodos para predizer o crescimento de florestas são baseados no conceito de que o crescimento e a produção de povoamentos de uma dada espécie, ou composição de espécies, são influenciados por quatro fatores:

- a) Idade do povoamento ou a distribuição da idade em povoamentos inequiâneos;
- b) a capacidade inata de produção da área envolvida;
- c) a suposição de que esta capacidade inata tem sido e é plenamente utilizada;
- d) tratamentos silviculturais aplicados.

2.4 Crescimento dos componentes da árvore

As dimensões de uma árvore (diâmetro, área basal, altura e volume) variam devido a seu desenvolvimento e, como consequência destas mudanças, sua forma também se modifica com o passar do tempo.

2.4.1 Crescimento em diâmetro e área basal

Segundo Aranda (2003) o crescimento em diâmetro refere-se ao aumento da espessura de uma árvore em um determinado período de tempo. O mesmo é também denominado de crescimento secundário. Este crescimento é influenciado, principalmente, pelo espaçamento e pelos mesmos fatores apresentados para a altura e não é igual ao longo de todo o tronco da árvore.

Um dos fatores que mais influencia no crescimento em diâmetro de uma árvore é a silvicultura aplicada e, concretamente, o manejo da densidade da massa, que se regula mediante as operações de desbastes. As densidades baixas favorecem o crescimento diametral das árvores ao diminuir a competição entre os indivíduos (ARANDA, 2003).

Os mesmos fatores que favorecem o crescimento do diâmetro também favorecem o crescimento da área basal, porém, o incremento da área basal é diferente do incremento do diâmetro. Isto ocorre porque o incremento da área basal depende de dois fatores: do incremento em diâmetro e do diâmetro no início do ano (BURGER, 1980).

Schneider (1993) afirma que o diâmetro e a área basal da árvore são parâmetros extremamente afetados pela densidade do povoamento. Por conseguinte, após um desbaste, árvores de uma mesma classe diamétrica, em curto espaço de tempo, podem ingressar em classes diamétricas superiores.

O incremento da área basal do povoamento depende do incremento das áreas basais das árvores e do número destas. A área basal aumenta significativamente até o momento em que os indivíduos começam a competir entre si. Assim, um desbaste que elimina elevado número de árvores proporciona um

grande incremento das áreas basais individuais, mas se o incremento das remanescentes não compensa a perda da área basal das árvores abatidas, esta área diminui. A diminuição da área basal é devida, também, à alta densidade, à competição e à mortalidade (BURGER, 1980; SCHNEIDER, 1986).

Schneider et al. (1993) citam, ainda, que essa redução em área basal total pode ser resultado da redução de produção fotossintética, limitação da quantidade de água e nutrientes absorvidos por cada indivíduo, e da falta de desenvolvimento do sistema radicular.

Assim, tratando-se de povoamentos equiâneos, a área basal da floresta é relativa ao diâmetro médio das árvores e à densidade populacional, sendo que maiores densidades acarretam valores de área basais mais elevados, até o instante em que o povoamento entra em competição, o que causa uma redução no incremento diamétrico e, por consequência, no incremento em área basal. A área basal é influenciada pela qualidade do sítio e pela idade, da seguinte forma (SCHNEIDER, 1993):

- a) em sítios bons ocorre uma rápida taxa inicial maior de crescimento;
- b) em povoamentos maduros, a taxa de crescimento em área basal tende a permanecer constante;
- c) uma pequena melhora na qualidade de um sítio empobrecido ocasiona um notável incremento no acúmulo de área basal.

2.4.2 Crescimento em altura

Campos et al. (1985) e Finger (1992) afirmam que a altura da árvore é uma importante variável dendrométrica para estimar, junto com o diâmetro, o volume de madeira da árvore e seus componentes. Torna-se, também, necessário conhecer a medida de altura para a interpretação do processo de crescimento e incremento volumétrico, sendo que fornece importante subsídio à classificação de sítios (CAMPOS et al., 1985).

Campos (1985) e Finger (1992) comentam que esta variável tem importância fundamental no estudo dos sítios, isto é, quando se quer descrever o comportamento e desenvolvimento de uma espécie, associados a um determinado

local e analisada junto com a idade, sendo muito importante no manejo florestal, pois relaciona o crescimento das árvores com os fatores ambientais.

A altura dominante é a variável dendrométrica que melhor se enquadra aos requisitos propostos por Burger (1980), que são:

- a) Facilidade de determinação a campo;
- b) possuir boa correlação com a produção volumétrica;
- c) indicar a qualidade do sítio para todas as idades do povoamento;
- d) ser independente da densidade do povoamento.

Golfari (1971) apud Doldán (1987) ressalta a importância de ter a altura como índice orientador, considerando que seu incremento não está, dentro de certos limites, influenciado pela densidade do povoamento. Já, Garcia (1994) considera que a altura dominante de um povoamento, dentro de certos limites é pouco afetada pela manipulação da densidade do talhão, mediante desbaste e espaçamento inicial, ou pelas podas.

Segundo Assmann (1970), o crescimento em altura das árvores segue um curso regular, em conformidade com certas leis naturais. Na curva de incremento em altura ocorrem dois pontos de inflexão e um ponto de culminação, que acontecem na mesma idade que o ponto de inflexão na curva de crescimento. O mesmo observou que a culminação do incremento corrente anual, em altura, ocorre mais cedo nos melhores sítios, comparando com os sítios de pior qualidade.

A relação matemática entre as variáveis dendrométricas altura e diâmetro de uma árvore, é denominada de relação hipsométrica. A determinação da altura de uma árvore em função de seu DAP, em várias circunstâncias, será a única possibilidade de poder definir a correspondente estrutura vertical do povoamento (ENCINAS et al., 2005).

Aranda et al. (2005) consideram que a estimação precisa da relação altura-diâmetro é importante, depois da altura, sendo a variável mais difícil e de preço elevado de medir no campo do que o diâmetro, e que, geralmente, mede-se em uma amostra de árvores.

Arias (2004) cita que as relações altura-diâmetro, para qualquer espécie, dependem da qualidade do sítio e da densidade do talhão. Portanto os modelos baseados unicamente nessas duas variáveis são específicos para cada talhão.

A relação hipsométrica, mesmo em povoamentos de mesma idade, varia com a qualidade do sítio e com a densidade. Em tais circunstâncias, uma única relação

hipsométrica, ajustada para todo o povoamento, englobaria muitas relações diferentes, resultando em alta variabilidade em torno da linha de regressão da altura sobre o diâmetro (PRODAN et al., 1997).

Segundo Gadow et al. (2001) apud Aranda et al. (2005) a heterogeneidade de condições de sítio e a diferente silvicultura das florestas prova que uma única equação altura-diâmetro não se ajusta bem a todas as situações e, assim, a relação deveria ser estabelecida de forma individual para cada talhão e por classes de idades. Uma prática alternativa é empregar uma relação hipsométrica geral, para prever a altura de cada árvore, utilizando o diâmetro da árvore e uma, ou diversas variáveis independentes, como a altura média ou dominante, diâmetro médio quadrático, diâmetro dominante, número de árvores por hectare, área basal, idade, etc., que considerem algumas características básicas, inerentes a todas as regressões de altura locais, e representem cada parcela ou talhão individual.

Azevedo et al. (1999), em seu estudo sobre a relação hipsométrica para 4 espécies nativas em plantio homogêneo, situadas na Amazônia ocidental e, 4 idades, considerou a possibilidade de utilização de uma única equação de regressão ($\frac{d}{\sqrt{h}} = b_0 + b_1.d$) para todas as idades, testando a identidade dos modelos para verificar se o conjunto de equações hipsométricas por idade, para cada espécie, poderiam ser representadas pela equação comum. Considerando que a hipótese da nulidade foi rejeitada, verificou que não deve ser utilizada uma equação comum, concluindo que a relação altura/diâmetro varia de acordo com a idade do povoamento. Este autor obteve valores de coeficiente de determinação entre 61,8 e 97%, e um coeficiente de variação entre 4 e 10,2%, utilizando a equação citada.

Assim, Encinas et al. (2005) afirmam que em florestas de rápido crescimento, para inventários sucessivos, não se deve utilizar a mesma relação, mas sim refazê-la a partir de novos dados.

Por isso, um procedimento usado em inventários florestais para solucionar esse problema tem sido o ajuste de equações independentes para cada unidade amostral ou, então, para cada grupo homogêneo de parcelas em termos de idade, sítio e densidade. Dependendo dos fatores considerados, a curva dessa relação pode variar quanto à forma, inclinação e origem (intercepto) (BARTOSZECK, et al., 2004).

Finger (1992) e Encinas et al. (2005) citam que, para árvores dominantes, tem-se uma relação h/d, que tende a ser menor que em condições de maior competição de árvores.

Aranda et al. (2005) selecionou o modelo modificado de Gaffrey (1988) para o estudo da relação altura-diâmetro de *Pinus sylvestris* L., expresso por:

$$h = 1,3 + (h_0 - 1,3) \cdot e^{b_1 \cdot \left(\frac{1}{d_0} - \frac{1}{d}\right)}$$
, considerando o diâmetro (d), o diâmetro dominante (d₀) e a altura dominante (h₀) como variáveis independentes suficientes para explicar a maior parte da variabilidade dos dados de altura empregados.

Jorge (1983) apud Drescher (2004) testou várias equações de regressão para descrever a relação hipsométrica de *Pinus elliottii* Engelm., utilizando-se 150 árvores, compreendidas entre 20 e 40 centímetros de diâmetro à altura do peito, selecionando como melhor modelo: $h_{1,30} = b_0 + b_1 \cdot d + b_2 \cdot d^2 + b_3 \cdot d^3$, obtendo um coeficiente de determinação de 89,8% e um erro padrão de estimativa de 3,9%.

Drescher (2004) encontrou que a equação que melhor expressa os valores de relação hipsométrica para *Tectona grandis* Linn. F. foi $\sqrt{h} = b_0 + b_1 \cdot d + b_2 \cdot \ln^2 \cdot d$, apresentando um coeficiente de determinação de 90% e um erro padrão da estimativa de 4,9%.

Winckler et al. (2002) verificaram em seu trabalho que a equação $\log h = b_0 + b_1 \cdot \frac{1}{d} + b_2 \cdot 1/t + b_3 \cdot 1/d \cdot t$ foi mais indicada para determinar a relação hipsométrica de *Acacia mearnsii* com diferentes idades, obtendo um coeficiente de determinação de 83%, e um erro padrão da estimativa de 0,07%.

Costas et al. (2005) utilizaram a equação de Prodan ($h = b_0 + b_1 \cdot \log d$) para prever as alturas não medidas de árvores de cada parcela em povoamentos de *Pinus taeda* L. de sete anos, em Mi0siones, Argentina.

Machado et al. (1993) testando modelos de relação hipsométrica em diferentes sítios e idades para *Pinus elliottii* Engelm. no Paraná, concluíram que o sítio exerceu um efeito moderado sobre a relação hipsométrica, sendo significativo apenas entre classes de sítio mais afastadas.

Cardoso (1989) apud Bartoszeck et al. (2004), avaliou a influência da idade sobre a curva hipsométrica constatando forte efeito, tanto sobre os coeficientes b₀ (interseção) quanto sobre as inclinações das linhas de regressão (coeficiente b₁).

Bartoszeck et al. (2004) avaliou os efeitos da idade, sítio e densidade nas curvas de relação hipsométrica de povoamentos de bracatinga, usando a técnica da análise de covariância para testar o paralelismo em quanto aos interceptos das equações aplicadas. Este autor utilizou o modelo de Curtis ($\ln h = b_0 + b_1 \cdot \frac{1}{d}$) na obtenção da relação hipsométrica constatando a influência significativa dos fatores idade e sítio nessa relação e observando um comportamento das curvas similares entre os dois fatores mencionados.

Mainardi (1995), estudando a relação hipsométrica em *Pinus taeda* L., observou que o ajuste de uma única equação, para todas as unidades amostrais, resultou em um modelo que superestimou ou subestimou a variável dependente em alguns casos. O autor observou que o fato ocorreu devido a grande amplitude dos dados amostrados, bem como a variação de sítio, estado de manejo dos povoamentos. Portanto, o mesmo, considerou em minimizar o problema, aplicando uma equação de regressão para cada grupo.

Floriano (2004) observou em seu estudo de *Pinus elliottii* Engelm. que nenhuma das equações testadas para a relação hipsométrica, apresentaram bom ajustamento para todas as idades em todos os tratamentos. Entretanto, o uso de uma equação conjunta para todos os tratamentos resultou em um ajuste razoável em quase todos os casos. O autor observou, também, que as equações testadas evidenciam a grande variação existente em cada idade. Este fato é um indicativo da provável necessidade de estimar uma equação por parcela em inventários florestais, e, reforça a necessidade do ajuste de uma equação para cada tratamento neste experimento.

Floriano et al. (2006) e Aranda et al. (2005) comentam que, para ajustar modelos de altura, pode-se utilizar funções lineares, logarítmicas, como não-lineares linearizáveis e não-linearizáveis.

Segundo Arias (2004) quando se incorporam variáveis do talhão, dentro de um modelo, para prever alturas individuais, o poder de predição do modelo melhora significativamente.

2.5 Volume

A estimativa do volume de árvores individuais é um dos primeiros passos para a obtenção do volume de um povoamento que, na maioria dos casos, é o objetivo principal de um inventário florestal (TONINI et al., 2002c).

Para Prodan et al. (1997), o volume representa a produção potencial de matéria sólida de um povoamento, sendo caracterizado pelo meio ambiente e pela atividade florestal empregada. Estes autores consideram que a estimativa do volume, dentro da dendrometria e do inventário florestal, pode ser um problema relevante, sendo necessário utilizar expressões matemáticas que permitam estimar o volume da árvore sobre uma base de medições simples.

Segundo Machado et al. (2002), o procedimento mais comum utilizado na estimativa de volumes por árvore é o emprego de equações em que o volume constitui a variável dependente, estando as variáveis independentes comumente representadas pelo DAP com casca e a altura total ou altura comercial. Uma terceira variável independente que, eventualmente, pode ser usada em equações volumétricas, é um termo que expressa a forma do fuste, normalmente o quociente de forma.

Segundo Conceição (2004), muitos modelos matemáticos foram criados e testados para o ajuste de equações de volume. Apesar de o uso ter consagrado alguns desses modelos, nenhum deles será sempre o de melhor performance para todas as espécies e condições. Por isso, é recomendável testar vários deles para, através de análises estatísticas, identificar o melhor para cada caso.

A escolha de equações é uma fase importante no trabalho do inventário florestal, já que qualquer erro de tendência na estimativa do volume por árvore terá reflexos na estimativa da população, causando uma sub ou sobre avaliação do volume (CAMPOS et al., 1985).

Moser e Beers (1969) apud Conceição (2004) afirmam que a vantagem básica da aplicação de fórmulas volumétricas logarítmicas é que a heterogeneidade de variância dos volumes é grandemente minimizada.

Campos et al. (2002) comentam que o modelo de volume de Schumacher e Hall (1933) tem sido o mais difundido, talvez por suas propriedades estatísticas, uma vez que resulta quase sempre em estimativas não-tendenciosas. O mesmo autor

comenta, também, que a grande difusão do modelo de Spurr (1952) deve ser atribuída mais à facilidade de ajustamento, pois, com freqüência, volumes de árvores menores são estimados com imprecisão. Por fim, o modelo proposto por

Leite et al. (1995) é representado por: $v = b_0 \cdot dap^{b_1} \cdot h^{b_2} \cdot e^{\frac{b_3 \cdot t_x}{dap}} \left[1 - \left(\frac{d_i}{dap} \right)^{1+b_4 \cdot d_i} \right]$. Este

modelo engloba as propriedades estatísticas do modelo de Schumacher e Hall (1933), mais as propriedades de estimar com uma só equação os volumes total e comercial, com ou sem casca. O modelo tem como variáveis independentes, além do diâmetro a altura do peito (DAP) e da altura total (h), o valor "0" ou "1" para volume com e sem casca (t_x) e o diâmetro a uma altura específica (d_i).

Schneider e Oesten (1999) utilizaram a equação de Schumacher e Hall, representada por $\ln v = -4,04114 + 1,99755 \cdot \ln d + 0,74005 \cdot \ln h$, na elaboração de tabelas auxiliares para o manejo de *Pinus elliottii* Engelm. para a região no Planalto Médio do Rio Grande do Sul.

Jorge (1982) apud Conceição (2004), ajustando e comparando oito modelos de estimativa volumétrica para a Floresta Tropical Pluvial Norte do Espírito Santo, selecionou as equações de Schumacher e Hall e a equação de Prodan para prognosticar os volumes comerciais dos troncos com casca, afirmando que as mesmas podem ser usadas para estimar os volumes comerciais com casca.

Para descrever o volume das árvores, Couto e Vettorazzo (1999) testaram o ajuste das seguintes funções $v = b_0 + b_1 \cdot d$; $v = b_0 + b_1 \cdot d^2$; $v = b_0 + b_1 \cdot d^2 \cdot h$; $v = b_0 + b_1 \cdot d^2 + b_2 \cdot h + b_3 \cdot d^2 \cdot h$; $\ln v = b_0 + b_1 \cdot \ln d$; $\ln v = b_0 + b_1 \cdot \ln d^2 \cdot h$; $\ln v = b_0 + b_1 \cdot \ln d + b_2 \cdot \ln h$ para volume de *Pinus taeda* L. tendo baixos erros padrão da estimativa e altos coeficientes de determinação para todas as equações, escolhendo como melhor o modelo de Spurr, sendo representado por: $v = b_0 + b_1 \cdot d^2 \cdot h$ para um povoamento com 6 anos de idade, e o modelo: $v = b_0 + b_1 \cdot d^2$ para o mesmo com 11 anos.

Para as estimativas de volume de *Pinus elliottii* Engelm., Schneider et al. (1999) selecionaram a equação $\log v = b_0 + b_1 \cdot \log d + b_2 \cdot (\log d)^2 + b_3 \cdot \log h + b_4 \cdot (\log h)^2$, como a melhor.

Hess et al. (2007) utilizaram o modelo de Prodan para determinar o crescimento do volume em função do diâmetro e da altura na espécie *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze.

Machado et al. (2002) selecionaram o modelo desenvolvido por Meyer para estimar o volume individual de plantações de *Pinus oocarpa*, sendo o modelo citado representado da seguinte forma: $v = b_0 + b_1 \cdot d + b_2 \cdot h + b_3 \cdot d^2 + b_4 \cdot (d^2 \cdot h) + b_5 \cdot (d \cdot h)$, tendo bom ajuste segundo o coeficiente de determinação ajustado e o erro padrão da estimativa e a análise de resíduos.

Para obter volumes individuais da cubagem de *Pinus pinaster* Ait, Irisarri et al. (2001) testaram os modelos de Zöhrer (1980) e Salas (2000) sendo representados por $\ln v = b_0 + b_1 \cdot \ln d + b_2 \cdot \ln h + b_3 \cdot \ln d^4$ e $\ln v = b_0 + b_1 \cdot \ln d + b_2 \cdot \ln h + b_3 \cdot \ln d^2 \cdot h$ obtendo ambos um coeficiente de determinação de 98 %.

Salas et al. (2005) ajustaram as equações de volume de Meyer (1953), Manosalva (1995), Spurr (1952), Schumacher e Hall (1933), Zöhrer (1980) e Salas (2002) para estimar o volume de árvores individuais de *Pinus pinaster* Ait. (pino gallego) em Galicia (Espanha).

Salas et al. (2005) utilizaram a equação de volume $\ln v = -8,3811 + 1,8491 \cdot \ln d + 0,6257 \cdot \ln h + 0,00000 \cdot d^2 \cdot h$ para estimar o volume de árvores individuais de *Pinus pinaster* Ait. (pino gallego) na Galicia (Espanha), obtendo uma raiz do erro quadrático médio de 7,8% e um erro de 0,3%.

Thomas et al. (2006) compararam estimativas de volume com casca para povoamentos de *Pinus taeda* L., no município de Ponte Alta do Norte, Santa Catarina, obtidas com equações originadas partindo de dados da cubagem com casca e análise de tronco sem casca respectivamente. Para este estudo, o autor testou as equações de Spurr, Hohenadl e Krenn, Storate, Näslund, Meyer, Meyer (Mod.) e Schumacher e Hall.

Para estimar o volume com casca de árvores individuais de *Pinus taeda* L., nas zonas alta e norte da Província de Misiones, Argentina, a partir de dados de cubagem, Keller et al. (2006) testaram os modelos de Prodan modificado, Schumacher e Hall, Spurr logaritmizado, Storate, Näslund e Meyer.

Floriano (2004) em seu trabalho sobre *Pinus elliottii* Engelm. estimou o volume aplicando a equação de Storate, representada por: $v = b_0 + b_1 \cdot d^2 + b_2 \cdot d^2 \cdot h + b_3 \cdot h$ que apresentou boa distribuição de resíduos, um coeficiente de variação de 10,8 % e um coeficiente de determinação ajustado de 91%.

Schneider e Tonini (2003) desenvolveram equações de volume, com o uso de variáveis Dummy para povoamentos de *Acacia mearnsii* De Wild. em três locais

(Fazendas Treze, do Posto e Dona Bernarda). A finalidade de ajustar as equações, para cada local, foi a de identificar diferenças de crescimento das árvores entre locais, minimizando, assim, erros de estimativa de volume. Os resultados indicaram que existe uma sobreposição das curvas de volume total com casca entre as Fazendas Dona Bernarda e do Posto, indicando que os dados, nessas fazendas, poderiam ser agrupados, originando uma equação comum. Já na Fazenda do Treze, perceberam um maior crescimento.

Mainardi (1995) encontrou, em seu trabalho sobre produção de uma floresta de *Pinus taeda* L., na região de Cambará do Sul, RS, que o volume por hectare cresceu à medida que aumentou o potencial do sítio e a idade. O autor observou, também, que nos melhores sítios o crescimento apresentou-se mais acentuado que nos sítios menos produtivos. O autor constatou que o ponto culminante do IMA, independente do sítio, foi atingido após os 16 anos de idade.

2.6 Fator de forma

Prodan et al. (1997) Aranda (2003) e Conceição (2004) afirmam que a determinação do fator de forma artificial ou natural se constitui numa importante prática, quando se pretende estimar o volume individual de árvores.

Aranda (2003) afirma que as mudanças na forma da árvore derivam das variações nas dimensões do diâmetro e de altura com o passar do tempo, que dependem fundamentalmente da competição entre as árvores da floresta e das características de sítio, assim como de algumas operações silviculturais como desbastes e podas.

Segundo Finger (1992), o fuste das árvores apresenta formas variadas em razão do meio ambiente, espécie, idade, manejo e de sua aptidão genética.

A incorporação dessas características, nos modelos que descrevem o perfil de tronco, pode se dar pela qualidade do sítio (CLUTTER et al., 1983).

O ato de estimar o fator de forma através de regressão deve ser feito em função do diâmetro a altura do peito e da altura total (SCHNEIDER, 1993).

O fator de forma pode ser real ou verdadeiro, e falso ou artificial, dependendo da altura que for medido o diâmetro do cilindro de referência. Fato idêntico ocorre

com os quocientes de forma (KUNTZE apud PRODAN et al., 1997, ARANDA, 2003 e CONCEIÇÃO, 2004).

O fator de forma absoluto, bem como o fator de forma natural, são fatores de redução pelo qual o produto da área basal pela altura da árvore (volume do cilindro de referência), deve ser multiplicado para obtenção do volume da árvore (LOESTCH et al., 1973 apud CONCEIÇÃO, 2004)

Segundo Piennar apud Figueiredo Filho et al. (1993), a relação do fator de forma natural com a idade mostra que a melhora da forma nas idades jovens é bastante rápida, estabilizando-se com o passar do tempo. Normalmente, o que ocorre é que as árvores jovens têm uma copa comprida e uma forte conicidade.

Segundo Loetsch et al. (1973), citado por Machado e Nadolny (1991), o $f_{1,3}$ denominado fator de forma comum, artificial ou falso, não fornece a expressão verdadeira da forma do fuste, tendo em vista que, a expressão matemática de cálculo, induz que árvores de formas geométricas idênticas, mas de diferentes alturas, produzem diferentes fatores de forma ($f_{1,3}$), o que é causado em parte pela influência de sapopemas, que nas árvores mais velhas e mais grossas excedem a região da altura do peito. Por outro lado, a própria posição fixa da base do cilindro, sempre a 1,30 m a partir do colo da árvore, induz a erros, principalmente em árvores baixas, podendo, inclusive, o volume real ser maior que o volume do cilindro, resultando, portanto, $f_{1,3}$ maior do que 1, o que é uma irrealidade induzida pela fórmula de cálculo do $f_{1,3}$, do qual resulta o termo fator de forma falso ou artificial.

Machado e Nadolny (1991) comentam que para evitar este inconveniente, Hohenadl em 1936, propôs uma altura relativa de 1/10 da altura total da árvore a ser usada como base do cilindro de referência. Esta altura é consideravelmente uma quantidade mais eficiente e real para descrever a forma da árvore. Além disso, diâmetros tomados em posições relativas são mais altamente relacionados com o volume do que o DAP. O DAP é uma informação pobre sobre a árvore, tendo em vista que ele está quase sempre a uma altura afetada por sapopemas, ou situado na região em que a árvore ainda tem forma de neilóide.

Friedl (1989) apud Conceição (2004) afirma que, nas idades jovens, a mudança da forma é bastante rápida, enquanto que nas idades avançadas, a forma das árvores muda levemente. A taxa de mudança de forma da árvore, devido à

idade, pode variar entre as diferentes classes de copas, ou posições sociológicas dentro do mesmo povoamento.

Segundo Aranda (2003) a mudança na forma é difícil de quantificar e, geralmente, caracteriza-se pela variação do coeficiente mórfico. De todas as formas, para intervalos de crescimento curtos, pode-se supor que a mudança na forma é muito pequena e, portanto, usualmente não se quantifica.

Drescher et al. (2001) constataram no seu estudo, que árvores de *Pinus elliottii* Engelm., com diâmetros inferiores a 5 cm, apresentaram fatores de forma maiores que 0,6, e diminuíram com o aumento do diâmetro, até permanecerem aproximadamente constantes em 0,5 nos maiores diâmetros, comprovando, assim, a tendência das árvores que com o tempo começam a incrementar em diâmetro, adquirindo uma forma mais cilíndrica.

Machado e Nadolny (1991) estudando o comportamento do fator de forma em plantações de *Pinus taeda* L., no estado do Paraná, verificaram que existe uma tendência do fator de forma natural crescer com o aumento das alturas dentro de uma mesma classe de DAP, enquanto o fator de forma artificial tende a decrescer. Os autores concluíram que o fator de forma artificial induz a um fator irreal de correção do volume cilíndrico para o volume da árvore, notadamente para árvores jovens e baixas. Já o fator de forma natural demonstra com maior fidelidade a real forma da árvore, independentemente de suas dimensões e de sua idade.

Mainardi (1995) utilizou em seu estudo sobre *Pinus taeda* L. a equação de $f = b_1 \cdot \frac{1}{h} + b_2 \cdot \frac{h}{d} - b_3 \cdot \frac{h}{d^2}$ para o desenvolvimento do fator de forma, em função da altura e do diâmetro. O autor constatou que o fator de forma decresce com o aumento da idade e com execução de desbastes.

Drescher et al. (2001), estudando o fator de forma artificial em *Pinus elliottii* Engelm., obtiveram o modelo $f = b_0 + b_1 \cdot \left(\frac{d_{03}h}{d^2}\right) + b_2 \cdot (d_{03}h \cdot d_{05}h) / d^2 + b_3 \cdot \left(\frac{d_{05}h}{d}\right)^2$ como melhor equação.

Scheeren (2003) em seu estudo sobre *Eucalyptus saligna* Smith., utilizou a equação de Prodan para testar o fator de forma artificial para os modelos: $f = b_0 + b_1 \cdot \left(\frac{d_{03}h \cdot d_{05}h}{d^2}\right) \cdot \left(\frac{d_{03}h}{d}\right)^2 + b_2 \cdot \frac{d_{03}h}{d^2} + b_3 \cdot \frac{h}{d^2}$; $f = b_0 + b_1 \cdot \ln d + b_2 \cdot \ln d_{03}h + b_3 \cdot \frac{1}{d^2}$ respectivamente obtendo um valor de 78 e 90% de coeficiente de determinação e um coeficiente de variação entre 2,5 e 3,6%.

2.7 Análise de tronco

A análise de tronco (ANATRO) é uma técnica que possibilita o registro do crescimento passado de uma árvore (Husch et al., 1982), mediante a contagem e medição dos anéis de crescimento de seções transversais, tomadas a diversas alturas no tronco e permitindo o emprego de árvores já maduras para obter informações de árvores velhas e novas (CAMPOS et al., 2002).

Segundo Barusso (1977) e Finger (1992), entende-se por análise de tronco, a análise de certo número de seções transversais retiradas do tronco de uma árvore, para determinar seu crescimento e qualidade, em diferentes períodos de sua vida.

Trata-se de um procedimento empregado para estudar a história do crescimento em diâmetro e altura de uma árvore, reconstruindo o perfil do tronco da árvore desde sua fase jovem até a idade da análise, principalmente para aquelas espécies que apresentam anéis de crescimento visíveis. Esta técnica permite calcular qualquer parâmetro do tronco a distintas idades (diâmetro a diferentes alturas, área basal, volume total ou comercial, crescimento em diâmetro, em altura ou em volume, etc.) (FINGER, 1992; CAMPOS et al., 2002; ARANDA, 2003; ENCINAS et al., 2005).

Até certo ponto, as análises de tronco substituem o emprego de parcelas permanentes como fonte de dados para estudos de crescimento e produção florestal, sendo uma restrição o emprego em espécies onde os anéis de crescimento são anuais e bem distintos (CAMPOS et al., 2002).

Rigozo e Nordemann (2000) apud Rosot et al. (2003) desenvolveram um novo método interativo de análise de imagens para determinar a espessura dos anéis de crescimento. O sistema utiliza um computador, um scanner de alta resolução para adquirir as imagens das fatias em formato digital em programa desenvolvido no ambiente IDL (Interactive Data Language) 5.0 (ENVI) (The Environment for Visualizing Images) que lê e realça as imagens. Os autores citam como vantagem do emprego da técnica fotográfica, a redução de tempo na coleta dos dados, a eliminação da necessidade de transporte de grandes quantidades de material ao laboratório e a diminuição de problemas associados à contração radial das fatias.

Enquanto o método tradicional expressa o volume seco da árvore, a ANATRO digital obtém resultados relativos a diâmetros, áreas basais e volumes “verdes”, que

são efetivamente encontrados quando por ocasião da medição de árvores na floresta e refletem, portanto, situações mais próximas da realidade. Nas empresas florestais a análise de tronco tem sido utilizada, principalmente, para verificação das taxas de incremento médio da floresta, para avaliação da reação do crescimento a tratos culturais ou a determinadas práticas de manejo, bem como para o desenvolvimento de equações de índice de sítio (ROSOT et al., 2003).

2.8 Classificação de sítios florestais

Davis e Johnson (1987) citam a definição de sítio dada pela Sociedade Americana de Engenheiros Florestais, como uma área considerada segundo os seus fatores ecológicos em relação a sua capacidade de produzir florestas, ou outra vegetação, sob a combinação de condições biológicas, climáticas e edáficas.

Spurr (1952), Burger (1980), Scolforo (1997) e Campos et al. (2002) confirmam essa definição, indicando que a qualidade do sítio é a soma total dos fatores edáficos, topográficos, biológicos e climáticos, volume do povoamento e altura dominante, que afetam o crescimento das árvores.

Cole e Gessel (1988) apud Doldán (1987), afirmam que para os ecólogos florestais, sítio é uma unidade geográfica uniforme caracterizada por uma combinação estável dos seus fatores ecológicos; e para os manejadores de florestas, é uma unidade de produção primária, capaz de produzir madeira e outros produtos florestais.

Para Scolforo (1997), a qualidade do sítio florestal é considerada como a capacidade produtiva da terra ou propriedade florestal, sendo obtida normalmente através de medições.

Prodan et al. (1997) fazem a relação sítio/capacidade/qualidade, afirmando que: “A qualidade de um sítio define a capacidade de uma área determinada para o crescimento de árvores. É a resposta, ao desenvolvimento de uma determinada espécie, a totalidade das condições ambientais (edáficas, climáticas e bióticas) existentes em um determinado lugar”.

Segundo Tonini et al. (2002a) a estimativa da qualidade do sítio florestal pode ser feita seguindo dois caminhos: primeiro, considerando uma localidade ou área

que simplesmente suporta árvores em crescimento sem considerar diretamente as características do sítio e, o segundo, considerando a capacidade da área ou localidade em sustentar o crescimento, em que características do sítio como clima, solo e vegetação são consideradas.

Para Clutter et al. (1983) os métodos de classificação de sítios podem ser divididos em diretos e indiretos, sendo que os métodos diretos requerem a existência atual ou no passado de espécies de interesse no local onde a qualidade será avaliada. Os métodos diretos dividem-se em: a) estimativação pelo histórico da produção; b) estimativação baseada em dados de volume do povoamento, e c) estimativação baseada em dados de altura do povoamento. Já, os métodos indiretos dividem-se em: a) estimativação pelas relações inter-espécies; b) estimativação pelas características da vegetação inferior, e c) estimativação pelos fatores topográficos, climáticos e edáficos.

Para Davis e Johnson (1987) a qualidade do sítio também se refere à quantidade de madeira que uma floresta potencialmente pode produzir, e que existem três métodos indiretos utilizados na classificação de sítio: através de índice de sítio, vegetação ou solo.

O conhecimento da capacidade produtiva do sítio de crescimento para a espécie ou espécies de interesse, traduzidas pela altura, diâmetro, volume, com base nos seus incrementos e, no comportamento da espécie ao longo do tempo, permitem prever a produção futura da área estudada (FINGER, 1992).

Tonini et al. (2002a) comentam que a capacidade produtiva de um sítio é melhor avaliada pelo volume total que o povoamento produz. No entanto, em casos nos quais a produção de desbastes intermediários não é conhecida, o volume total produzido no sítio não pode ser determinado, sendo que o procedimento utilizado para a solução desse problema é o estudo das relações entre altura dominante, idade e volume.

Sabe-se que a capacidade produtiva está baseada na altura das árvores dominantes em relação à idade do povoamento, tendo como base uma idade próxima à rotação da cultura (idade índice) e, determinando o número de curvas que deverão cobrir toda a variação entre o menor e o maior crescimento em altura dominante observado no povoamento (SCHNEIDER, 1993).

Segundo Carmean (1975) o índice de sítio é somente um índice da capacidade de crescer de certa espécie de árvore sobre vários tipos de terras

florestais. Estes índices servem para orientar o inventário florestal, na construção de tabelas de produção, no estudo de variedades de espécies e na adoção de técnicas de manejo florestal em povoamentos não manejados como manejados (CARMEAN, 1975; TONINI et al., 2002a).

Curtis et al (1974) apud Doldán (1987) afirmaram que estimativas de índice de sítio baseadas sobre equações de crescimento em altura são obviamente muito mais variáveis a idades jovens.

Ao comparar índices de sítio de lugares diferentes, deve-se assegurar que as idades-índice sejam as mesmas, porque um índice de local, baseado numa certa idade-índice, não pode ser comparado com outro que foi determinado para outra idade-índice. No entanto, uma tabela de índices de sítio pode ser modificada para uma nova idade-índice, a partir de alterações na equação de índice de sítio (CAMPOS et al., 2002).

Segundo Clutter et al. (1983) os dados para o desenvolvimento de equações de índice de sítio são obtidos basicamente de três fontes: a) medições de alturas em parcelas temporárias; b) medições de alturas em parcelas permanentes; c) análise de tronco.

As parcelas temporárias são consideradas como o método mais barato de obtenção de dados para a confecção de curvas de índice de sítio. Porém, o uso destes dados envolvem o pressuposto que todos os índices de sítio estão representados em todas as classes de idade, o que geralmente é falso, pois sítios bons produzem volume mais rapidamente do que sítios ruins e, portanto, atingem um determinado volume mais cedo, o que implica em uma rotação mais curta e uma super-representação dos piores sítios nas maiores classes de idade (CLUTTER et al., 1983).

Clutter et al. (1983) afirma que, as remedições de parcelas permanentes e a análise de tronco proporcionam dados com praticamente a mesma qualidade, sendo que a análise de tronco disponibiliza os dados de forma imediata, o que não acontece com as parcelas permanentes onde os dados ficam disponíveis somente após um determinado período de tempo a partir da instalação das parcelas.

Uma vez que a interação dos fatores ambientais é expressa na vegetação, podem-se buscar parâmetros de crescimento que indiquem a qualidade do sítio na própria vegetação. Nesse sentido, Hägglund (1981) apud Doldán (1987) e Encinas et al. (2005) afirmam que a razão para usar a altura dominante como indicador da

produtividade do sítio, é por ser ela pouco influenciada pela densidade do povoamento.

A altura dominante (h_{100}) tem sido largamente usada, principalmente como um meio para identificar a capacidade produtiva de áreas florestais. Por serem pouco afetadas por tratamentos silviculturais, as árvores dominantes refletem melhor a qualidade do sítio. Por isso, têm sido muito usadas na construção de curvas de índice de sítio. Além disso, existe boa correlação entre altura dominante e a produção total em volume do povoamento (CARMEAN, 1975).

Árvores medidas para avaliação de qualidade de sítio devem ser livres de supressão (efeito de dominância) e danos, cuja copa se situa no dossel superior, recebendo luz direta. São árvores sadias, livres de doença, com copa e fuste bem definido, sem bifurcação e tortuosidade, com DAP e alturas maiores que os das árvores circunvizinhas (CAMPOS et al., 2002).

Sempre o interesse principal é avaliar o volume de madeira produzido. No entanto, além da idade, o crescimento em volume depende tanto da densidade do povoamento como da qualidade de sítio. Como uma medida que somente seja influenciada pelos fatores do sítio, numerosos pesquisadores tem demonstrado que a altura de árvores dominantes de um povoamento coetâneo preenchem estes requisitos (ZÖTTL et al., 1971 apud DOLDÁN, 1987).

Para Schneider (1993), os principais objetivos da avaliação da qualidade dos sítios são: a) estimativa do rendimento dos povoamentos; b) planejamento e execução de trabalhos de pesquisa; c) programação e execução dos trabalhos de manutenção das plantações existentes; d) extensão da classificação da qualidade do sítio em áreas a serem plantadas para a seleção adequada de espécies. Segundo o autor, a avaliação da qualidade do sítio pode ser feita com base em fatores do meio e com base em certos parâmetros da vegetação, sendo que, ainda, existe uma controvérsia em relação de qual método é o melhor.

A classificação por índices de sítio constitui um método prático e consistente de avaliação da qualidade do sítio, pois todos os fatores ambientais são refletidos de modo interativo no crescimento em altura, a qual também está relacionada com o volume. Outra vantagem é a classificação ser feita por uma expressão numérica, em lugar de uma descrição qualitativa (CAMPOS et al., 2002)

O principal objetivo da classificação do sítio é ordenar os povoamentos em grupos da mesma espécie e sujeitos ao mesmo tratamento, de forma que dentro de

um grupo o desenvolvimento dos povoamentos na rotação seja igual ou pelo menos muito semelhante. Conhecendo-se a que grupo pertence um povoamento jovem, sabe-se o desenvolvimento dele até o fim da rotação (BURGER, 1980).

A classificação de sítios pode ser ampla ou específica, diferenciando-se pelo grau de especificidade, condicionado geralmente pelo número de fatores influentes no sítio analisado. O aspecto amplo inclui classificações grosseiras de sítio, estabelecendo zoneamentos para grandes regiões, com grandes intervalos de classe, sendo as espécies estudadas pela sua adaptabilidade climática e em função de classificações gerais de solo. As determinações mais específicas incluem levantamentos mais apurados, e são feitas em nível de área de uma empresa ou dentro de zoneamentos mais amplos (SCHNEIDER, 1993).

A qualidade do sítio influencia a sobrevivência, o crescimento e vigor das plantas. Assim também, a velocidade de crescimento, dependente da qualidade do sítio e também da espécie, irá influenciar na época de início da competição (CAMPOS et al., 2002).

Assim como a idade, o sítio também influencia as relações de crescimento. Desse modo, povoamentos jovens em sítios bons, mostram uma curva de altura íngreme, enquanto que em situação contrária as curvas são mais achatadas (ENCINAS et al., 2005)

Hägglund e Lundmark (1977) apud Doldán (1987), em um estudo de estimativa do índice de sítio para *Pinus silvestris* L. e *Picea excelsa* Link, na Suécia, definiram o índice de sítio como sendo a altura dominante à idade de 100 anos (h_{100}), e consideraram a altura dominante como a média aritmética das alturas das 100 árvores de maior diâmetro por hectare.

Assman (1970), referindo-se ao crescimento das árvores, em relação ao tipo de sítio, menciona que a inflexão na curva de crescimento, primeiro ocorre para sítios bons e, posteriormente para sítios ruins. Deste modo, a assintótica do incremento ocorre primeiro nos sítios bons.

Husch et al. (1982) citam o modelo proposto por Prodan como o mais comumente utilizado, com a altura dominante ou índice de sítio como a variável dependente e um número de características do solo e outras características do meio ambiente como as variáveis independentes.

Barnes e Ralston (1955) apud Doldán (1987), estudando os fatores do sítio relacionados com o crescimento e produção em plantações de *Pinus elliottii*

Engelm., utilizaram o modelo proposto por Schumacher para estimar a altura. O modelo citado é: $\log h = b_0 + b_1 \cdot \frac{1}{t}$, onde: $\log h$ = logaritmo decimal da altura dominante na plantação; t = idade; b_0 e b_1 = coeficientes a serem estimados.

Floriano et al. (2006) utilizaram o modelo de Chapman - Richards, para descrever o crescimento de alturas de árvores de *Pinus elliottii* Engelm.

Diversos trabalhos como os de Buford e Mckee (1988) apud Tonini et al. (2002a), ao relacionarem o índice de sítio para florestas de *Pinus taeda* L. com determinados fatores ambientais, concluíram que a habilidade dessas funções em predizer o crescimento foi bastante pobre. Ainda, afirmaram que, o crescimento em altura das árvores é um processo dinâmico, no qual as mudanças no solo ou outras condições ambientais acarretam variações no crescimento em altura durante a vida das árvores, sendo o índice de sítio uma medição do resultado cumulativo dessas condições de crescimento em uma idade índice.

2.9 Curvas de índice de sítio

Segundo Tonini et al. (2006), nos modelos de crescimento e produção, a capacidade produtiva do sítio florestal está relacionada à curva de crescimento em altura dominante que, por sua vez, origina as curvas de índice de sítio.

As curvas de índice de sítio constituem-se, atualmente, no método mais prático e difundido para classificar a produtividade florestal. É o método que utiliza a altura dominante, que é a resposta aos fatores ambientais interrelacionados, sendo altamente correlacionada com a produção volumétrica, não sofrendo a influência dos tratamentos silviculturais e da competição (TONINI et al., 2002a).

Tonini et al. (2006) comentam que a estabilidade dos índices de sítio, ao longo do desenvolvimento do povoamento florestal, é essencial para a acuracidade na aplicação das curvas em períodos sucessivos, e essa estabilidade é testada, comparando-se as alturas reais com as curvas de índice de sítio.

Clutter et al. (1983), afirmaram que muitos usuários das curvas de índice de sítio acreditam erroneamente que o seu objetivo é a predição das alturas do povoamento até uma idade índice, sendo que, o verdadeiro objetivo é a seleção de

padrões de crescimento em altura que se espera que o povoamento assuma durante a sua vida.

As curvas de índices de sítio são construídas a partir de equações de índices de local e, utilizadas para classificar, de modo quantitativo, a capacidade produtiva do lugar. Essas equações são derivadas de relações funcionais, envolvendo a variável dependente, altura dominante (h_{100}) e, a variável independente idade. A idade de referência (t) é escolhida arbitrariamente, mas, em geral, ela deve ser próxima da idade técnica de colheita (CAMPOS et al., 2002).

Doldán (1987) encontrou no seu estudo, mediante a análise das curvas, que os sítios bons são muito mais sensíveis às variações climáticas. Isto se demonstra com as altas variações de ano para ano nos melhores locais, ocorrendo o contrário em locais ruins ou de menor crescimento. O mesmo autor, analisando os gráficos de incremento, e de forma mais evidente no incremento diamétrico, verificou que a culminação nos sítios bons ocorre mais cedo, como é normal. No entanto, os locais médios e, principalmente os pobres, culminam mais tarde com um decréscimo acelerado, marcando um crescimento bom, em um curto intervalo de tempo. Este intervalo de bom crescimento é mais longo em locais bons.

Para Davis e Johnson (1987) a determinação das curvas de índice de sítio pode ser feita por dois métodos: o de curvas monomórficas, que se caracteriza por apresentar um crescimento em altura relativo e constante para todos os sítios, permitindo que todas as curvas sejam paralelas entre si; e as polimórficas que seguem uma curva para cada índice de sítio com forma específica.

As curvas de índice de sítio feitas por Marcolin (1990) para o Segundo Planalto Paranaense, apresentam diferenças no crescimento em altura dominante em função da idade, quando comparadas com os dados de Tonini et al. (2002a), sendo as curvas bastante acentuadas, e existindo vários cruzamentos. O mesmo autor comenta que se observa que o crescimento em altura *para Pinus taeda* L. no Segundo Planalto Paranaense é superior, sendo, no entanto, essas curvas bem mais achatadas, quando comparadas com as árvores da Serra do Sudeste e o Litoral gaúcho, o que, de certa forma, já era esperado por tratarem-se de espécies diferentes.

Segundo Tonini (2002a) o modelo de Prodan (1970), para representar as curvas de crescimento em altura: $h = t^2 / (a + bt + ct^2)$, foi utilizado por pesquisadores

como Machado (1980), Oliveira e Ahrens (1987), Brasil (1989), Menegol (1991) em plantações de *Pinus taeda* L. e *Pinus elliottii* Engelm. em várias regiões do Brasil.

Brasil (1989) utilizou a equação de Prodan para testar as estimativas de sítio de *Pinus elliottii* Engelm. e *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze. estabelecendo uma idade de referência de 30 e 40 anos respectivamente, com intervalo de classes de sítio de 2 metros na idade de referência.

Scheeren (2003) utilizou a equação modificada de Prodan, representada por $\log h_{100} = \frac{t^2}{b_1} + b_2 t^2$ para determinar o índice de sítio tomando uma idade índice de 16 anos, e um sistema de sete curvas de índice de sítio para abranger a dispersão de alturas de *Eucalyptus saligna* Smith.

Marcolin (1990) escolheu o modelo de Prodan na construção de curvas de índice de sítio para *Pinus taeda* L., no Segundo Planalto Paranaense, utilizando uma idade índice de 15 anos. Este autor escolheu o referido modelo devido a dois fatores: a simplicidade de obtenção dos coeficientes e uso dos mesmos para as estimativas de alturas, precisão, e, a confiabilidade que o modelo oferece.

Garcia (1970) selecionou como modelo geral o proposto por Schumacher, gerando com o mesmo as curvas monomórficas, utilizando uma idade índice de 20 anos.

Selle (1993), trabalhando com *Pinus taeda* L. através da altura dominante obtida por análise de tronco, elaborou curvas monomórficas de índice de sítio para as florestas da empresa Celulose Cambará S. A., utilizando o modelo não-linear de Chapman-Richards. Desta classificação, resultaram 12 curvas diferenciadas por intervalos de 2 m de altura. As curvas apresentaram uma variação em altura dominante de 8 até 32 m, tomadas a uma idade-índice de 20 anos.

Tonini et al. (2002b) utilizaram a função de Richards para determinação de altura dominante, e construção de curvas de índice de sítio para *Pinus elliottii* Engelm., gerando um único conjunto de 9 curvas monomórficas para os índices de sítio de 6 e 30 m, tendo como idade de referência 18 anos.

Mainardi (1995), em seu trabalho sobre estruturação da produção de *Pinus taeda* L., utilizou a função de Richards com três coeficientes, para estimar a altura dominante, utilizando uma idade de referência de 20 anos, e índices de sítio de 16 a 28, gerando curvas do tipo monomórficas.

Amaro et al. (1998) utilizaram o modelo de Chapman-Richards para desenvolver o crescimento de altura dominante em plantios de *Eucalyptus*, em Portugal.

Machado et al. (1997) escolheram o modelo de Chapman-Richards para estudar o desenvolvimento da altura dominante em *Mimosa scabrella*, representando melhor a conformação dos dados em toda a sua extensão. Os autores consideraram este modelo como bastante flexível, e que convergiu assintoticamente melhor que os demais testados, representando bem os dados nas idades mais avançadas.

Davel e Ortega (2003), em seu estudo sobre a produtividade por zonas de crescimento para *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco, selecionaram o modelo de Chapman-Richards, para determinar o crescimento em altura, originando-se um modelo polimórfico e identificando-se duas zonas de crescimento. Os autores consideraram que este modelo é o que melhor resultado oferece para a construção de um sistema de curvas de índice de sítio. Os índices de sítio para esta espécie oscilaram entre 9 e 18 para a zona 1 e, 12 a 21 para a zona 2, numa idade de referência de 20 anos. Os autores comentam que no Chile, para uma idade de referência de 20 anos, os valores de índice de sítio para esta espécie variam entre 12 e 24.

Tonini (2004) e Tonini et al. (2006) utilizaram a função de Backman para determinar a altura dominante de *Eucalyptus saligna* Smith. e obtiveram, assim, os índices de sítio gerados mediante curvas monomórficas.

Schneider et al. (2007), em seu estudo da estruturação da produção de *Pinus taeda* L., testaram 10 modelos de altura dominante para gerar curvas de índice de sítio, os quais são os de Schumacher, Backman, Backman modificado, Prodan, Prodan modificado, Hoerl, Moissev, Gram, Chapman e Richards, e Mitscherlich, selecionando como melhor o de Gram expressa como $\ln h_{100} = b_0 + b_1 \cdot \ln t + b_2 \cdot t$.

Martins (2007) utilizou a equação de Clutter-Jons para a elaboração de curvas de índice de sítio para *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit, obtendo os valores mais altos para os tratamentos estudados. A equação citada e representada por $h_{100} = b_0 \cdot [1 + b_1 \cdot t^{b_2}]^{b_3}$, sendo: h_{100} = altura dominante e t = idade de referência.

Tonini (2000) utilizou a análise de covariância para detectar diferenças em inclinação e níveis entre as curvas das árvores de *Pinus elliotii* Engelm., localizadas

na mesma região e unidade de mapeamento, considerando como variáveis no modelo utilizado a idade, e os grupos, para saber se tinha ou não necessidade de construir curvas de índice de sítio separadas para cada local. O autor encontrou diferenças significativas tanto em nível (árvore), como em inclinação (idade*árvore), para todos os locais estudados. Embora, a análise tenha mostrado significância, indicando diferenças entre a inclinação das curvas, esta diferença, é pequena, resultando em curvas muito próximas, conforme verificou ao analisar as tendências de crescimento em altura obtidas através das curvas de índice de sítio construídas separadamente para os 3 locais estudados.

2.10 Densidade

A densidade do povoamento é o segundo fator em importância, depois da qualidade do sítio, para a determinação da produtividade de um sítio florestal (DANIEL et al., 1982).

Segundo Patiño-Valera (1986) apud Tonini (2004), a densidade ótima é aquela capaz de fornecer o maior volume do produto em tamanho, forma e qualidade desejáveis, sendo função do sítio, da espécie e do potencial do material genético utilizado.

A densidade do povoamento é influenciada pelos fatores bióticos e abióticos do meio, pois eles controlam a disponibilidade dos fatores produtivos como água, luz e nutrientes (CAMPOS et al., 2002).

Costas et al. (2005) afirmam que os tratamentos que utilizam à densidade como variável produzem resultados que diferenciam a quantidade e qualidade dos produtos de um plantio. Com densidades altas em plantios de *Pinus taeda* L. se produzem fustes mais cilíndricos e pequenos, e diâmetros menores, em relação às densidades baixas.

Segundo Zobel et al. (1987) apud Doldán (1987) a densidade de plantio influencia para a mesma espécie e mesmo sítio, o número de tratos culturais a serem efetuados, a taxa de crescimento, o volume de madeira produzido, o sortimento de madeira, a taxa de mortalidade e dominância, a idade de estagnação do crescimento, as práticas de implantação, manejo e exploração e a qualidade da

madeira. Normalmente os povoamentos para celulose, escoras de minas, produção de carvão e postes são plantados em espaçamentos reduzidos, enquanto que os plantios para madeira serrada são feitos em espaçamentos mais amplos.

Com a adoção de espaçamentos mais amplos, o crescimento inicial será maior, especificamente com relação aos diâmetros. Em maiores densidades de plantas, a competição inicia-se mais cedo, sendo que os ramos mais finos secam e caem mais facilmente (KRONKA et al., 2005).

Costas et al. (2001) observou que menores densidades de plantio inicial produziram maiores DAP médios, e maiores volumes por unidade de superfície nas idades de plantio de 8 e 4 anos respectivamente.

A mesma situação foi observada por Costas et al. (2003) em resultados da sua pesquisa, além de constatar que existem diferenças de volume em diferentes densidades. O autor constatou em seu estudo sobre a produção de *Pinus taeda* L. em três densidades (525, 760 e 1480 árv/ha) que, na idade de cinco anos, as densidades menores produzem volumes individuais médios maiores e, volumes totais por unidade de superfícies maiores. O mesmo autor observou, também, que as áreas basais são maiores em maiores densidades.

Costas et al. (2005) verificaram em povoamentos de *Pinus taeda* L. de sete anos (Misiones, Argentina) diferenças significativas nas médias dos DAP devido a efeitos da densidade (400, 700 e 1000 árv/ha), observando que em densidades inferiores os DAP são maiores. O autor observou, também que, na maior densidade, a área basal foi significativamente superior ao da densidade intermédia e esta superior à produzida na densidade menor.

Um manejo adotado em *Pinus* compreende o plantio de 2.222 árvores por hectare, compreende uma densidade de 3,0 x 1,5 m, e rotação de 15 anos, obtendo-se assim, uma produtividade média de 30 m³/ha/ano (KRONKA et al., 2005).

Sanquetta et al. (2000), mostraram por meio de simulação que, densidades iniciais maiores e regimes de desbastes mais intensos em *Pinus*, produzem maior volume laminável por unidade de superfície ao final do turno de rotação do que espaçamentos iniciais menores e regimes de desbastes menos intensos.

A escolha da menor densidade em regime em *Pinus*, sem desbaste, deve-se ao acentuado efeito da densidade de plantio sobre o volume de madeira grossa neste tipo de regime (GOMES et al., 2002).

2.11 Modelos de crescimento

Segundo Garcia (1988) os modelos de crescimento são de vital importância para o planejamento da produção florestal. O autor afirma que se deve prever o crescimento e rendimento de sítios locais para criar uma condição prévia para planejar a administração de florestas em qualquer nível. Portanto, existe a necessidade de se conhecer as técnicas de modelagem do crescimento e as suas limitações.

Myung et al. (2003) classifica os critérios de seleção de modelos em qualitativos e quantitativos. Os qualitativos consideram a ligação do modelo com o processo estudado, sua interpretabilidade e compreensibilidade. E, os quantitativos levam em conta a falseabilidade, a qualidade do ajustamento, a complexidade e a generabilidade do modelo.

Os critérios qualitativos para seleção de um modelo dizem respeito a sua suficiência explicativa. Um modelo satisfaz o critério de suficiência explicativa se suas suposições são plausíveis, consistentes com os resultados encontrados, e se a relação teórica é razoável para o processo de interesse. Considerando isto, o modelo deve fazer mais que redescrever os dados observados. Por tanto, não há razão em se escolher um modelo que não se pode explicar. Considerando este aspecto, o modelo deve ser interpretável com sentido e ser compreensível. Por isso, é importante que os componentes do modelo, especialmente seus parâmetros, estejam ligados aos processos estudados (MYUNG et al., 2003).

Alder (1980), Clutter et al. (1983) e Davis e Johnson (1987) classificaram aos modelos de crescimento e produção em três tipos:

- a) Modelos globais de povoamento, que permitem obter uma estimativa geral da produção por unidade de área;
- b) Modelos por classes diamétricas, que possibilitem a prognose do número de árvores por classe de diâmetro. A altura, o volume e outras características do povoamento podem ser associadas a cada uma das classes;
- c) Modelos para árvores individuais, que considerem características de árvores individuais para a prognose do crescimento e produção do povoamento.

Um modelo de predição da produção deve ser capaz de avaliar todos os fatores relacionados com o manejo florestal, caso se deseje utilizá-lo plenamente na tomada de decisões da empresa florestal (CLUTTER et al, 1983).

É do interesse de qualquer administrador do setor florestal conseguir quantificar e prognosticar, com confiabilidade, o estoque de suas florestas. A quantificação do crescimento e da produção consiste em uma condição essencial para definir a utilização dos bens advindos da floresta, além de fornecer informações que subsidiam a tomada de decisões para a maioria das atividades ligadas ao setor (ABREU, 2002).

Ao utilizar os sistemas de prognose do crescimento e produção, o profissional terá condições de definir, antecipadamente, o momento do desbaste, se este for um dos objetivos do empreendimento, a rotação econômica ótima, o planejamento da atividade de colheita e prescrever regimes de manejo adequados para cada espécie, em cada sítio, que visem à qualidade do produto final (ABREU, 2002).

Em mensuração florestal, um modelo de crescimento e produção pode ser representado por um ou mais modelos estatísticos, uma ou mais equações, uma ou mais tabelas ou gráficos, ou, ainda, um conjunto de equações, tabelas e gráficos. (FIGUEIREDO FILHO et al., 1993).

Para Zeide (1993), ao se trabalhar com modelos matemáticos necessita-se de uma equação que seja logicamente correta, que exponha a tendência de crescimento na nuvem de pontos e separe o essencial do acidental.

Na maioria dos modelos de crescimento os parâmetros são estimados usando regressão linear e não-linear. Algumas características dos dados de crescimento podem causar dificuldades devidas à violação dos supostos estatísticos em que se baseiam as técnicas de regressão (GARCÍA, 1994).

Ao avaliar um modelo, há vários fatores a considerar. Em termos gerais, podem ser usados métodos estatísticos para medir a suficiência descritiva de um modelo (ajustando-o aos dados e testando esses ajustes), como também sua generalização e simplicidade (usando ferramentas de seleção de modelos). Porém, a qualidade de um modelo também depende de sua interpretabilidade, de sua consistência com outros e de sua plausibilidade global. Isso implica em julgamentos inerentemente subjetivos, mas não menos importantes. Como sempre, não há nenhum substitutivo para avaliações pessoais e para o bom-senso, pois é crucial reconhecer que todos os modelos estão errados e uma meta realística de modelar é

encontrar um modelo que represente uma "boa" aproximação à verdade em um senso estatisticamente definido (NAVARRO e MYUNG, 2004).

Salas (2002) comenta que, para a seleção de equações, devem-se aplicar quatro etapas, as quais são: violação de supostos, verificando as equações mediante os testes de normalidade, homocedasticidade, autocorrelação e multicolinealidade; bondade do ajuste mediante o coeficiente de determinação e o erro padrão da estimativa, citado também por Finger (1992), que os considera como critérios de análise mais empregados para a seleção dos modelos, e, análise de capacidades preditivas dentro da classe de validação.

Uma característica desejável dos modelos de crescimento é a flexibilidade, entendida como a capacidade de ajuste com precisão a diferentes conjuntos de dados. A flexibilidade de um modelo tem sido, freqüentemente, associada ao número de parâmetros do mesmo. Porém Zeide (1993) argumenta que qualquer modelo, cujo número de parâmetros coincida com o número de pontos da amostra ajustada, passará através de todos esses pontos, mostrando, portanto, a máxima exatidão, perdendo, porém, a tendência universalmente assumida da curva sigmóide, pelo que considera que o conhecimento real das leis que regem os processos do crescimento é mais importante na hora de desenvolver um modelo do que sua própria flexibilidade.

Scolforo (1994) também desenvolveu um sistema de predição de crescimento e produção de estimativas para o povoamento, tanto em níveis gerais como discriminados por classes diamétricas, de modo a se ter compatibilidade entre ambas em nível de área basal. O sistema permitiu realizar simulações de desbastes envolvendo a quantificação dos multiprodutos proporcionados pela árvore, devido a expressões que representam o padrão de remoção em área basal e do número de árvores, e funções de razão de volumes.

Emerenciano (1981) apud Tonini (2002a) estudou o crescimento em altura de *Pinus elliottii* Engelm., baseando-se na importância deste desenvolvimento quando da utilização de um modelo de crescimento para prognose da produção de povoamentos florestais. O autor simulou prognoses de altura, ajustando funções de crescimento a dados de diferentes períodos e estimou os valores da altura até os 30 anos. Também, avaliou os resultados das simulações de prognose através de comparação com dados reais, obtidos por análise de tronco. Concluiu que o método empírico de Backman é o mais confiável para prognose, uma vez que o ponto de

culminação do incremento anual é referenciado com a altura teórica final, definindo assim, a tendência de crescimento.

Floriano et al. (2006) em seu trabalho sobre o ajuste e seleção de modelos tradicionais para série temporal de dados de altura de árvores de *Pinus elliottii* Engelm., encontraram o melhor modelo considerando os critérios qualitativos de interpretabilidade, compreensibilidade e os critérios de falseabilidade (verificada pela análise gráfica da distribuição de resíduos), qualidade do ajustamento (pelo coeficiente de determinação e pelo quadrado médio do resíduo), complexidade (número de parâmetros e tipo de modelo) e sua generabilidade.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Caracterização da área de estudo

O estudo foi realizado em plantios de *Pinus taeda* L. de propriedade da empresa Bosques del Plata S.A., situada próximo ao município de Santo Tomé, na Rota Nacional 40, Província de Corrientes, Argentina. Na Figura 1, pode ser observado o Mapa da Província de Corrientes, Argentina, localizando o município de Santo Tomé, onde foram coletados os dados.

O clima da região, segundo a Classificação Climática de Köppen, é do tipo Cfa, clima subtropical úmido. A temperatura média anual é de 21 °C, sendo a média do mês mais frio (julho) de 12,3°C e, a média do mês mais quente (janeiro) de 25,3°C. A precipitação da região é do tipo isohidro (precipitação igualmente distribuída nos doze meses do ano), com valor médio anual de 1.680 mm, destacando-se como os mais chuvosos os períodos de outono (abril e maio) e de primavera (setembro e outubro).

Os solos da região são divididos em várzea e solos vermelho argilosos (coxilhas). A várzea se encontra dentro da Unidade Cartográfica 38, que apresenta a seguinte associação:

- Kandihumult*: Argisolos Vermelho-amarelo Distrófico;
- Kandiudalf*: Argiloso Vermelho Eutrófico Sódico;
- Distrocrept*: Neossolo Litólico Distrófico.

Segundo Montenegro (1998) o solo se enquadra dentro da série *Sosa Cué*, ou seja, Neossolo Litólico Distrófico, apresentando características de relevo normal, posição coxilha média e coxilha média baixa. A topografia do local é suave com ondulações mais ou menos elevadas, com declividade de 1 a 2%, apresentando entre si pouca diferença de altitude relativa.

Segundo Ibañez et al. (2004) os solos vermelho argilosos (coxilhas), localizam-se em solos da série *Díaz de Vivar*. Esta série é classificada taxonomicamente como subgrupo dos *Kandihumult* da ordem *Ultisol*. Em geral, este tipo de solo possui uma profundidade efetiva que supera os 150 cm, com declividades que variam entre

2 a 5% e com boa drenagem. Esses solos se caracterizam, também, por apresentarem densidades superiores a $1,3 \text{ g/cm}^3$ e pelos altos conteúdos de argila, que atingem 50% nos 10 primeiros centímetros, aumentando a 70% aos 80 cm de profundidade. A percentagem de matéria orgânica existente no horizonte A é de 5%, com pH de 5,8.



FIGURA 1 - Mapa da Província de Corrientes, Argentina, localizando o município de Santo Tomé.

3.2 Os dados

A empresa Bosques del Plata S.A. alocou parcelas de amostragem permanentes para a espécie *Pinus taeda* L.. Porém, sendo essas parcelas insuficientes para o presente estudo, foram estabelecidas parcelas temporárias para recolher informações sobre o crescimento do povoamento.

Os dados foram coletados em parcelas temporárias e, também, serviram como subsídio para a análise de tronco. A coleta de informações nas parcelas temporárias foi feita em 82 unidades, através de um inventário realizado entre os meses de janeiro a novembro de 2005. As idades das árvores variaram entre quatro a oito anos, com densidade de 1428 plantas/ha.

Na análise de tronco foram utilizadas 20 árvores de *Pinus taeda* L. com idades variando entre 11 e 17 anos, distribuídas entre as densidades de 1250 e 1666 plantas/ha respectivamente.

Os locais e talhões das parcelas são apresentados no Anexo 1.

3.3 Unidades amostrais

Para o estabelecimento e medição das unidades amostrais temporárias foi utilizada a amostragem aleatória estratificada, segundo sítios naturais e idades. Essa amostragem segue o conceito de linhas de tendência de crescimento, isto é, o uso de unidades temporárias com diferentes idades, mas de mesmos sítios naturais, sob hipótese de que as árvores velhas de hoje cresceram da mesma forma que crescerão as árvores jovens de hoje. Já os estratos foram formados pelo sítio e idade. Foi determinado o número de unidades amostrais a serem medidas por sítio e idade, e, seu número registrado na Tabela 1.

As zonas de crescimento, ou sítios naturais dos locais estudados foram: coxilha vermelha, coxilha parda e várzea. Os povoamentos levantados apresentaram espaçamento de 4 m entre linhas e 1,75 m na linha, com um número inicial de 1.428 plantas/ha, sendo que as mesmas não sofreram desbastes.

Em cada estrato foram selecionados os talhões mais representativos. Em alguns casos, como não foi possível fazer as medições em talhões distintos, realizou-se a medição no mesmo talhão, tendo-se o cuidado de observar uma distância mínima de 100 m entre parcelas.

TABELA 1 - Número de unidades amostrais por sítio, densidade e ano de plantio para *Pinus taeda* L. em Santo Tomé, Corrientes, Argentina.

Sítio	Denominação	Densidade*	Ano de plantio	Idade (anos)**	Unidades amostrais
1	Coxilha vermelha	1428	2001	4	8
2	Coxilha Parda	1428	2001	4	8
3	Várzea	1428	2001	4	8
1	Coxilha vermelha	1428	1999-2000	5 - 6	11
2	Coxilha Parda	1428	1999-2000	5 - 6	5
3	Várzea	1428	1999-2000	5 - 6	10
1	Coxilha vermelha	1428	1997-1998	7 - 8	12
2	Coxilha Parda	1428	1997-1998	7 - 8	9
3	Várzea	1428	1997-1998	7 - 8	11
Total geral:					82

* Densidade= em número de plantas por hectare; ** idade até o ano 2005.

Para cada ponto selecionado foram utilizadas parcelas circulares de 380 m² (raio de 11 m). Uma vez localizado o ponto de instalação da parcela, a mesma era georeferenciada com auxílio de um GPS Garmin III. Os dados levantados em cada unidade amostral foram: diâmetro à altura do peito (DAP), altura total das árvores vivas e registro de falhas. Além disso, cada indivíduo foi classificado conforme o seu estado (morta, torta ou bifurcada). Os aparelhos utilizados para medir o diâmetro e a altura foram suta e hipsômetro eletrônico Vertex, respectivamente. Os diâmetros foram levantados a partir da média de dois diâmetros cruzados, com precisão de 0,5 cm, e as alturas em décimos de metro.

Para a obtenção de árvores com altura dominante nas unidades amostrais, foi considerada aquela que representou a média das 100 árvores mais grossas por hectare (ASSMANN, 1970).

Para cada idade, foram determinados o diâmetro e a altura da árvore de área basal média, a altura dominante e, o número de árvores/ha.

Todos os dados levantados foram registrados em formulário padronizado de uso da Empresa Bosques del Plata S.A. indicado no Anexo 2.

3.4 Relação hipsométrica

A relação hipsométrica (h/d) foi modelada com os dados obtidos nas unidades amostrais. Essa relação foi usada para fornecer a altura das árvores que tiveram apenas o diâmetro medido, a partir de uma pequena subamostra de alturas e diâmetros medidos.

No momento da coleta de dados foram medidas, sistematicamente, a altura das 15 primeiras árvores de cada unidade amostral, além das quatro árvores mais grossas, considerando o conceito de altura dominante (h_{100}), definido por Assmann (1970). Doze modelos foram testados para determinar a relação hipsométrica, conforme a Tabela 2.

TABELA 2 - Modelos de equações para a relação hipsométrica nos povoamentos de *Pinus taeda* L. em Santo Tomé, Corrientes, Argentina.

Equação	Modelo
1	$h = b_0 + b_1.d$
2	$h = b_0 + b_1.d + b_2.d^2$
3	$h = b_0 + b_1.d + b_2.d^2 + b_3.d^3$
4	$h = b_0 + b_1.\log d + b_2.\log^2 d$
5	$h = \frac{d^2}{(b_0 + b_1.d + b_2.d^2)}$
6	$\frac{d}{\sqrt{h}} = b_0 + b_1.d$
7	$h = b_0 + b_1.d + b_2(\frac{1}{d}) + b_3.d^2$
8	$\ln h = b_0 + b_1.\ln d$
9	$\ln h = b_0 + b_1.(\frac{1}{d})$
10	$\ln(h - 1,30) = b_0 + b_1.\ln d + b_2.\ln^2 d$
11	$\ln(h - 1,30) = b_0 + b_1.\ln(\frac{1}{d})$
12	$\ln(h - 1,30) = b_0 + b_1.\ln(\frac{d}{(1+d)})$

Sendo: h= altura total (m); d= diâmetro à altura do peito (cm); b_0, b_1, b_2, b_3 = parâmetros das equações; ln= logaritmo neperiano.

3.5 Volume das árvores

Cento e dezessete árvores, pertencentes a todas as classes diamétricas e idades, foram derrubadas para a determinação do volume rigoroso utilizando a metodologia de Smalian. A fórmula de Smalian indica que o volume de cada secção é calculado em função do comprimento e das áreas basais obtidas nas extremidades das secções, onde:

$$v = v_0 + \sum_{i=1}^n v_i + v_c$$

Sendo: v = volume; v_0 = volume do toco; v_i = volume das secções transversais; v_c = volume do cone.

A cubagem das árvores foi feita usando trena para medir o diâmetro (circunferência) e altura (comprimento), nas posições fixas de 0,1; 0,3; 0,7 e 1,3 m, e, depois, de metro em metro até a extremidade da árvore.

O número de árvores cubadas consta na Tabela 3 a seguir.

TABELA 3 - Número de árvores cubadas por classe de DAP e idade, para *Pinus taeda* L. em Santo Tomé, Corrientes, Argentina.

Classes de DAP (cm)	Classes de Idade(anos)		Total (n)
	0-4	5-8	
0-4,99	12	4	16
5-9,99	13	13	26
10-14,99	13	12	25
15-19,99	13	12	25
20-24,99	0	13	13
25-29,99	0	12	12
Total (n)	51	66	117

O formulário utilizado para o registro de cubagem criado para o efeito pode ser observado no Anexo 3.

As equações testadas para estimar o volume individual são apresentadas na Tabela 4.

TABELA 4 - Modelos de equações para o volume individual das árvores de *Pinus taeda* L. em Santo Tomé, Corrientes, Argentina.

Equação	Modelo
1	$v = b_0 + b_1.d + b_2.h$
2	$v = b_0 + b_1.(d^2.h)$
3	$v = b_0 + b_1.d^2 + b_2.(d^2.h) + b_3.h$
4	$v = b_0 + b_1.d^4 + b_2.(d^2.h)$
5	$\ln v = b_0 + b_1.\ln d$
6	$\ln v = b_0 + b_1.\ln d + b_2.\ln h$
7	$\ln v = b_0 + b_1.\ln(d^2.h)$

Sendo: v = volume individual (m^3); h = altura total (m); d = diâmetro a altura do peito (cm); b_0 , b_1 , b_2 , b_3 = parâmetros das equações; \ln = logaritmo neperiano.

3.6 Análise de tronco

Para a análise foram abatidas 20 árvores, distribuídas nas classes de sítio 1 e 2, e com idades de 11, 12, 15 e 17 anos.

As seções transversais do tronco foram coletadas com uma espessura em torno de 5 cm, nas posições fixas a 0,1; 0,3; 0,7; 1,3 e 2,3 m, e após de dois em dois metros ou entre os verticilos até a altura total.

Para registrar as informações sobre identificação das fatias e medição dos anéis, foi utilizado um formulário de uso do Departamento de Ciências Florestais da UFSM.

No campo, as fatias foram etiquetadas na porção da casca, onde constava o número da árvore e da secção, acondicionadas em sacos de estopa por permitirem boa ventilação. Posteriormente, foram secas à sombra, para depois serem lixadas.

O processo de medição sobre as fatias foi feito sobre quatro raios perpendiculares e opostos, sendo o primeiro marcado a 45^0 , no sentido anti-horário em relação ao maior raio da secção. Desta forma, foi feita a determinação da idade da árvore, sendo os resultados utilizados para complementar o estudo de

crescimento em altura dominante, junto com os dados de linhas de tendência de crescimento.

Considerando que nas idades jovens há muita variação na altura dominante, a informação obtida mediante esta análise corresponde aos dados de altura dominante gerados a partir de 3 anos de idade.

3.7 Descrição do crescimento da altura dominante e a classificação de sítios

A idade de referência utilizada para a classificação de sítio foi de 12 anos, por ser esta a idade de rotação média utilizada pela Empresa Bosques del Plata S.A. na Argentina, quando manejados em densidade completa.

Para a determinação da produtividade das áreas florestais, foram construídas curvas de índice de sítio monomórficas, através de uma equação matemática que expressou a qualidade do sítio florestal e utilizando dados de análise de tronco. As curvas foram construídas baseando-se nas alturas das árvores dominantes em uma determinada idade índice, utilizando a metodologia da curva guia, a partir da qual foram distribuídas as restantes curvas afastadas proporcionalmente da primeira. Este método origina curvas proporcionais relacionando de forma constante, ao longo da idade.

Para a delimitação das curvas de índice de sítio, os pares de dados altura dominante e idade, medidos em 118 unidades amostrais temporárias, foram plotados juntamente com as curvas de índice de sítio, devendo abranger todos estes pontos.

As equações testadas para determinar a altura dominante a ser utilizada na classificação de sítio correspondem a modelos selecionados na literatura florestal e, são apresentadas na Tabela 5.

3.8 Determinação do diâmetro da árvore de área basal média (d_g)

O diâmetro da árvore de área basal média do povoamento foi modelado em função da altura dominante do mesmo, com os dados observados em cada unidade amostral, e testados os modelos presentes na Tabela 6.

TABELA 5 - Modelo de equações para a altura dominante nas árvores de *Pinus taeda* L. em Santo Tomé, Corrientes, Argentina.

Equação	Modelo	Denominação
1	$h_{100} = b_0 + b_1.t + b_2.t^2 + b_3.t^3$	Polinomial
2	$t^2/h_{100} = b_0 + b_1.t + b_2.t^2$	Prodan
3	$\ln h_{100} = b_0 + b_1.\ln t + b_2.t$	Gram
4	$\ln h_{100} = b_0 + b_1.\ln t + b_2.\ln^2 t$	Backman
5	$h_{100} = a.t^b .e^{c.t}$	Hoerl
6	$h_{100} = a(1 - e^{(-k.t)})$	Chapman-Richards 2
7	$h_{100} = a(1 - e^{(-k.t)})^r$	Chapman-Richards 1
8	$h_{100} = a(1 - b.e^{-c.t})$	Mitcherlich

Sendo: h_{100} = altura dominante (m); t= idade (meses); $b_0, b_1, b_2, b_3, a, k, r, c$ e b = parâmetros das equações; ln= logaritmo neperiano.

TABELA 6 - Modelo de equações para o diâmetro da árvore de área basal média nos povoamentos de *Pinus taeda* L. em Santo Tomé, Corrientes, Argentina.

Equação	Modelo
1	$dg = b_0 + b_1.h_{100}$
2	$dg = b_1.h_{100}$
3	$dg = b_0 + b_1.\ln h_{100}$
4	$dg = b_1.\ln h_{100}$
5	$dg = b_0 + b_1.\ln^2 h_{100}$
6	$dg = b_1.\ln^2 h_{100}$
7	$\ln dg = b_0 + b_1.\ln h_{100}$

Continuação...

Equação	Modelo
8	$\ln dg = b_0 + b_1 \cdot \ln^2 h_{100}$
9	$\ln dg = b_1 \cdot \ln h_{100}$
10	$\ln dg = b_0 + b_1 \cdot \ln h_{100} + b_2 \cdot \ln^2 h_{100}$
11	$\ln dg = b_1 \cdot \ln h_{100} + b_2 \cdot \ln^2 h_{100}$

Sendo: d_g = diâmetro da árvore de área basal média (cm); h_{100} = altura dominante (m); b_0 , b_1 = parâmetros das equações; ln= logaritmo neperiano.

3.9 Determinação do número de árvores por hectare (N)

O número de árvores por hectare foi estimado em função do d_g e da idade dos povoamentos com os modelos apresentados na Tabela 7. Para selecionar a melhor equação foram utilizados dados observados em cada unidade amostral.

TABELA 7 - Modelo de equações para o número de árvores por hectare (N) ajustada nos povoamentos de *Pinus taeda* L. em Santo Tomé, Corrientes, Argentina.

Equação	Modelo
1	$N = b_0 + b_1 \cdot d_g^2 + b_2 \cdot \frac{1}{t}$
2	$\ln N = b_0 + b_1 \cdot d_g^2 + b_2 \cdot \frac{1}{t}$
3	$\frac{1}{N} = b_0 + b_1 \cdot d_g^2 + b_2 \cdot \frac{1}{t}$
4	$\sqrt{N} = b_0 + b_1 \cdot d_g^2 + b_2 \cdot \frac{1}{t}$
5	$\frac{1}{\sqrt{N}} = b_0 + b_1 \cdot d_g^2 + b_2 \cdot \frac{1}{t}$

Sendo: N= número de árvores por hectare; d_g = diâmetro da árvore de área basal média (cm); t = idade (meses); b_0 , b_1 , b_2 = parâmetros das equações; ln= logaritmo neperiano.

3.10 Cálculo da área basal por hectare (G)

A área basal (G) foi estimada em função do d_g e h_{100} dados observados em cada unidade amostral, e testados os modelos da Tabela 8.

TABELA 8 - Modelo de equações para a área basal por hectare (G) ajustada nos povoamentos de *Pinus taeda* L. em Santo Tomé, Corrientes, Argentina.

Equação	Modelo
1	$G = b_0 + b_1 \cdot dg$
2	$G = b_1 \cdot dg^2$
3	$\ln G = b_0 + b_1 \cdot \ln dg$
4	$\ln G = b_1 \cdot \ln^2 dg$
5	$\ln G = b_0 + b_1 \cdot \ln dg + b_2 \cdot dg$
6	$\ln G = b_0 + b_1 \cdot \frac{1}{dg}$
7	$\ln G = b_1 \cdot \ln h_{100} + b_2 \cdot \ln^2 h_{100}$

Sendo: G= área basal por hectare (m^2/ha); dg= diâmetro de área basal média (cm); b_0 , b_1 = parâmetros das equações; ln= logaritmo neperiano.

3.11 Cálculo do volume por hectare (V)

O volume por hectare foi modelado em função da área basal e altura dominante, utilizando dados observados em cada unidade amostral, e testados os modelos apresentados na Tabela 9.

TABELA 9 - Modelo de equações para o volume total por hectare (V) nos povoamentos de *Pinus taeda* L. em Santo Tomé, Corrientes, Argentina.

Equação	Modelo
1	$V = b_0 + b_1 \cdot G + b_2 \cdot h_{100}$
2	$V = b_0 + b_1 \cdot (G \cdot h_{100})$
3	$V = b_1 \cdot (G \cdot h_{100})$
4	$\ln V = b_0 + b_1 \cdot \ln G^2 + b_2 \cdot \ln h_{100}$

Sendo: V= volume por hectare (m^3); G= área basal por hectare (m^2/ha); h_{100} = altura dominante; b_0 , b_1 , b_2 = parâmetros das equações; ln= logaritmo neperiano.

3.12 Determinação do fator de forma artificial (f)

O fator de forma artificial (f) foi obtido pela razão entre o volume rigoroso das árvores cubadas e o volume do cilindro de referencia pela expressão:

$$f = \frac{v_r}{v_c}$$

Sendo: f= fator de forma artificial; v_r= volume rigoroso; v_c= volume do cilindro.

Para descrever essa razão foram testados os modelos observados na Tabela 10.

TABELA 10 - Modelo de equações para o fator de forma artificial nos povoamentos de *Pinus taeda* L. em Santo Tomé, Corrientes, Argentina.

Equação	Modelo
1	$f = b_0 + b_1 \cdot d + b_2 \cdot h$
2	$f = b_0 + b_1 \cdot \left(\frac{d_{0,3h}}{d}\right)^2 + b_2 \cdot \frac{1}{d} + b_3 \cdot \frac{1}{h}$
3	$f = b_1 \cdot \left(\frac{d_{0,3h}}{d}\right)^2 + b_2 \cdot \frac{1}{d} + b_3 \cdot \frac{1}{h}$
4	$f = b_0 + b_1 \cdot \left(\frac{d_{0,5h}}{d}\right)^2 + b_2 \cdot \left(\frac{d_{0,3h}}{d}\right)^2$
5	$f = b_1 \cdot \left(\frac{d_{0,5h}}{d}\right)^2 + b_2 \cdot \left(\frac{d_{0,3h}}{d}\right)^2$

Sendo: f= fator de forma artificial; d= diâmetro à altura do peito (cm); h= altura total (m), d_{0,3h} = diâmetro a 30% da altura total; d_{0,5h}= diâmetro a 50% da altura total; b₀, b₁, b₂, b₃= parâmetros das equações.

Os diâmetros relativos d_{0,3h} e d_{0,5h} foram obtidos por interpolação matemática entre as secções de cubagem de cada árvore amostrada e modelada em função do DAP, para gerar equações que tornassem possível a obtenção das suas estimativas.

As equações dos diâmetros relativos d_{0,3h} e d_{0,5h} testadas estão listadas na Tabela 11.

TABELA 11 - Modelo de equações para o diâmetro relativo nos povoamentos de *Pinus taeda* L. em Santo Tomé, Corrientes, Argentina.

Equação	Modelo
1	$d_{0,3h} = b_0 + b_1 \cdot d$
2	$d_{0,5h} = b_0 + b_1 \cdot d$
3	$\ln d_{0,3h} = b_0 + b_1 \cdot \ln d$
4	$\ln d_{0,5h} = b_0 + b_1 \cdot \ln d$

Sendo: $d_{0,3h}$ = diâmetro a 30% da altura total; $d_{0,5h}$ = diâmetro a 50% da altura total; d = diâmetro a altura do peito (cm); h = altura (m); b_0 , b_1 = parâmetros das equações; \ln = logaritmo neperiano.

3.13 Cálculo dos incrementos corrente e médio anual (ICA e IMA)

O incremento corrente anual foi obtido por meio da fórmula:

$$ICA_v = V_{t+1} - V_t$$

Sendo: ICA= Incremento corrente anual em volume; V_t = volume por hectare obtido na idade t e $t + 1$.

Já o incremento médio anual foi obtido através da equação:

$$IMA_v = \frac{V_t}{t}$$

Sendo: IMA=Incremento médio anual em volume na idade t ; t = idade em anos.

3.14 Análise de covariância (ANACOVA)

A análise de covariância (ANACOVA) foi aplicada para verificar a necessidade do uso de funções independentes entre algumas das variáveis estudadas nos diferentes estratos, determinando assim, se existem diferenças entre as mesmas.

Essa análise foi utilizada para avaliar as diferenças de inclinação e nível entre as curvas de volume e crescimento em altura dominante, para os diferentes sítios, bem como para a avaliação do efeito da idade na relação hipsométrica.

Na ANACOVA, primeiramente, testa-se a diferença de inclinação. Se não existe evidência da diferença de inclinação, a hipótese da não diferença de níveis é testada. Se a diferença não for significativa para inclinação e níveis, uma regressão única pode ser ajustada, ignorando-se a diferença entre grupos (SCHNEIDER, 1998).

A ANACOVA permitiu a comparação de curvas de crescimento em relação a seu paralelismo, indicando assim, a existência, ou não, de diferentes padrões de crescimento. A inclinação e nível das curvas de crescimento e idade foram verificadas através do valor F, para 1% de erro, sendo os dados processados no programa Statistical Analysis System (SAS) versão 8. As somas de quadrados de produtos corrigidos foram obtidas pela opção SS1 da declaração MODEL do procedimento GLM.

3.15 Comparação com curvas de índice de sítio elaboradas por outros autores

A comparação dos crescimentos foi feita de forma gráfica, observando o desenvolvimento de altura dominante sobre a idade, indicada como curvas de índice de sítio. Essas curvas foram elaboradas para a região de Santo Tomé, Corrientes, Argentina, e foram comparadas com curvas construídas nos estados brasileiros do Paraná, no Segundo Planalto Paranaense, por Marcolin (1990), e Telêmaco Borba por Schneider et al. (2007), e no Rio Grande do Sul em Cambará do Sul, por Selle (1993), o que pode ser observado no Anexo 4.

3.16 Construção de modelos

O procedimento de regressão ``Stepwise`` foi adotado para modelar relações biométricas, para um nível de 5% de erro, entre as variáveis dependentes v , d_g , N ,

G, f, V, e as independentes d, h, t, h_{100} , d_g , G, $d_{0,3h}$, $d_{0,5h}$, em suas formas logarítmicas, quadráticas e inversas.

3.17 Seleção do modelo matemático

Para a seleção dos melhores modelos matemáticos foram levados em consideração os seguintes parâmetros estatísticos:

3.17.1 Coeficiente de determinação ajustado (R^2_{aj})

O coeficiente de determinação ajustado expressa a quantidade de variação explicada pela regressão, considerando o número de coeficientes da equação, e selecionando o modelo matemático que apresente maior valor de R^2_{aj} , sendo obtido da seguinte forma:

$$R^2_{aj} = R^2 - \left[\frac{K - 1}{N - K} \right] \cdot (1 - R^2)$$

Sendo: R^2_{aj} = coeficiente de determinação ajustado; R^2 = coeficiente de determinação; K= número de coeficientes da equação; N= número de observações.

3.17.2 Coeficiente de variação (CV %)

O coeficiente de variação mede a dispersão relativa entre os valores observados e estimados pela regressão, e seleciona o modelo matemático que apresente menor valor de CV (%). Este coeficiente é expresso como:

$$CV \% = \frac{S_{yx}}{\hat{y}} \cdot 100$$

Sendo: S_{yx} = erro padrão da estimativa; CV%= coeficiente de variação em percentagem; \hat{y} = média aritmética da variável dependente.

3.17.3 Valor F

O valor de F determina a existência de diferença significativa entre os parâmetros utilizados nos modelos.

3.17.4 Análise gráfica da distribuição dos resíduos

Esta análise é feita entre a variável dependente, observada e estimada, e constitui-se de grande importância na seleção de modelos, pois permite detectar possíveis tendências de ajuste ao longo da linha da regressão para, assim, determinar qual modelo será utilizado. A distribuição dos resíduos foi analisada, plotando-se os desvios da regressão em um gráfico com o eixo das ordenadas centradas em zero, sendo observada a distribuição de pontos, verificando se não apresentavam tendências. Quando a distribuição dos resíduos da regressão foi homogênea, então, foi considerada que a equação aplicada possuía bom ajuste.

3.17.5 Processamento e análise dos dados

No processamento dos dados foi utilizado o software Microsoft Office Excel para realizar o ordenamento, classificação, processamento, desenvolvimento dos gráficos bem como o programa estatístico SAS (Statistical Analysis System) versão 8, para o cálculo e análise das regressões.

Os cálculos das variáveis dendrométricas relativas à análise de tronco e ao processamento das unidades amostrais foram efetuados nos programas ANATRO (Análise de tronco) e ANAPAR (Análise de parcelas), os quais pertencem ao Departamento de Ciências Florestais da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM) (Anexo 5).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Relação hipsométrica

Os parâmetros estatísticos apresentados na Tabela 12, obtidos nas equações matemáticas, permitiram selecionar o modelo matemático que melhor ajustou os dados dos povoamentos de *Pinus taeda* L. Na Tabela 12, podem ser observados os coeficientes com sua significância, o coeficiente de determinação ajustado (R^2_{aj}), o coeficiente de variação em percentagem (CV%) e a estatística F (F).

TABELA 12 - Coeficientes e estatísticas para o modelo de relação hipsométrica ajustada para *Pinus taeda* L. em Santo Tomé, Corrientes, Argentina.

Equação N ^o	Coeficientes				R^2_{aj}	CV%	F
	b ₀	b ₁	b ₂	b ₃			
1	3,03971*	0,40504*	-----	-----	0,53	16,5	1723,3**
2	3,72162*	0,31592*	0,00273*	-----	0,53	16,4	864,9**
3	2,67151*	0,54557*	-0,01244ns	0,00031ns	0,53	16,4	578,5**
4	-7,83056*	12,49443*	-16,83431*	-----	0,51	16,7	809,5**
5	-8,14555*	2,24933*	-0,00017ns	-----	0,79	17,2	2888,8**
6	1,63568*	0,22125*	-----	-----	0,81	8,5	6590,9**
7	6,40163*	0,10570ns	-9,36486*	0,00758*	0,53	16,4	581,9**
8	0,53920*	0,61644*	-----	-----	0,56	7,1	1963,6**
9	2,59508*	-5,40421*	-----	-----	0,44	8,0	1213,1**
10	0,02836ns	0,79409*	-0,10505ns	-----	0,58	8,9	1054,1**
11	-0,04356ns	-0,74016*	-----	-----	0,58	8,9	2108,9**
12	2,58063*	7,78978*	-----	-----	0,49	9,7	1254,5**

Sendo: b₀, b₁, b₂, b₃= parâmetros das equações; R^2_{aj} = coeficiente de determinação ajustado; CV%= coeficiente de variação em percentagem; F= valor de F; *= significância a 5%; **= significância a 1%; ns= não significativo.

As equações estudadas apresentam coeficiente de determinação ajustado entre 0,44 e 0,81, e coeficiente de variação entre 7,1 e 17%.

Em relação à estatística F, verifica-se que os valores foram altamente significativos em todos os 12 modelos estudados.

A análise da Tabela 12 mostra que as equações 6, 8, 9, e 12, são modelos que apresentaram as melhores estatísticas de ajuste e precisão, sendo o modelo 6 $\frac{d}{\sqrt{h}} = 1,63568 + 0,22125.d$, adotado para descrever a relação hipsométrica das árvores da espécie *Pinus taeda* L., por apresentar um coeficiente de determinação ajustado elevado, com todos os coeficientes significantes, e coeficiente de variação de 8,5%.

A análise gráfica de dispersão de resíduos entre os valores observados e estimados, mostrou que a equação 6 é a que apresenta a melhor distribuição

Outros resultados foram obtidos por diferentes autores, em dependência da variabilidade da relação entre a altura e o diâmetro como os de Aranda et al. (2005) com o modelo modificado de Gaffrey (1988) para o estudo da relação altura-

diâmetro de *Pinus sylvestris* L., expresso por: $h = 1,3 + (h_0 - 1,3).e^{b_1 \cdot \left(\frac{1}{d_0} - \frac{1}{d}\right)}$, apresentando um coeficiente de determinação ajustado de 94%, considerando o diâmetro (d), o diâmetro dominante (d₀) e a altura dominante (h₀) como variáveis independentes, e, Costas et al. (2005), com a equação de Prodan ($h = b_0 + b_1 \cdot \log d$) com um coeficiente de determinação ajustado de 35%.

Floriano (2004) utilizando a equação de Prodan para *Pinus elliottii* Engelm., obteve um valor de 65% para o coeficiente de determinação, e 5,3% para o coeficiente de variação, e Mainardi (1995), com a equação de $\frac{d}{\sqrt{h-1,30}} = b_1.d + b_2.d^2$, obteve um coeficiente de determinação de 99,9% e um erro padrão de estimativa de 3,2%.

4.1.1 Paralelismo e coincidência das curvas de relação hipsométrica sob efeito da idade e sítio

A análise de covariância (ANACOVA) aplicada para regressões independentes de cada uma das unidades amostrais, mostrou existir diferença significativa entre os dados de diâmetro e altura em decorrência da idade (interação d*t), indicando que as curvas de regressão apresentam inclinações diferentes com a variação da idade. A análise da influência do sítio (d*s), não mostrou evidências de existir diferença significativa, indicando que as inclinações das curvas não variaram com o sítio, conforme mostra a Tabela 13.

TABELA 13 - Resultados da análise da covariância para avaliar o efeito da idade na relação hipsométrica em *Pinus taeda* L. em Santo Tomé, Corrientes, Argentina.

FV	GL	SQ	QM	F
Modelo	13	498,802	38,369	381,9**
d	1	370,564	370,564	3689,0**
d*t	4	49,336	12,334	122,8**
d*s	2	0,245	0,123	1,2ns
d*t*s	6	12,804	2,134	21,2**
Resíduo	475	47,713	0,100	
Total	488	546,515		

Sendo: FV= fonte de variação; GL= graus de liberdade; SQ= soma de quadrados; QM= quadrado médio do erro; F= valor de F; **= significância a 1%; ns= não significativo; d= diâmetro; d*t= interação entre o diâmetro com a idade; d*s= interação entre o diâmetro com o sítio; d*t*s= interação entre o diâmetro com a idade e o sítio.

Floriano (2004), em seu estudo de *Pinus elliottii* Engelm., verificou existirem inclinações e interceptos diferentes entre as diversas unidades amostrais.

Bartoszeck, et al. (2004) com o modelo de Curtis ($\ln h = b_0 + b_1 \cdot \frac{1}{d}$), constatou influência significativa da idade e do sítio a 5% de significância, em povoamentos de bracinga.

Para contornar a dificuldade apresentada pela influência do sítio para o uso da equação única, o modelo selecionado para a relação hipsométrica

($d/\sqrt{h} = b_0 + b_1.d$) teve os coeficientes recalculados, em todas as unidades amostrais, de forma independente.

O modelo selecionado, calculado para cada unidade amostral, descreveu os efeitos do sítio e idade sobre a inclinação e intercepto das curvas, possibilitando descrever a relação hipsométrica com boa precisão.

Na Tabela 14 podem ser observados, como exemplo, os coeficientes da equação 6 em quatro unidades amostrais selecionadas aleatoriamente, bem como a significância de cada um, além do coeficiente de determinação ajustado (R^2_{aj}), o coeficiente de variação em percentagem (CV%) e a estatística F (F).

TABELA 14 - Coeficientes e estatísticas para o modelo de relação hipsométrica ajustada de 4 unidades amostrais para *Pinus taeda* L. em Santo Tomé, Corrientes, Argentina.

U.A.	Coeficientes		R^2_{aj}	CV%	F
	b_0	b_1			
1	0,59963*	0,24100*	0,99	2,3	2375,4**
2	0,79771*	0,22720*	0,97	2,9	570,6**
3	1,04807*	0,26009*	0,96	2,5	498,7**
4	1,31138*	0,26706*	0,97	2,1	654,4**

Sendo: b_0 , b_1 = parâmetros das equações; R^2_{aj} = coeficiente de determinação ajustado; CV%= coeficiente de variação em percentagem; F= valor de F; *= significância a 5%; **= significância a 1%; ns= não significativo; U.A.= unidade amostral.

Os coeficientes de determinação calculados para as unidades amostrais, foram superiores a 95% e com coeficiente de variação inferior a 3%, quando ajustados os dados de cada unidade amostral.

Na Figura 2 (A, B, C, D) apresenta-se a distribuição dos dados mensurados a campo e a reta da regressão obtida pela equação 6, onde se observa o bom ajuste das equações para os dados das unidades amostrais.

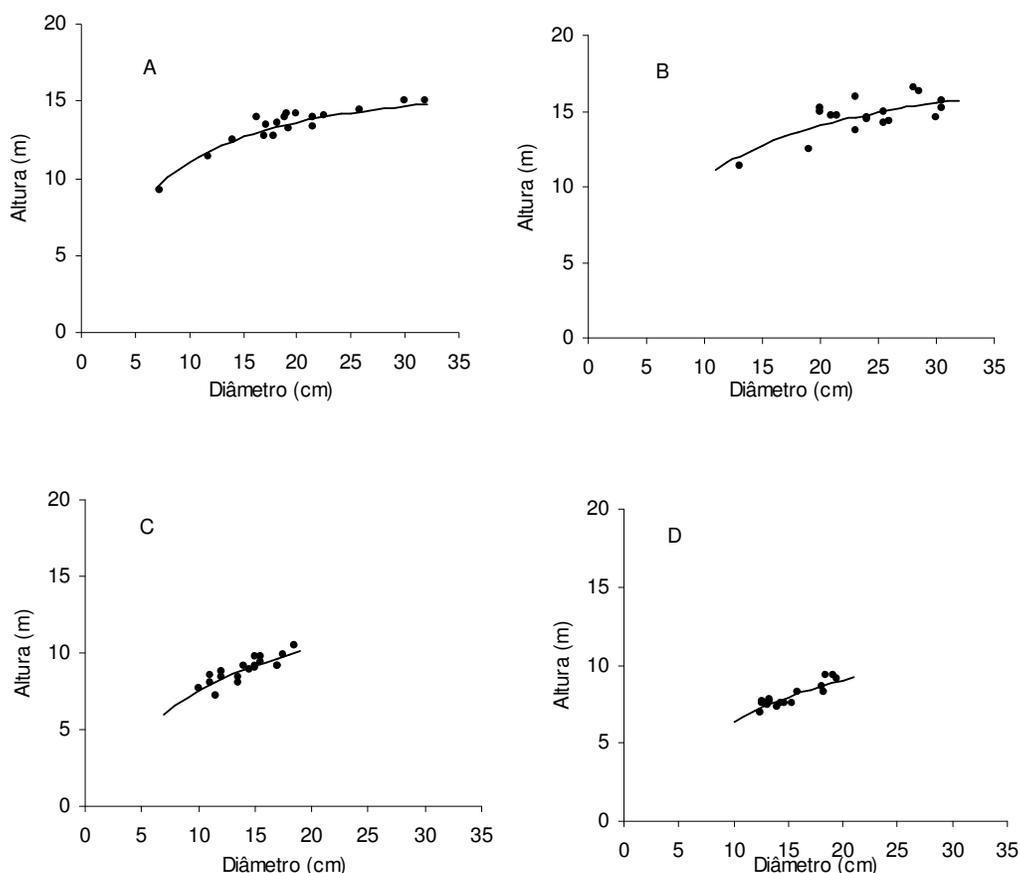


FIGURA 2 - Alturas observadas e estimadas pela equação 6 em unidades amostrais de uma floresta de *Pinus taeda* L. em Santo Tomé, Corrientes, Argentina.

4.2 Volume individual

Na Tabela 15 podem ser observados os coeficientes dos 7 modelos matemáticos testados e a significância de cada um deles, o coeficiente de determinação ajustado (R^2_{aj}), o coeficiente de variação em porcentagem (CV%) e a estatística F (F), na seleção do volume individual das árvores.

As equações estudadas apresentam um coeficiente de determinação ajustado maior que 0,89, um coeficiente de variação entre 2,9 e 31%, e valores da estatística F, altamente significativos em todos os 7 modelos estudados.

A análise das estatísticas mostra que as equações 2, 5 e 6 são válidas para descrever o crescimento em volume individual, para o conjunto de dados. Entretanto, foi adotado o modelo 6 de Schumacher e Hall, estimando-se assim, os

volumes individuais das árvores da espécie *Pinus taeda* L., por apresentar o coeficiente de variação de 2,9%, e um coeficiente de determinação ajustado de 0,99 com todos os coeficientes significantes.

TABELA 15 - Coeficientes e estatísticas para o modelo de volume individual para *Pinus taeda* L. em Santo Tomé, Corrientes, Argentina.

Equação N ^o	Coeficientes				R ² _{aj}	CV%	F
	b ₀	b ₁	b ₂	b ₃			
1	-0,16695*	0,001256*	0,00896*	-----	0,90	28,2	443,0**
2	0,00627*	0,00003*	-----	-----	0,99	8,4	11035,0**
3	-0,00220ns	0,00001 ns	0,00003*	0,00111ns	0,99	8,3	3712,1**
4	0,00300ns	-7,31632E-8*	0,00004*	-----	0,99	7,9	6139,3**
5	-8,93409*	2,37214*	-----	-----	0,97	6,7	3074,5**
6	-9,40378*	1,84287*	0,85244*	-----	0,99	2,9	8657,6**
7	-4,84769*	0,04241*	-----	-----	0,90	12,2	869,8**

Sendo: b₀, b₁, b₂, b₃= parâmetros das equações; R²_{aj}= coeficiente de determinação ajustado; CV%= coeficiente de variação em percentagem; F= valor de F; *= significância a 5%; **= significância a 1%; ns= não significativo.

A análise gráfica de dispersão de resíduos, entre os valores observados e estimados, mostrou que a equação 6 apresenta distribuição satisfatória para o conjunto de dados entre as equações testadas, evidenciando a seleção do modelo. Este fato pode ser constatado também pela relação entre o volume observado e o volume estimado (Figura 3).

Na Figura 4 verifica-se a distribuição dos dados observados, e o ajuste dos volumes estimados plotados em forma bidimensional em função da altura.

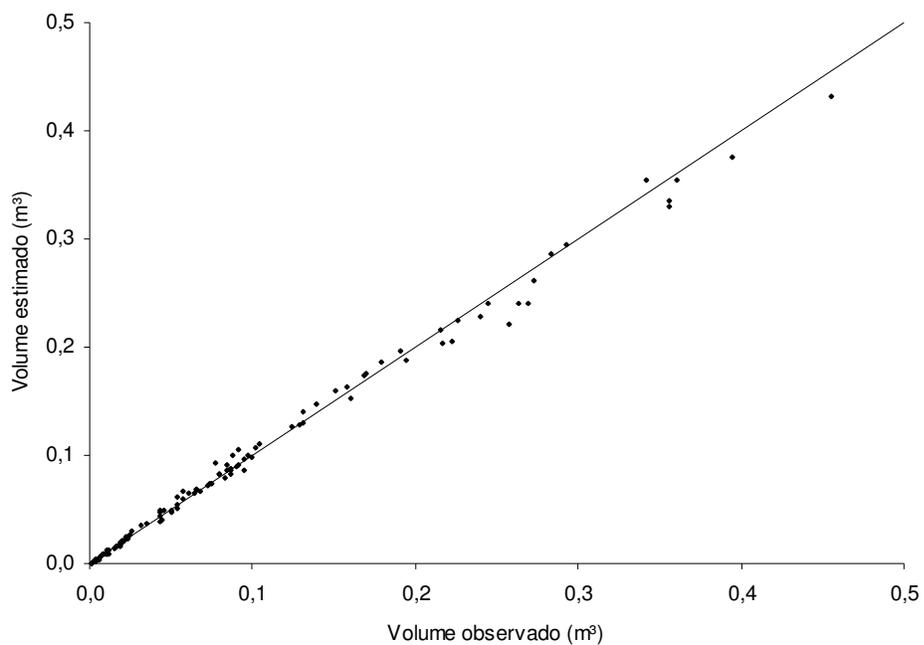


FIGURA 3 - Relação entre o volume observado e o volume estimado para *Pinus taeda* L. em Santo Tomé, Corrientes, Argentina.

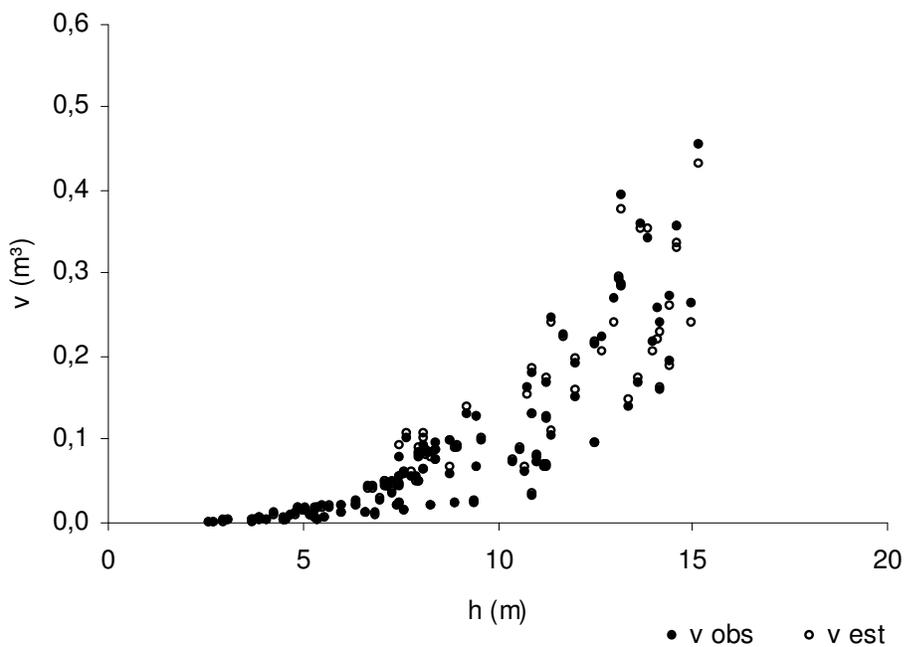


FIGURA 4 - Relação do volume individual com a altura pelo modelo de Schumacher e Hall para *Pinus taeda* L. em Santo Tomé, Corrientes, Argentina.

O resultado, apresentado na Figura 4, mostra a boa flexibilidade da equação selecionada na obtenção de volume individual observado, em comparação ao ajustado. A figura mostra a boa sobreposição dos valores observados e estimados em toda a amplitude dos dados.

O modelo de Schumacher e Hall foi também selecionado por Thomas et al. (2006) para estimativas de volume com casca de *Pinus taeda* L., apresentando um coeficiente de determinação de 0,99 e um coeficiente de variação de 8,2%, e por Drescher (2004), para descrever o volume de *Tectona grandis* Linn F., sendo que o mesmo apresentou um coeficiente de determinação de 0,98 e um erro padrão da estimativa de 3,4%.

Keller et al. (2006) utilizaram o modelo de Prodan modificado para descrever o volume com casca de *Pinus taeda* L., obtendo um coeficiente de determinação de 99%, e um erro padrão da estimativa de 0,09%.

4.2.1 Análise de covariância para avaliar o efeito do sítio no volume individual das árvores.

Segundo resultados gerados pela ANACOVA (análise de covariância), não existe diferença significativa entre o volume individual de árvores dos sítios estudados. Os resultados da Tabela 16 mostram que as variáveis dummy (D1, D2 e D3) não são significantes, indicando que as curvas de volume dos três sítios tem intercepto comum. A interação entre a variável que descreve o sítio, as variáveis dummy e, a variável ld , também mostraram que não houve diferenças entre os sítios estudados, podendo ser empregada uma equação comum para descrever o volume dos mesmos.

Floriano (2004) aplicou a análise de covariância para a equação de volume de Stoate, observando que não foi necessário o ajuste por tratamento, pois as inclinações e os níveis são semelhantes. Seu estudo revelou um $F = 1,10$, para a interação no modelo correspondente, e $F = 0,30$, para tratamentos no modelo sem a interação.

TABELA 16 - Resultados da análise da covariância para avaliar o efeito do sítio no volume individual em *Pinus taeda* L. em Santo Tomé, Corrientes, Argentina.

FV	GL	SQ	QM	F
Modelo	6	97,311	16,218	2829,2**
ld	1	94,895	94,895	16553,6**
L h	1	2,404	2,404	419,3**
D1	1	0,004	0,004	0,7ns
D2	1	0,007	0,007	1,3ns
D3	0	0	.	.
D1*ld	1	0,0004	0,0004	0,1 ns
D2*ld	1	0,0005	0,0005	0,1ns
D3*ld	0	0	.	.
Resíduo	90	0,516	0,006	
Total	96	97,827		

Sendo: FV= fonte de variação; GL= graus de liberdade; SQ= soma de quadrados; QM= quadrado médio do erro; F= teste de F; **= significância a 1%; ns= não significativo; D1, D2, D3= variáveis Dummy; ld= logaritmo do diâmetro; lh= logaritmo da altura; D1*ld, D2*ld, D3*ld= interação das variáveis Dummy com o logaritmo do diâmetro.

Os valores plotados na Figura 5 representam uma amostra aleatória dos valores reais de volume cubados. O mesmo pode ser verificado no gráfico dos volumes observados, dos sítios 1 (em círculo), 2 (em quadrado) e 3 (em triângulo), em que ocorre uma tendência de superposição desses volumes.

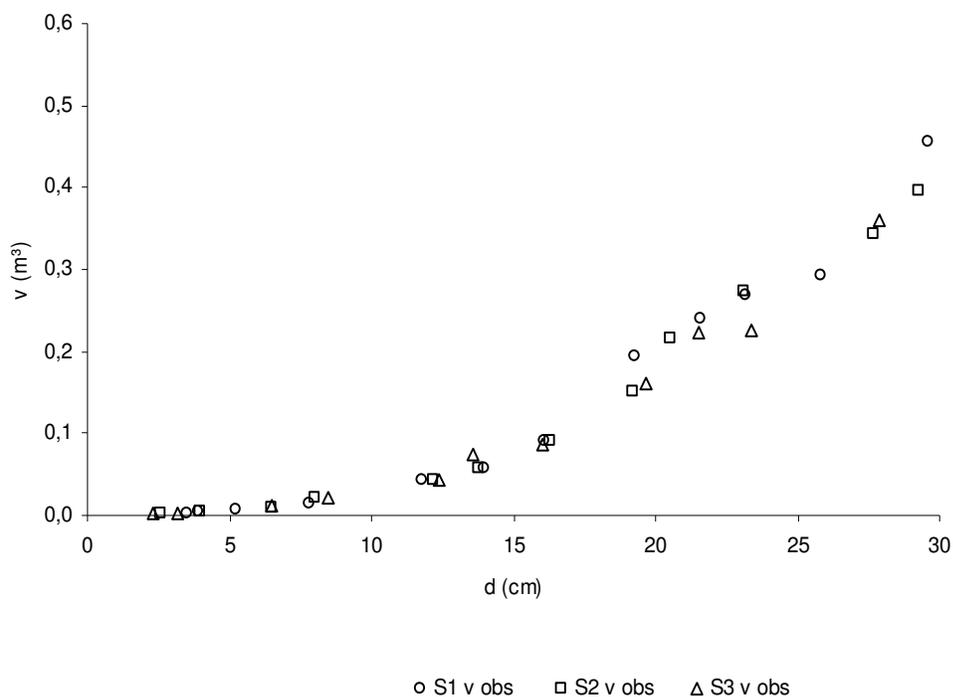


FIGURA 5 - Volume de árvores cubadas em três sítios de florestas de *Pinus taeda* L. em Santo Tomé, Corrientes, Argentina.

4.3 Crescimento em altura dominante

O ajuste das funções de crescimento, com os dados da análise de tronco das 20 árvores amostradas, estão representados na Tabela 17. Nesta tabela, podem ser observados os coeficientes com sua significância, o coeficiente de determinação ajustado (R^2_{aj}), o coeficiente de variação em porcentagem (CV%) e a estatística F (F).

As equações apresentam coeficiente de determinação ajustado entre 0,87 e 0,95, coeficiente de variação de 5,9 e 13,2%, e a estatística F, com valores altamente significativos, para todos os 8 modelos estudados, demonstrando a alta associação entre as variáveis idade e altura dominante.

TABELA 17 - Coeficientes e estatísticas para o modelo de altura dominante para *Pinus taeda* L. em Santo Tomé, Corrientes, Argentina.

Equação N ^o	Coeficientes				R ² _{aj}	CV%	F
	b ₀	b ₁	b ₂	b ₃			
1	-6,82520*	4,6488*	-0,26134*	0,00493*	0,90	11,3	627,3**
2	1,87773*	-0,12158*	0,04813*	-----	0,95	12,6	1927,9**
3	0,08483ns	1,92725*	0,14239*	-----	0,89	5,9	833,7**
4	-0,95979*	2,88097*	-0,52061*	-----	0,89	5,9	851,8**
5	1,16280*(a)	1,72890*(b)	0,12080*(c)	-----	0,90	11,4	5971,8**
6	30,89840*(a)	0,08600*(k)	-----	-----	0,87	13,2	6641,3**
7	21,57130*(a)	0,28580*(k)	2,65460*(r)	-----	0,90	11,3	6092,4**
8	22,74880*(a)	1,44140*(b)	0,19970*(c)	-----	0,90	11,3	931,4**

Sendo: b₀, b₁, b₂, b₃, a, b, c, k, r= parâmetros das equações; R²_{aj}= coeficiente de determinação ajustado; CV%= coeficiente de variação em percentagem; F= teste de F; *= significância a 5%; **= significância a 1%; ns= não significativo.

De acordo com os critérios de seleção, a função 4 foi selecionada para descrever o crescimento da altura dominante, em função da idade, $\ln h_{100} = -0,95979 + 2,88097 \cdot \ln t - 0,52061 \cdot \ln^2 t$, apresentando um coeficiente de determinação ajustado de 0,89, e um coeficiente de variação de 5,9%.

A análise gráfica de dispersão de resíduos entre os valores observados e estimados, mostrou que a equação 4 é a que apresenta a melhor distribuição, certificando a seleção do modelo (Figura 6).

Schneider et al. (2007), em seu estudo sobre crescimento da altura dominante de *Pinus taeda* L., selecionaram a equação de Gram, expressa por: $\ln h_{100} = b_0 + b_1 \cdot \ln t + b_2 \cdot t$ com um coeficiente de determinação ajustado de 0,99 e um coeficiente de variação de 7,2%.

Marcolin (1990), no estudo do crescimento de altura dominante de *Pinus taeda* L., selecionou a equação de Prodan, que apresentou valores de coeficiente de determinação de 80%, e um coeficiente de variação de 30,4%.

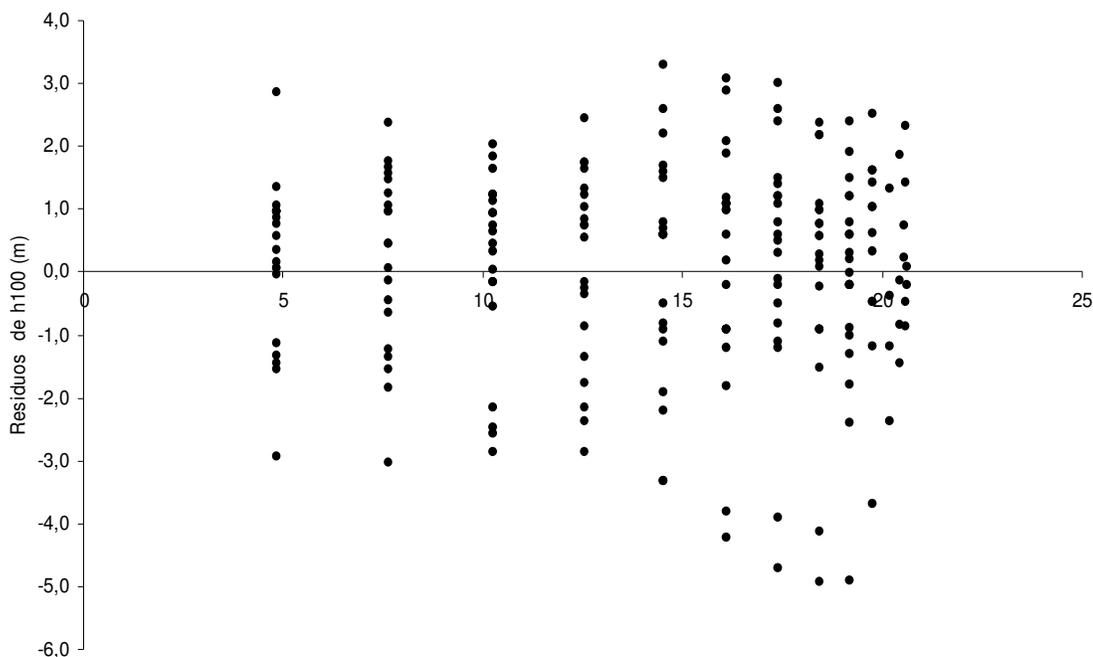


FIGURA 6 - Resíduos de equação 4 de altura dominante em função da idade para *Pinus taeda* L. em Santo Tomé, Corrientes, Argentina.

Tonini (2000) e Selle (1993) utilizaram a equação de Richards com 3 coeficientes, obtendo um valor de 99% de coeficiente de determinação e um erro padrão menor a 3%.

Tonini et al. (2006), em outro estudo sobre crescimento da altura dominante de *Eucalyptus saligna* Smith, selecionou a equação de Backman como a que apresentou uma boa distribuição de resíduos para os diferentes clones estudados, e apresentando valores de coeficiente de determinação entre 0,73 e 0,96, e um erro padrão entre 8,6 e 16,7%.

Scheeren (2003) encontrou a equação de Prodan como a que melhor descreveu a altura dominante de *Eucalyptus saligna* Smith, apresentando um coeficiente de determinação de 0,99 e coeficiente de variação de 0,7%.

Brasil (1989) selecionou a equação de Prodan para testar as estimativas de sítio de *Pinus elliottii* Engelm. e *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze., obtendo um coeficiente de determinação de 0,99 para ambas espécies e um erro padrão de estimativa igual a 8,8 e 7,5%, respectivamente.

4.3.1 Análise de covariância para avaliar o efeito do sítio na altura dominante

Segundo os resultados oferecidos pela ANACOVA (análise de covariância), não há evidências de inclinação diferentes entre as curvas ajustadas aos dados de altura e idade de árvores dos sítios 1 e 2 ($lt*s$ e $l2t*s$), podendo ser aplicada uma equação geral única de altura dominante (Tabela 18).

TABELA 18 - Resultados da análise da covariância para avaliar o efeito do sítio na altura dominante em *Pinus taeda* L. em Santo Tomé, Corrientes, Argentina.

FV	GL	SQ	QM	F
Modelo	5	107,317	21,463	445,4**
s	1	0,042	0,042	0,8ns
lt	1	99,07	99,07	2055,9**
l2t	1	8,198	8,198	170,1**
lt*s	1	0,001	0,001	0,02ns
l2t*s	1	0,064	0,064	0,1ns
Resíduo	222	10,698	0,048	
Total	227	118,015		

Sendo: FV= fonte de variação; GL= grau de liberdade; SQ= soma de quadrados; QM= quadrado médio do erro; F= valor de F; **= significância a 1%; ns= não significativo; s= sítio; lt= logaritmo da idade; l2t=logaritmo ao quadrado da idade; lt*s= do logaritmo da idade com o sítio; l2t*s= logaritmo ao quadrado da idade com o sítio.

Considerando estes resultados, foram geradas curvas de índice de sítio do tipo monomórficas, utilizando-se os coeficientes da equação selecionada.

Selle (1993) trabalhando com *Pinus taeda* L. aplicou uma análise de covariância dos coeficientes A, K e R no modelo de regressão (Richards), entre os 3 sítios estudados, observando que existiram diferenças significativas do coeficiente A a 95% de probabilidade, e não significância dos coeficientes K e R, entre os sítios naturais 1 e 3, mostrando que o desenvolvimento das curvas era o mesmo,

diferindo, como esperado quanto ao nível, podendo representar curvas de crescimento de mesma inclinação, mas com nível diferente.

Em outro estudo, Tonini (2000), trabalhando com *Pinus elliottii* Engelm., encontrou diferenças significativas a 5% ($F= 372,340$ e $42,4123$), tanto em nível (árvore), como em inclinação (idade*árvore).

Na Figura 7 verifica-se a relação da altura dominante observada e altura dominante estimada, pelo modelo da equação de Backman para *Pinus taeda* L. (Santo Tomé, Corrientes, Argentina). Os dados da figura mostram o excelente ajuste da equação de regressão.

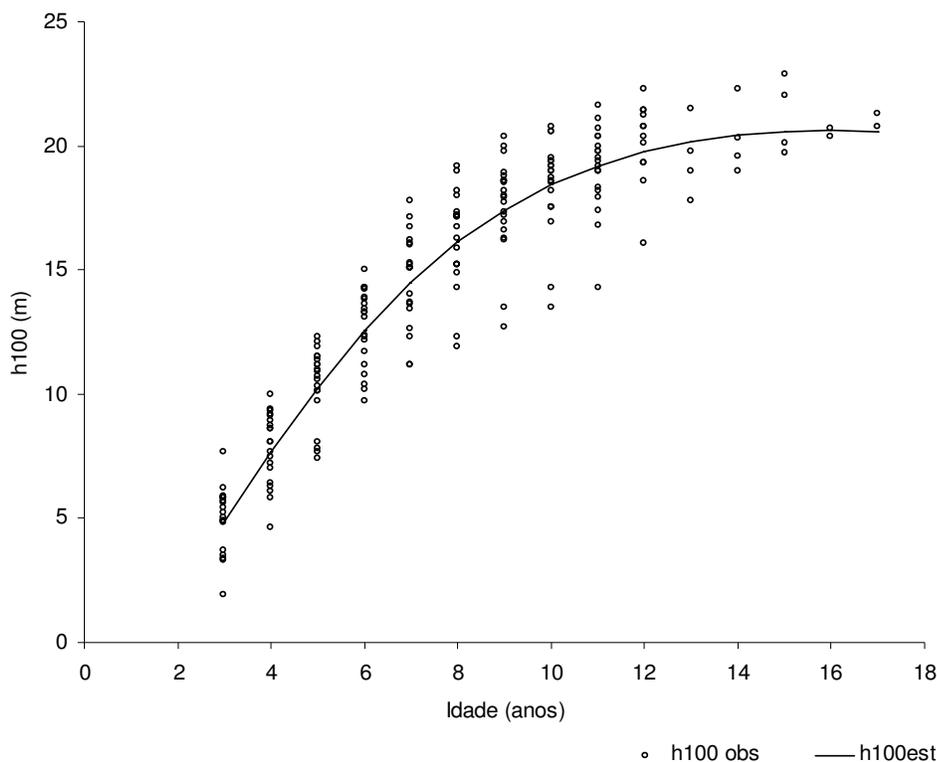


FIGURA 7 - Relação da altura dominante com a idade pelo modelo da equação de Backman para *Pinus taeda* L. em Santo Tomé, Corrientes, Argentina.

A partir desse resultado foram elaboradas as curvas de índice de sítio com idade índice de 12 anos, sendo o número de curvas necessárias para cobrir a variação estabelecida em função da variação da altura dominante e idade das

unidades amostrais, inventariadas em ocasiões sucessivas, em diferentes fazendas e talhões.

O modelo de Backman ajustado acompanha a tendência de crescimento das parcelas temporárias, o que juntamente com as medidas de precisão o caracteriza como um bom modelo para descrever o crescimento em altura dominante para a região em estudo.

Na Tabela 19 estão relacionados os valores de altura dominante correspondentes às curvas de índice de sítio.

TABELA 19 - Valores de altura dominante por índice de sítio e idade para *Pinus taeda* L. em Santo Tomé, Corrientes, Argentina.

Idade (anos)	Curva mestre	Índice de sítio							
		10	12	14	16	18	20	22	24
3	4,8	2,4	2,9	3,4	3,9	4,4	4,9	5,4	5,9
4	7,6	3,9	4,6	5,4	6,2	7,0	7,7	8,5	9,3
5	10,3	5,2	6,2	7,3	8,3	9,3	10,4	11,4	12,5
6	12,6	6,4	7,6	8,9	10,2	11,4	12,7	14,0	15,2
7	14,5	7,3	8,8	10,3	11,7	13,2	14,7	16,1	17,6
8	16,1	8,1	9,8	11,4	13,0	14,7	16,3	17,9	19,6
9	17,4	8,8	10,6	12,3	14,1	15,8	17,6	19,4	21,1
10	18,4	9,3	11,2	13,0	14,9	16,8	18,6	20,5	22,4
11	19,2	9,7	11,7	13,6	15,5	17,5	19,4	21,4	23,3
12*	19,8	10,0	12,0	14,0	16,0	18,0	20,0	22,0	24,0
13	20,2	10,2	12,2	14,3	16,3	18,4	20,4	22,4	24,5
14	20,4	10,3	12,4	14,5	16,5	18,6	20,7	22,7	24,8

* idade índice.

Observa-se, na Figura 8, que foram geradas oito curvas com intervalo de 2 metros, abrangendo toda a variação em altura dominante observada, nos índices de sítio de 10 e 24 metros.

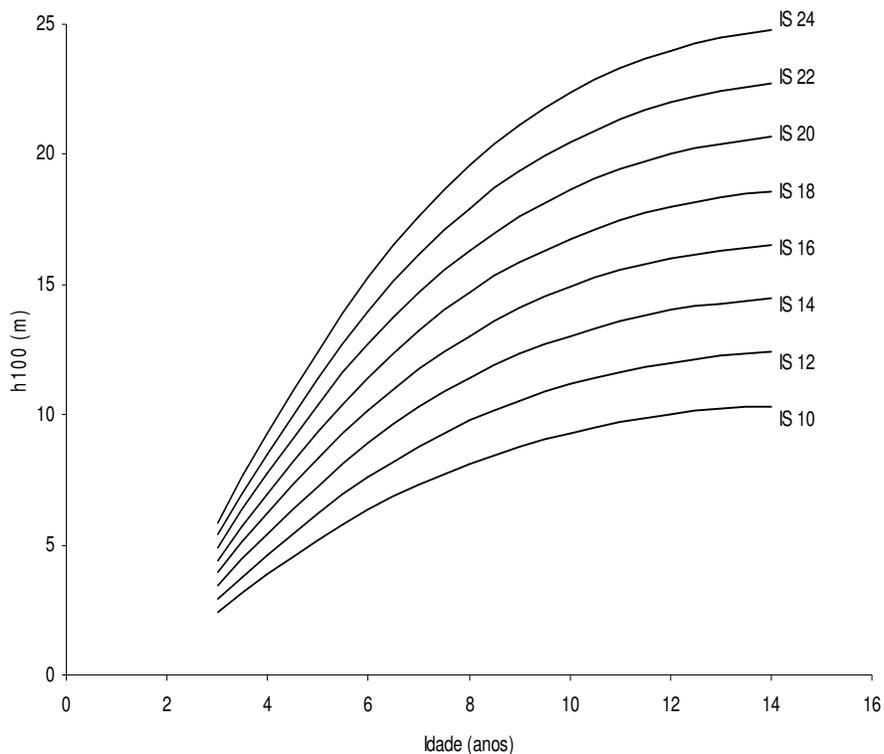


FIGURA 8 - Distribuição das alturas dominantes observadas nas curvas de índice de sítio para *Pinus taeda* L. em Santo Tomé, Corrientes, Argentina.

4.4 Diâmetro da árvore de área basal média

Os coeficientes dos modelos utilizados para estimar o diâmetro da árvore de área basal média (d_g) estão relacionados na Tabela 20 com o coeficiente de determinação ajustado (R^2_{aj}), o coeficiente de variação em percentagem (CV%) e a estatística F.

Os coeficientes de determinação dos modelos testados foram superiores a 0,62, os coeficientes de variação foram superiores a 3,6 % e inferiores a 13 %. A

estatística F apresentou valores altamente significativos em todos os 11 modelos estudados.

TABELA 20 - Coeficientes e estatísticas para o modelo de diâmetro da árvore de área basal média ajustado para *Pinus taeda* L. em Santo Tomé, Corrientes, Argentina.

Equação N ^o	Coeficientes			R ² _{aj}	CV%	F
	b ₀	b ₁	b ₂			
1	5,63399 *	0,98420 *	-----	0,65	9,9	145,7**
2	-----	1,51114 *	-----	0,98	12,3	5345,4**
3	-8,98555*	10,70995*	-----	0,66	9,7	153,2**
4	-----	6,84289*	-----	0,98	10,8	6868,3**
5	-5,18583*	25,12001*	-----	0,66	9,7	154,3**
6	-----	18,95192*	-----	0,99	10,2	7755,9**
7	1,15941*	0,68548*	-----	0,63	3,8	132,5**
8	-----	1,18445*	-----	0,99	5,3	28661,4**
9	1,39591*	1,61583*	-----	0,63	3,8	137,0**
10	-0,98600ns	2,53762*	-0,39635ns	0,64	3,7	67,5**
11	-----	1,69872*	-0,21927*	0,99	3,7	28434,7**

Sendo: b₀, b₁, b₂= parâmetros das equações; R²_{aj}= coeficiente de determinação ajustado; CV%= coeficiente de variação em porcentagem; F= valor de F; *= significância a 5%; **= significância a 1%; ns= não significativa.

A análise da Tabela 20 mostra que as equações 7, 8 e 9 são modelos válidos para descrever o comportamento do diâmetro da árvore de área basal média, apresentando estatísticas semelhantes à equação 11. Entretanto, foi adotado o modelo da equação 11 ($\ln dg = 1,69872 \cdot \ln h_{100} - 0,21927 \cdot \ln^2 h_{100}$), por apresentar um coeficiente de determinação ajustado de 0,99, e um coeficiente de variação de 3,7%.

Na Figura 9 podem ser verificados os resíduos entre o diâmetro observado da árvore de área basal média e o diâmetro estimado da equação 11.

Mainardi (1995), em seu trabalho sobre produção de uma floresta de *Pinus taeda* L., na região de Cambará do Sul, RS, estimou o diâmetro da árvore de área

basal média em função da altura média, aplicando a equação logarítmica: $\ln dg = 2,135496 - 0,527646 \cdot \ln h_m + 0,323182 \cdot (\ln h_m)^2$ que apresentou boa distribuição de resíduos, um erro padrão da estimativa de 4,8% e um coeficiente de determinação ajustado de 0,93.

Drescher (2004) para o mesmo fim, utilizou a equação $\ln dg = 0,475 - 0,820 \cdot \ln h_m$ para *Tectona grandis* Linn F., com coeficiente de determinação de 0,99, e um erro padrão da estimativa de 4,5%.

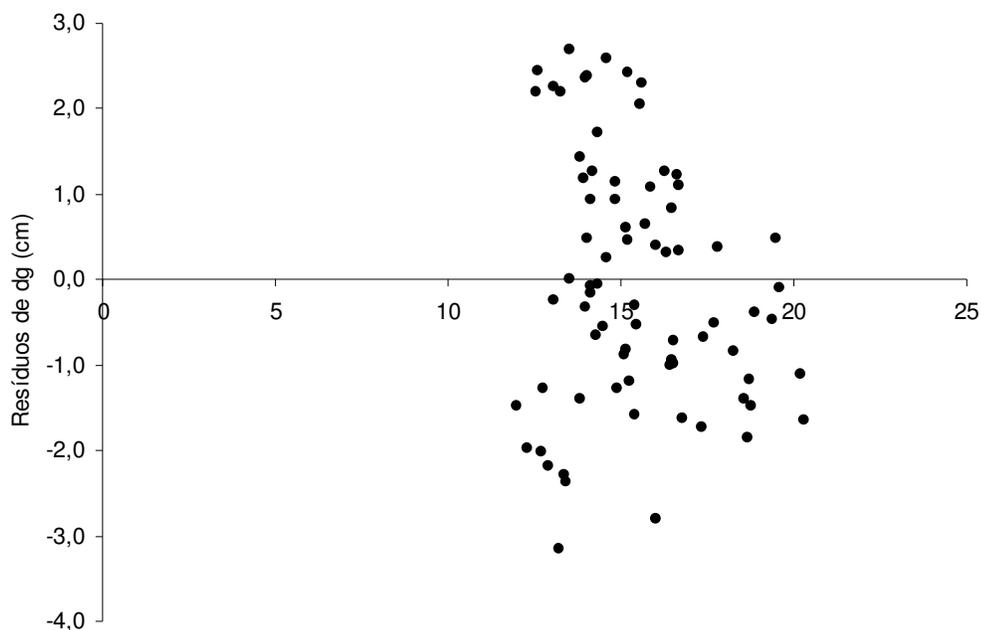


FIGURA 9 - Resíduos de equação 11 de diâmetro da árvore de área basal média para *Pinus taeda* L. (Santo Tomé, Corrientes, Argentina).

4.5 Número de árvores por hectare

As equações da Tabela 7, testadas para descrever o número de árvores por hectare, não apresentaram valores significantes na análise de variância indicando não haver regressão. Assim, o melhor estimador para o número de árvores é a média da variável dependente.

Esse resultado pode ser comprovado na Figura 10, onde se observa pouca variação do número de árvores em função da idade, decorrente do não estabelecimento da mortalidade, até os 8 anos, em povoamentos com espaçamento inicial de 4,0 m x 1,75 m.

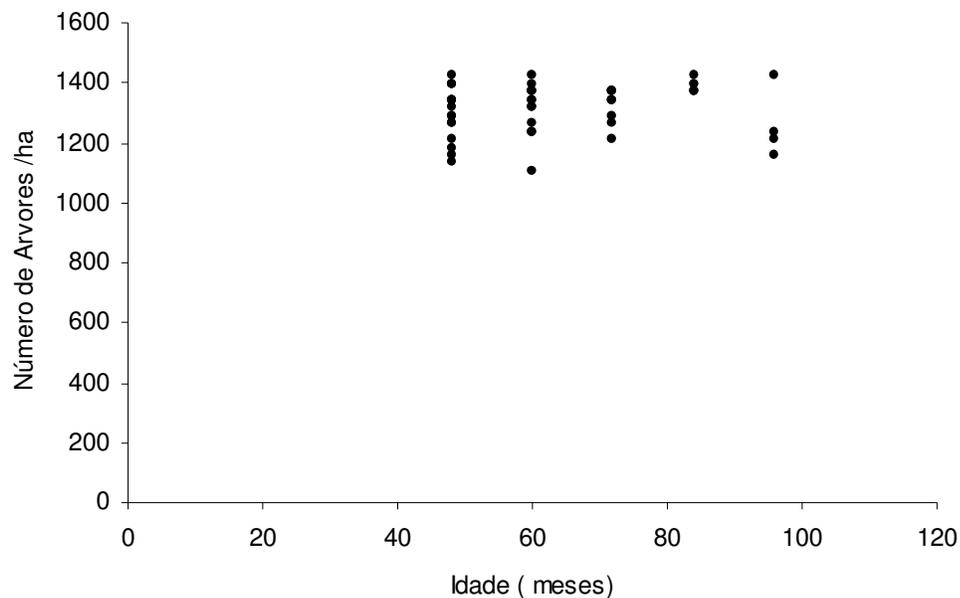


FIGURA 10 - Número de árvores observadas

4.6 Área basal por hectare

Os resultados apresentados na Tabela 21 mostram coeficientes de determinação superiores a 0,77 e coeficientes de variação inferiores a 18%, e, estatísticas F altamente significativas.

TABELA 21 - Coeficientes e estatísticas para o modelo de área basal ajustado para *Pinus taeda* L. em Santo Tomé, Corrientes, Argentina.

Equação N ^o	Coeficientes			R ² _{aj}	CV%	F
	b ₀	b ₁	b ₂			
1	-11,29664*	2,39280*	-----	0,78	12,9	325,9**
2	-----	0,09819*	-----	0,97	17,4	3262,7**
3	-1,21178*	1,61704*	-----	0,83	4,0	458,4**
4	-----	0,59112*	-----	0,99	4,6	43900,2**
5	-6,15626*	4,48325*	-0,18474*	0,87	3,5	317,4**
6	4,83131*	-24,54267*	-----	0,86	3,6	585,9**
7	-----	1,78627*	-0,16742*	0,99	6,8	11030,7**

Sendo: b₀, b₁= parâmetros das equações; R²_{aj}= coeficiente de determinação ajustado; CV%= coeficiente de variação em percentagem; F= valor de F; *= significância a 5%; **= significância a 1%; ns= não significativa.

A análise da Tabela mostrou que as equações 5, 6 e 7 são modelos válidos para descrever a área basal por hectare.

Esses resultados permitiram selecionar a equação 7 como a mais adequada para determinar a área basal por hectare, fato observado na análise gráfica dos resíduos (Figura 11), onde se verifica que os valores gerados são bastante aproximados aos valores reais calculados nas parcelas mensuradas. Essa equação apresentou um coeficiente de determinação ajustado de 0,99 e um coeficiente de variação de 6,8%, sendo expressa por $\ln G = b_1 \cdot \ln h_{100} + b_2 \cdot \ln^2 h_{100}$.

Na Figura 12, verifica-se a relação da área basal por hectare observada e área basal por hectare estimada, pelo modelo da equação 7.

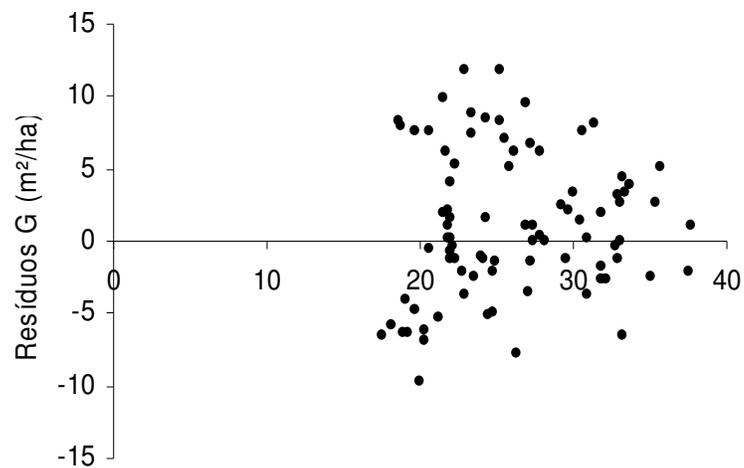


FIGURA 11 - Resíduos de equação 7 de área basal para *Pinus taeda* L. em Santo Tomé, Corrientes, Argentina.

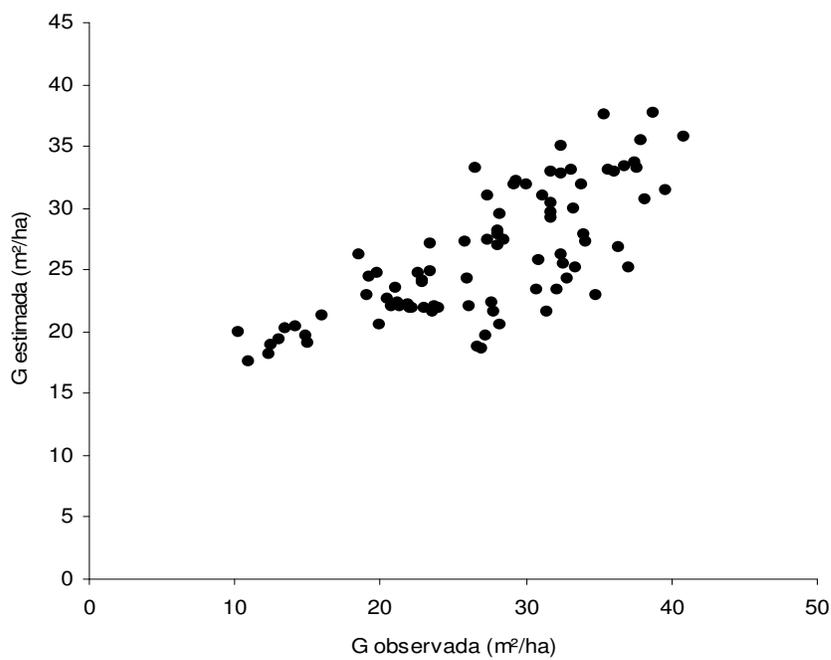


FIGURA 12 - Relação da área basal observada com a área basal estimada da equação 7 para *Pinus taeda* L. em Santo Tomé, Corrientes, Argentina.

4.7 Volume por hectare

Os coeficientes dos modelos testados para estimar o volume por hectare de *Pinus taeda* L. foram relacionados na Tabela 22 com o coeficiente de determinação ajustado (R^2_{aj}), o coeficiente de variação em percentagem (CV%) e a estatística F (F).

As equações estudadas apresentaram um coeficiente de determinação superior a 0,97, um coeficiente de variação entre 0,6 e 4,9%, e a estatística F mostrou-se altamente significativa em todos os 4 modelos estudados.

TABELA 22 - Coeficientes e estatísticas para o modelo de volume por hectare ajustado para *Pinus taeda* L. em Santo Tomé, Corrientes, Argentina.

Equação N ^o	Coeficientes			R^2_{aj}	CV%	F
	b ₀	b ₁	b ₂			
1	-113,17135*	4,04256*	13,10425*	0,98	4,9	2874,1**
2	6,93087*	0,42854*	-----	0,99	3,2	13403,2**
3	-----	0,44952*	-----	0,99	3,9	57250,2**
4	-0,47410*	0,50158*	0,86198*	0,99	0,6	9767,3**

Sendo: b₀, b₁, b₂= parâmetros das equações; R^2_{aj} = coeficiente de determinação ajustado; CV%= coeficiente de variação em percentagem; F= valor de F: *= significância a 5%; **= significância a 1%; ns= não significativa.

A análise da tabela mostra que as 4 equações testadas foram válidas para descrever o volume por hectare. Entretanto, foi selecionado o modelo 4 $\ln V = -0,47410 + 0,50158 \cdot \ln G^2 + 0,86198 \cdot \ln h_{100}$ para estimar o volume do povoamento de *Pinus taeda* L., que teve um coeficiente de determinação ajustado de 0,99, e um coeficiente de variação de 0,6%.

A análise gráfica dos resíduos mostrou que a equação 4 apresenta valores bem distribuídos em toda a amplitude da variável prognosticada (Figura 13).

Na Figura 14 verifica-se a distribuição dos dados observados e o ajuste do volume por hectare pela equação 4, em função da altura dominante de área basal.

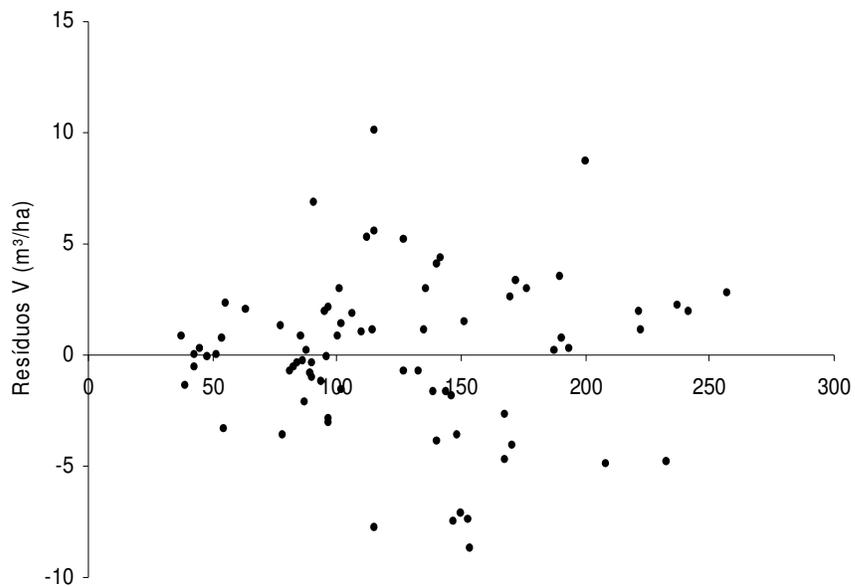


FIGURA 13 - Resíduos da equação 4 para volume por hectare para *Pinus taeda* L. em Santo Tomé, Corrientes, Argentina.

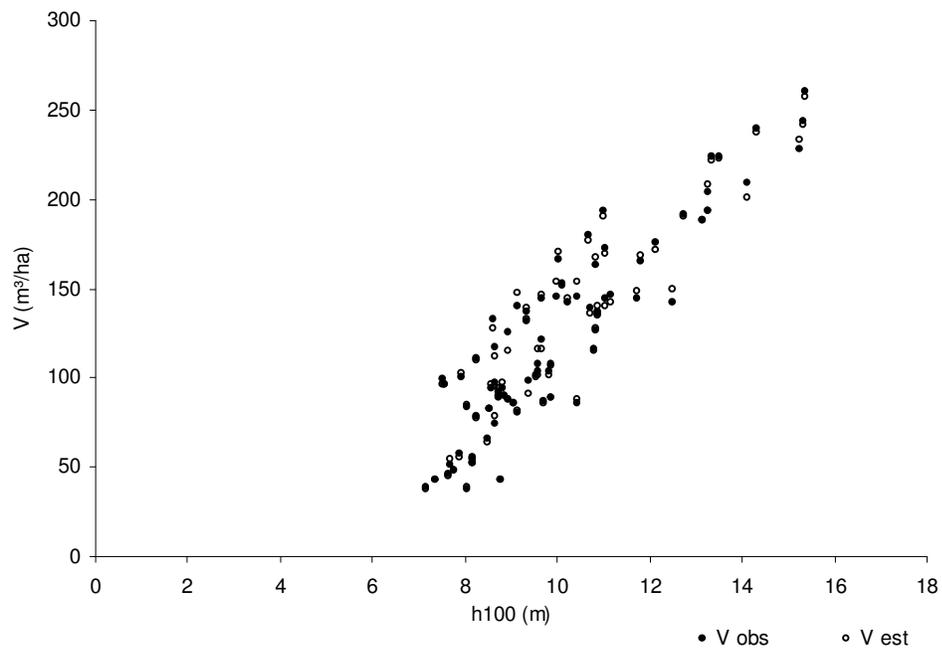


FIGURA 14 - Relação do volume por hectare com a altura dominante pelo modelo da equação 4 para *Pinus taeda* L. em Santo Tomé, Corrientes, Argentina.

4.8 Fator de forma artificial

Os parâmetros estatísticos obtidos nas equações matemáticas para descrever o fator de forma artificial e o diâmetros relativo $d_{03}h$ foram apresentados nas Tabelas 23 e 24, respectivamente. Nas mesmas, podem ser observados os coeficientes com a sua significância, o coeficiente de determinação ajustado (R^2_{aj}), o coeficiente de variação em percentagem (CV%) e a estatística F (F). Os modelos testados para o fator de forma artificial, e para os diâmetros relativos, apresentam valores F altamente significativos em todos os casos.

TABELA 23 - Coeficientes e estatísticas para o modelo de fator de forma artificial ajustado para *Pinus taeda* L. em Santo Tomé, Corrientes, Argentina.

Equação N ^o	Coeficientes				R^2_{aj}	CV%	F
	b_0	b_1	b_2	b_3			
1	0,71365*	-0,00634*	-0,01116*	-----	0,65	10,3	94,8**
2	0,09956*	0,45010*	0,26882*	0,53626*	0,94	4,1	576,9**
3	-----	0,62731*	0,07604ns	0,42174*	0,99	4,7	16416,4**
4	-0,01341ns	0,13058*	0,65717*	-----	0,90	5,3	489,2**
5	-----	0,12717*	0,64114*	-----	0,99	5,3	18649,8**

Sendo: b_0 , b_1 , b_2 , b_3 = parâmetros das equações; R^2_{aj} = coeficiente de determinação ajustado; CV%= coeficiente de variação em percentagem; F= valor de F; *= significância a 5%; **= significância a 1%; ns= não significativa.

As equações geradas para o fator de forma artificial, apresentaram um coeficiente de determinação ajustado maior que 0,64, e um coeficiente de variação entre 4 e 11%.

Os resultados na Tabela 23 mostram que as equações 2 e 5 são modelos válidos para descrever o fator de forma. Entretanto, foi selecionada a equação 2 por apresentar um coeficiente de determinação ajustado de 0,94 e um coeficiente de variação de 4,1%, mostrando ainda a melhor distribuição dos resíduos na amplitude dos valores prognosticados.

Na Figura 15 podem ser observados os resíduos entre o fator de forma observado e o fator de forma estimado pela equação 2, em função da altura.

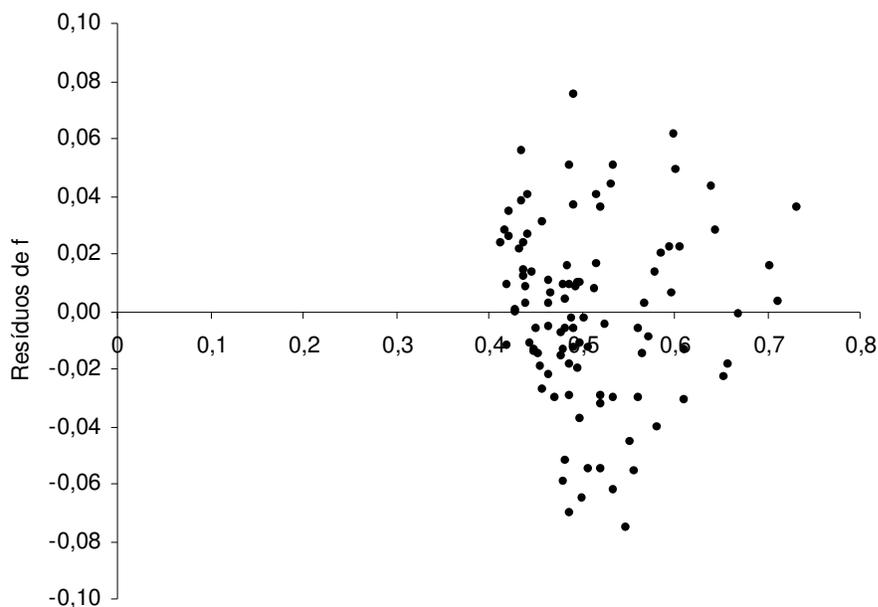


FIGURA 15 - Resíduos de equação 2 de fator de forma para *Pinus taeda* L. em Santo Tomé, Corrientes, Argentina.

Na Figura 16 está apresentada a distribuição dos dados observados e o ajuste do fator de forma pela equação 2, em função da altura, onde foi possível observar o bom ajuste proporcionado pela mesma para os dados de fator de forma observados.

A equação selecionada $f = 0,09956 + 0,45010 \cdot (d_{0,3h}/d)^2 + 0,26882 \cdot 1/d + 0,53626 \cdot 1/h$ requer, para uso prático, a prévia estimativa do diâmetro relativo $d_{0,3h}$, o qual foi descrito pelas equações da Tabela 24.

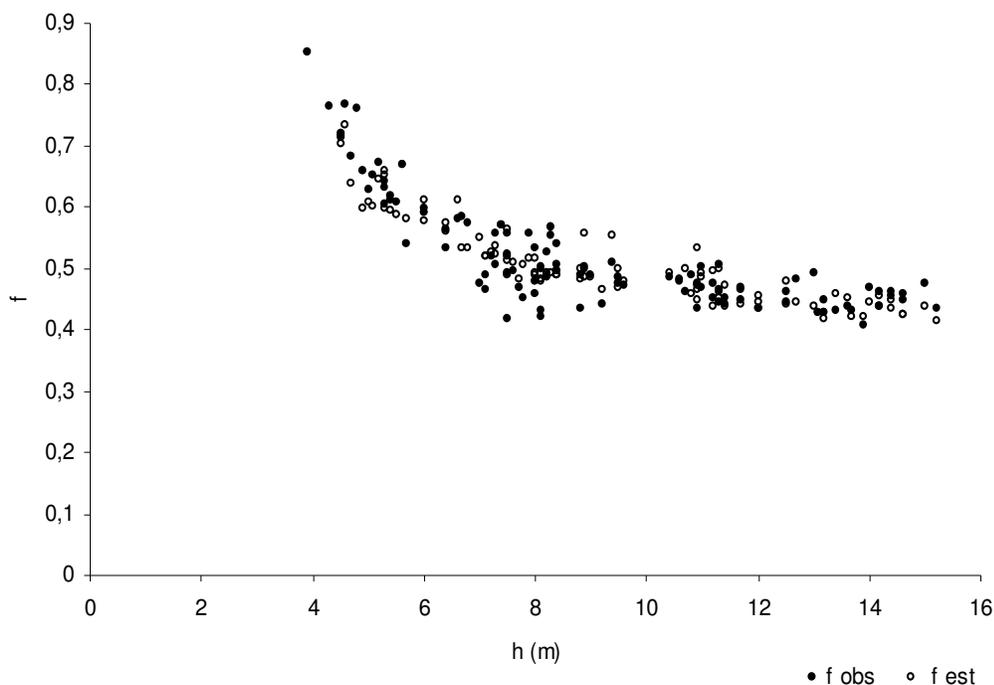


FIGURA 16 - Relação do fator de forma com a altura pelo modelo da equação 2 para *Pinus taeda* L. em Santo Tomé, Corrientes, Argentina.

TABELA 24 - Coeficientes e estatísticas para os modelos de diâmetros relativos ajustados para *Pinus taeda* L. em Santo Tomé, Corrientes, Argentina.

N ^o	Coeficientes		R ² _{aj}	CV%	F
	b ₀	b ₁			
1	1,11842*	0,75396*	0,98	4,4	9139,4**
2	0,13197*	0,88503*	0,99	1,9	10549,9**

Sendo: b₀, b₁= parâmetros das equações; R²_{aj}= coeficiente de determinação ajustado; CV%= coeficiente de variação em percentagem; F= valor de F; *= significância a 5%; **= significância a 1%; ns= não significativa.

Mainardi (1995) encontrou em seu trabalho sobre *Pinus taeda* L. na região de Cambará do Sul, RS, que a variável diâmetro da árvore de área basal média e a altura média foram as que melhor descreveram o desenvolvimento do fator de forma, aplicando a equação: $f = 1,878354 \cdot \frac{1}{h} + 0,627965 \cdot \frac{h}{d} - 2,292104 \cdot \frac{h}{d^2}$, que apresentou bom ajuste com coeficiente de determinação de 0,99, e um erro padrão da estimativa de 9,5%.

Drescher et al. (2001) utilizou a equação de fator de forma artificial $f = b_0 + b_1 \cdot (d_{0,3h}/d^2) + b_2 \cdot (d_{0,3h} \cdot d_{0,5h}) / d^2 + b_3 \cdot (d_{0,5h}/d)^2$, para o *Pinus elliottii* Engelm. obtendo um coeficiente de determinação ajustado de 88,6% e um coeficiente de variação de 3,6%.

Brasil (1989) utilizou a equação $f = b_0 + b_1 \cdot (d_{0,5h}/d)^2 + b_2 \cdot (d_{0,3h}/d)^2$ para testar o fator de forma para *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze e *Pinus elliottii* Engelm., obtendo um coeficiente de determinação igual a 0,88 e 0,89 e um erro padrão de estimativa igual a 2,9 e 3,5%, respectivamente.

O diâmetro relativo $d_{0,3h}$, presente como componente das variáveis independentes no modelo selecionado para estimar o fator de forma artificial, foi obtido com a equação logarítmica $\ln d_{0,3h} = 0,13197 + 0,88503 \cdot \ln d$, que apresentou um coeficiente de determinação ajustado de 0,99, e um coeficiente de variação de 1,9% com valor de F altamente significativo.

Scheeren (2003), em seu estudo sobre *Eucalyptus saligna* Smith., utilizou a equação $d_{0,3h} = b_0 + b_1 \cdot d$ obtendo um valor de 99% de coeficiente de determinação e um coeficiente de variação de 3,1%.

Brasil (1989) obteve a equação $d_{0,3h} = b_0 + b_1 \cdot d$ para determinar o $d_{0,3h}$ para *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze, e $\log d_{0,3h} = b_0 + b_1 \cdot \log(d \cdot h)$ para *Pinus elliottii* Engelm., obtendo um coeficiente de determinação de 0,95 e 0,93 e, um erro padrão da estimativa de 1,3 e 0,04%, respectivamente.

4.9 Comparação com curvas de índice de sítio elaboradas por outros autores

Os crescimentos em altura dominante para o índice de sítio 20, pertencentes a região de Santo Tomé, Corrientes – Argentina, e as alturas dominantes das regiões brasileiras, utilizadas na comparação, foram obtidos pelas equações de Backman, Prodan, Richards e Gram respectivamente:

a) Para Santo Tomé, Corrientes - Argentina

$$\ln h_{100} = -0,95979 + 2,88097 \cdot \ln t - 0,52061 \cdot \ln^2 t$$

b) Para Segundo Planalto, PR - Brasil (Marcolin, 1990)

$$h_{100} = t^2 / 1,596732 + 0,152261 \cdot t + 0,041279 \cdot t^2$$

c) Para Cambará do Sul, RS – Brasil (Selle, 1993)

$$h_{100} = 33,79094(1 - e^{(-0,10107145161 \cdot t)})^{1,620809677}$$

d) Para Telêmaco Borba, PR– Brasil (Schneider, et al., 2007)

$$\ln h_{100} = -0,53850 + 1,68420 \cdot \ln t - 0,06000 \cdot t$$

Para fins de comparação, as 4 equações mencionadas foram recalculadas, para a idade índice de 12 anos, e para o índice de sítio 20.

A comparação das alturas dominantes geradas para o índice de sítio 20, nas regiões de Santo Tomé, Corrientes, Argentina, e as curvas construídas para as regiões brasileiras de Telêmaco Borba, no Segundo Planalto do Paraná, e Cambará do Sul, no Rio Grande do Sul, podem ser observadas na Figura 17. Nota-se na Figura que os crescimentos em altura dominante na região de Santo Tomé a partir de 3 até 11 anos, são maiores que os crescimentos das outras regiões, igualando-se os demais na idade índice de 12 anos, passando a ser menor a partir de 13 anos

Assim, verifica-se, para fins de comparação, que a curva gerada para a região de Santo Tomé, Corrientes – Argentina possui comportamento curvilíneo mais acentuado do que as curvas geradas pelas outras regiões, mostrando, ainda, crescimento inicial mais acelerado, posteriormente passando a ser menor que todas elas, devido a um forte achatamento da curva, o que poderá levar no futuro ser um povoamento com menor produção.

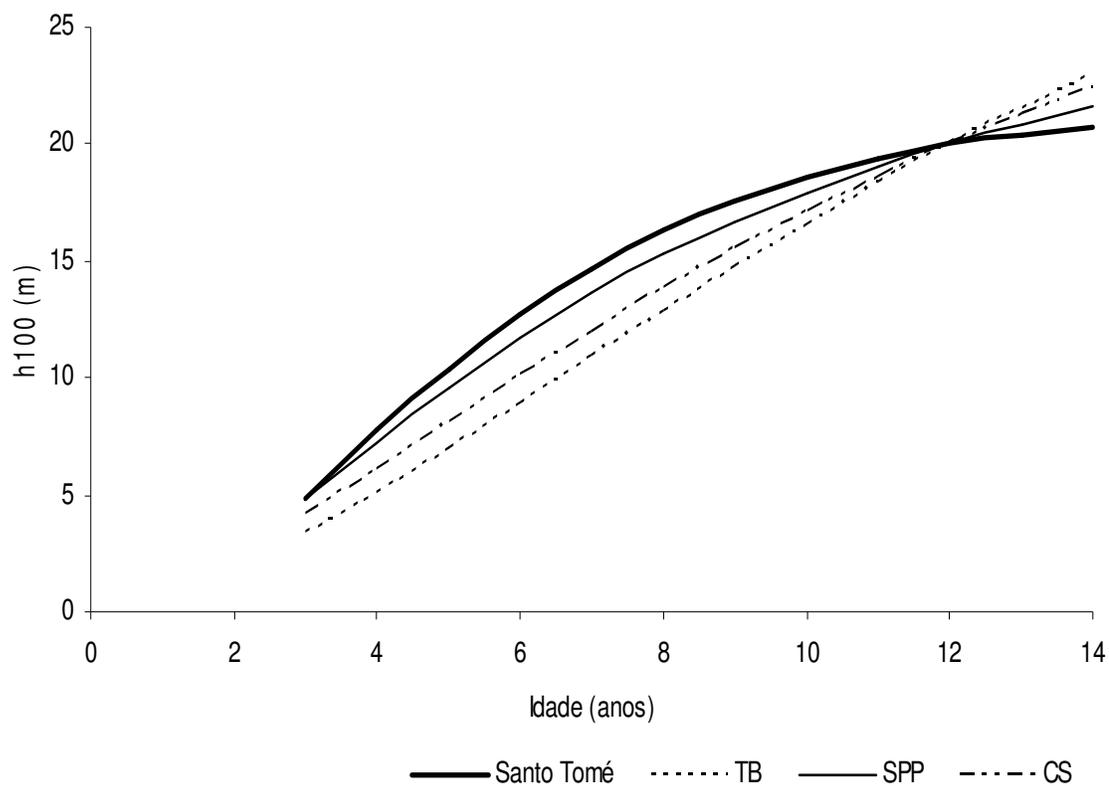


FIGURA 17 - Comparação das curvas de índice de sítio para *Pinus taeda* L. de Santo Tomé, Corrientes, Argentina e das regiões brasileiras de Telêmaco Borba, e do Segundo Planalto Paranaense no Paraná, e Cambará do Sul, no Rio Grande do Sul.

4.10 Produção total

4.10.1 Volume por hectare

A Figura 18 indica que os valores da produção total aumentam à medida que cresce a capacidade do sítio e a idade da floresta. Na Figura mencionada, mostram-se as formas diferentes das curvas de crescimento em volume.

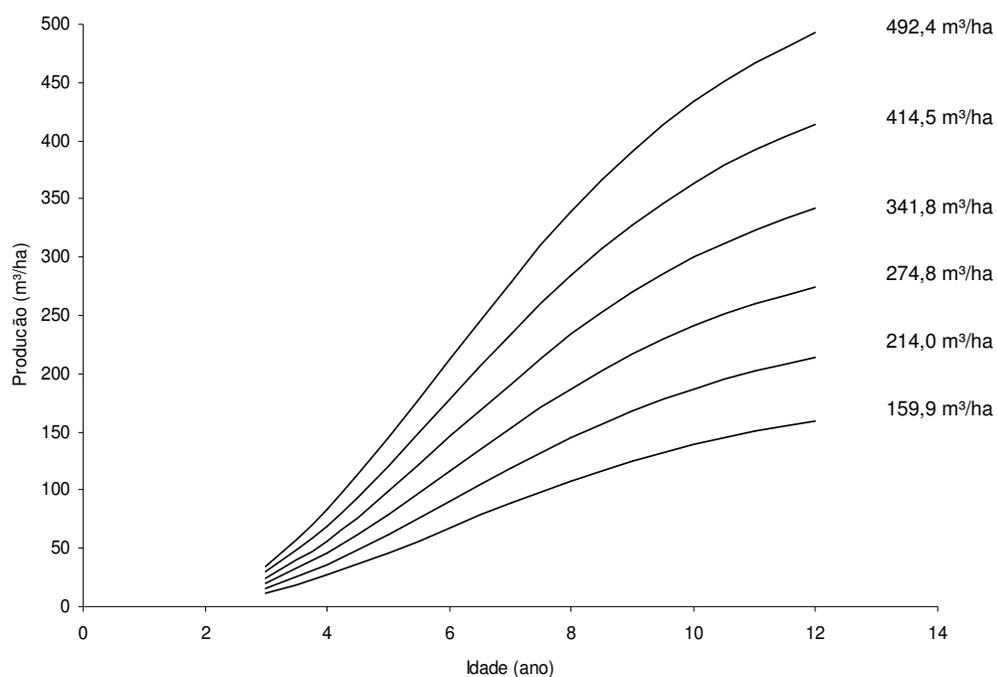


FIGURA 18 - Produção total em função da idade e índice de sítio para *Pinus taeda* L. em Santo Tomé, Corrientes, Argentina.

Os povoamentos de índice de sítio 12 apresentaram uma produção total de 160 m³/ha comparada com povoamentos de índice de sítio 22, que foi de 492 m³/ha na idade de 12 anos. A produção total do índice de sítio 12 representa 32,5% da produção obtida no índice de sítio 22, na idade de 12 anos.

A produção média do local se encontra entre os sítios 16 e 18, com 275 e 342 m³/ha na idade de 12 anos.

Mainardi (1995) encontrou em seu trabalho sobre produção de uma floresta de *Pinus taeda* L., na região de Cambará do Sul, RS, volumes de 244 m³/ha e 911 m³/ha para os sítios 16 e 28, respectivamente, com 16 anos de idade.

4.10.2 Incremento médio anual por hectare

Observa-se, na Figura 19, que os incrementos médios anuais por hectare em todos os sítios atingiram seu ponto máximo entre os 9 e 10 anos, mostrando uma tendência típica apresentando uma curva crescente até certo limite e que posteriormente decresce.

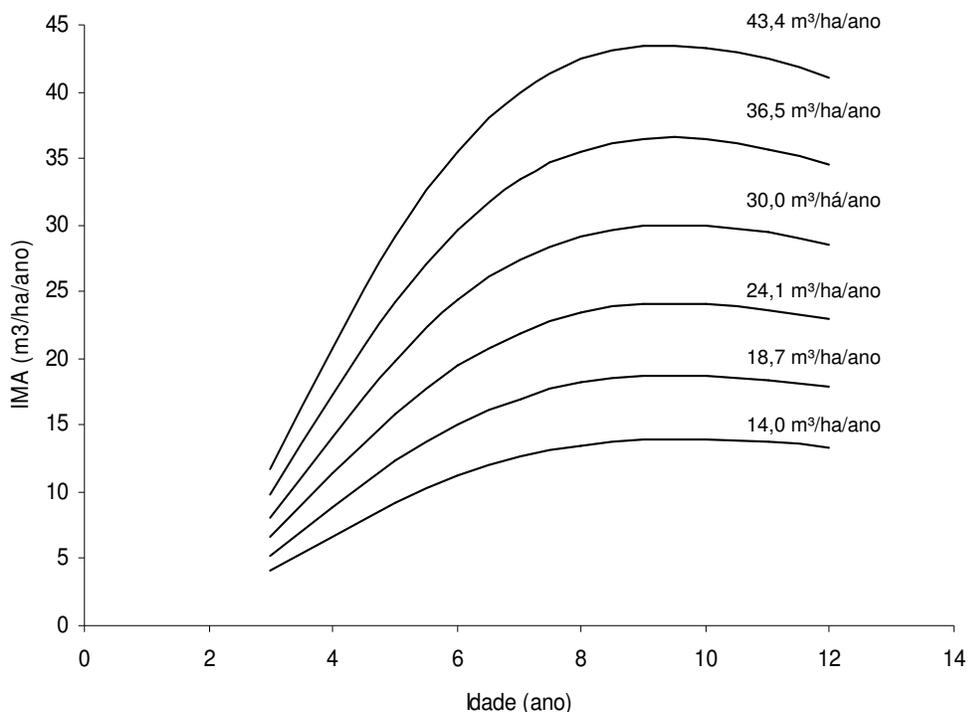


FIGURA 19 - Curva de desenvolvimento do IMA (m³/ha/ano) para *Pinus taeda* L. em Santo Tomé, Corrientes, Argentina.

O valor apresentado no sítio 12 foi de 14 m³/ha/ano de IMA, aos 10 anos, atingindo 32,5% de incremento obtido pelo índice de sítio 22, que apresentou um IMA de 43 m³/ha/ano, aos 9 anos.

Os IMA médios do local se encontram entre os sítios 16 e 18, com um IMA de 24 e 30 m³/ha/ano na idade de 10 anos.

Os valores de incremento médios anuais encontrados por Mainardi (1995), para povoamentos de *Pinus taeda* L., na região de Cambará do Sul, RS, na idade de 16 anos, foram de 15 m³/ha/ano e 57 m³/ha/ano, nos índices de sítio 16 e 28,

respectivamente. Assim, também a produtividade média local aos 16 anos foi de 30 m³/ha/ano.

Burger (1980) quantificou 33 m³/ha/ano de incremento médio anual dos povoamentos de *Pinus elliottii* Engelm. no Delta do Paraná, na Argentina. O autor cita que geralmente, o IMA de *Pinus elliottii* Engelm., em condições brasileiras, está em torno de 20-30 m³/ha/ano.

4.10.3 Incremento corrente anual por hectare

Observa-se, na Figura 20, que os incrementos correntes anuais por hectare em todos os sítios atingiram seu ponto máximo aos 6 anos.

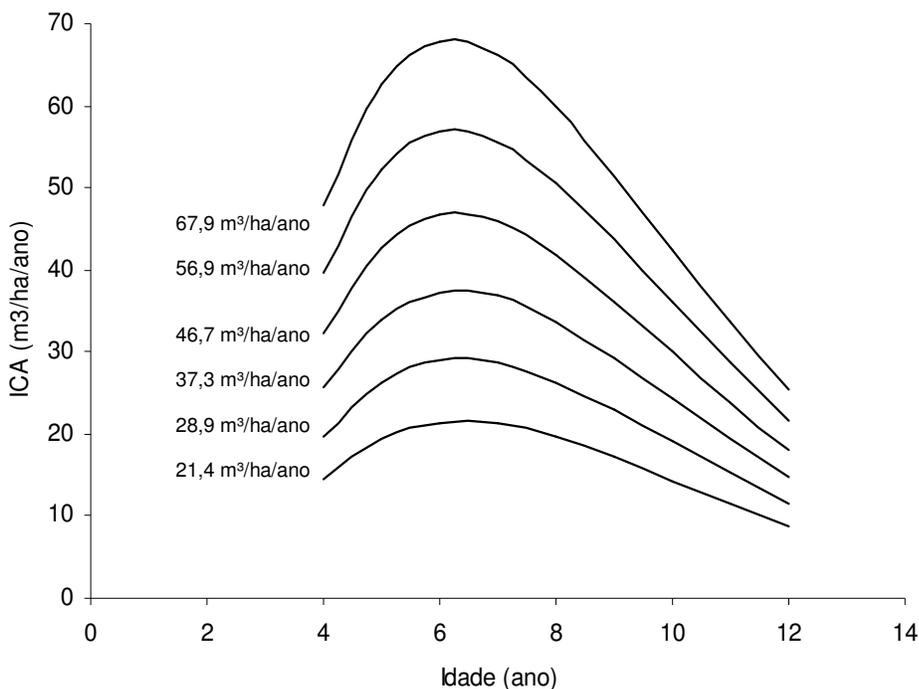


FIGURA 20 - Curva de desenvolvimento do ICA (m³/ha/ano) para os índices de sítio 12 ao 22 para *Pinus taeda* L. em Santo Tomé, Corrientes, Argentina.

Na Figura mencionada pode-se verificar que a curva do ICA é bem mais íngreme nos sítios bons, e achatada nos sítios pobres.

O valor apresentado no sítio 12 foi de 21 m³/ha/ano de ICA, e 68 m³/ha/ano no índice de sítio 22, aos 6 anos.

Os ICA médios do local encontram-se entre os sítios 16 e 18, com 37 e 47 m³/ha/ano na idade de 6 anos.

4.11 Tabelas de produção para *Pinus taeda* L.

Os valores obtidos de altura dominante, diâmetro e altura de área basal média, área basal por hectare, produção em volume por hectare, e os incrementos médio e corrente anual são apresentados nas Tabelas 25, 26, 27, 28, 29 e 30.

As informações foram geradas para as idades 3 a 12 anos e, para os índices de sítio 12 a 22, respectivamente, e foram agrupadas com a concatenação das equações geradas.

TABELA 25 - Tabela de produção para *Pinus taeda* L., para o índice de sítio 12.

Idade (ano)	h_{100} (m)	d_g (cm)	h_g (m)	G (m ² /ha)	V (m ³ /ha)	IMA (m ³ /ha/ano)	ICA (m ³ /ha/ano)
3	2,9	4,8	2,8	5,6	12,1	4,0	
4	4,6	8,0	4,3	10,4	26,7	6,7	14,6
5	6,2	10,6	5,8	15,0	46,0	9,2	19,3
6	7,6	12,7	7,0	18,9	67,5	11,2	21,4
7	8,8	14,2	8,1	22,1	88,7	12,7	21,3
8	9,8	15,3	9,1	24,6	108,4	13,5	19,6
9	10,6	16,2	9,8	26,6	125,5	13,9	17,1
10	11,2	16,8	10,4	28,1	139,8	14,0	14,3
11	11,7	17,3	10,8	29,3	151,2	13,7	11,4
12	12,0	17,6	11,2	30,1	159,9	13,3	8,7

Onde: t= idade; h_{100} = altura dominante; d_g = diâmetro de área basal média; h_g = altura de área basal média; G= área basal; V= produção final; IMA= incremento médio anual; ICA= incremento corrente anual.

TABELA 26 - Tabela de produção para *Pinus taeda* L., para o índice de sítio 14.

Idade (ano)	h_{100} (m)	d_g (cm)	h_g (m)	G (m ² /ha)	V (m ³ /ha)	IMA (m ³ /ha/ano)	ICA (m ³ /ha/ano)
3	3,4	5,7	3,2	7,0	15,7	5,2	
4	5,4	9,3	5,0	12,7	35,4	8,9	19,7
5	7,3	12,2	6,7	17,9	61,6	12,3	26,1
6	8,9	14,3	8,2	22,3	90,4	15,1	28,9
7	10,3	15,9	9,5	25,9	119,0	17,0	28,6
8	11,4	17,0	10,6	28,7	145,3	18,2	26,3
9	12,3	17,9	11,5	30,9	168,2	18,7	22,9
10	13,0	18,5	12,1	32,6	187,2	18,7	19,1
11	13,6	19,0	12,7	33,8	202,4	18,4	15,2
12	14,0	19,3	13,1	34,7	214,0	17,8	11,6

Onde: t= idade; h_{100} = altura dominante; d_g = diâmetro de área basal média; h_g = altura de área basal média; G= área basal; V= produção final; IMA= incremento médio anual; ICA= incremento corrente anual.

TABELA 27 - Tabela de produção para *Pinus taeda* L., para o índice de sítio 16.

Idade (ano)	h_{100} (m)	d_g (cm)	h_g (m)	G (m ² /ha)	V (m ³ /ha)	IMA (m ³ /ha/ano)	ICA (m ³ /ha/ano)
3	3,9	6,7	3,6	8,4	19,8	6,6	
4	6,2	10,6	5,7	14,9	45,4	11,4	25,7
5	8,3	13,6	7,7	20,7	79,3	15,9	33,9
6	10,2	15,8	9,4	25,6	116,6	19,4	37,3
7	11,7	17,4	10,9	29,5	153,4	21,9	36,8
8	13,0	18,5	12,1	32,6	187,2	23,4	33,7
9	14,1	19,3	13,1	34,9	216,4	24,0	29,3
10	14,9	20,0	13,9	36,7	240,8	24,1	24,3
11	15,5	20,4	14,5	38,1	260,1	23,6	19,4
12	16,0	20,7	15,0	39,1	274,8	22,9	14,7

Onde: t= idade; h_{100} = altura dominante; d_g = diâmetro de área basal média; h_g = altura de área basal média; G= área basal; V= produção final; IMA= incremento médio anual; ICA= incremento corrente anual.

TABELA 28 - Tabela de produção para *Pinus taeda* L., para o índice de sítio 18.

Idade (ano)	h_{100} (m)	d_g (cm)	h_g (m)	G (m^2/ha)	V (m^3/ha)	IMA ($m^3/ha/ano$)	ICA ($m^3/ha/ano$)
3	4,4	7,6	4,1	9,8	24,4	8,1	
4	7,0	11,7	6,4	17,0	56,7	14,2	32,3
5	9,3	14,8	8,6	23,5	99,3	19,9	42,6
6	11,4	17,1	10,6	28,7	145,9	24,3	46,7
7	13,2	18,6	12,3	32,9	191,8	27,4	45,8
8	14,7	19,8	13,7	36,2	233,6	29,2	41,8
9	15,8	20,6	14,8	38,8	269,9	30,0	36,2
10	16,8	21,2	15,7	40,7	299,9	30,0	30,0
11	17,5	21,6	16,4	42,1	323,7	29,4	23,8
12	18,0	21,9	16,9	43,1	341,8	28,5	18,1

Onde: t= idade; h_{100} = altura dominante; d_g = diâmetro de área basal média; h_g = altura de área basal média; G= área basal; V= produção final; IMA= incremento médio anual; ICA= incremento corrente anual.

TABELA 29 - Tabela de produção para *Pinus taeda* L., para o índice de sítio 20.

Idade (ano)	h_{100} (m)	d_g (cm)	h_g (m)	G (m^2/ha)	V (m^3/ha)	IMA ($m^3/ha/ano$)	ICA ($m^3/ha/ano$)
3	4,9	8,5	4,5	11,2	29,5	9,8	
4	7,7	12,8	7,1	19,2	69,2	17,3	39,7
5	10,4	16,0	9,6	26,1	121,3	24,3	52,1
6	12,7	18,2	11,8	31,8	178,2	29,7	56,9
7	14,7	19,8	13,7	36,2	233,8	33,4	55,6
8	16,3	20,9	15,3	39,7	284,4	35,6	50,6
9	17,6	21,7	16,6	42,4	328,1	36,5	43,7
10	18,6	22,2	17,6	44,4	364,2	36,4	36,1
11	19,4	22,6	18,3	45,9	392,8	35,7	28,6
12	20,0	22,9	18,9	46,9	414,5	34,5	21,7

Onde: t= idade; h_{100} = altura dominante; d_g = diâmetro de área basal média; h_g = altura de área basal média; G= área basal; V= produção final; IMA= incremento médio anual; ICA= incremento corrente anual.

TABELA 30 - Tabela de produção para *Pinus taeda* L., para o índice de sítio 22.

Idade (ano)	h_{100} (m)	d_g (cm)	h_g (m)	G (m ² /ha)	V (m ³ /ha)	IMA (m ³ /ha/ano)	ICA (m ³ /ha/ano)
3	5,4	9,3	5,0	12,6	35,1	11,7	
4	8,5	13,8	7,9	21,2	83,0	20,7	47,8
5	11,4	17,0	10,6	28,7	145,5	29,1	62,5
6	14,0	19,3	13,0	34,7	213,3	35,6	67,9
7	16,1	20,8	15,1	39,4	279,4	39,9	66,1
8	17,9	21,9	16,9	43,0	339,3	42,4	59,9
9	19,4	22,6	18,3	45,8	390,8	43,4	51,5
10	20,5	23,1	19,4	47,8	433,3	43,3	42,5
11	21,4	23,5	20,2	49,4	467,0	42,5	33,7
12	22,0	23,8	20,9	50,5	492,4	41,0	25,5

Onde: t= idade; h_{100} = altura dominante; d_g = diâmetro de área basal média; h_g = altura de área basal média; G= área basal; V= produção final; IMA= incremento médio anual; ICA= incremento corrente anual.

4.12 Concatenação das equações para a elaboração de tabelas de produção para *Pinus taeda* L. em Santo Tomé, Corrientes, Argentina.

A concatenação das equações selecionadas permitiu obter tabelas que descrevem o crescimento inicial de *Pinus taeda* L. na província de Corrientes, Argentina. Trata-se de estimativas para os períodos iniciais da floresta, isto é, descrevem o crescimento entre o 3^o e 12^o ano de idade, período correspondente à idade das florestas disponíveis para amostragem na época da coleta dos dados.

A formação de tabelas foi realizada de acordo com o fluxograma apresentado na Figura 21.

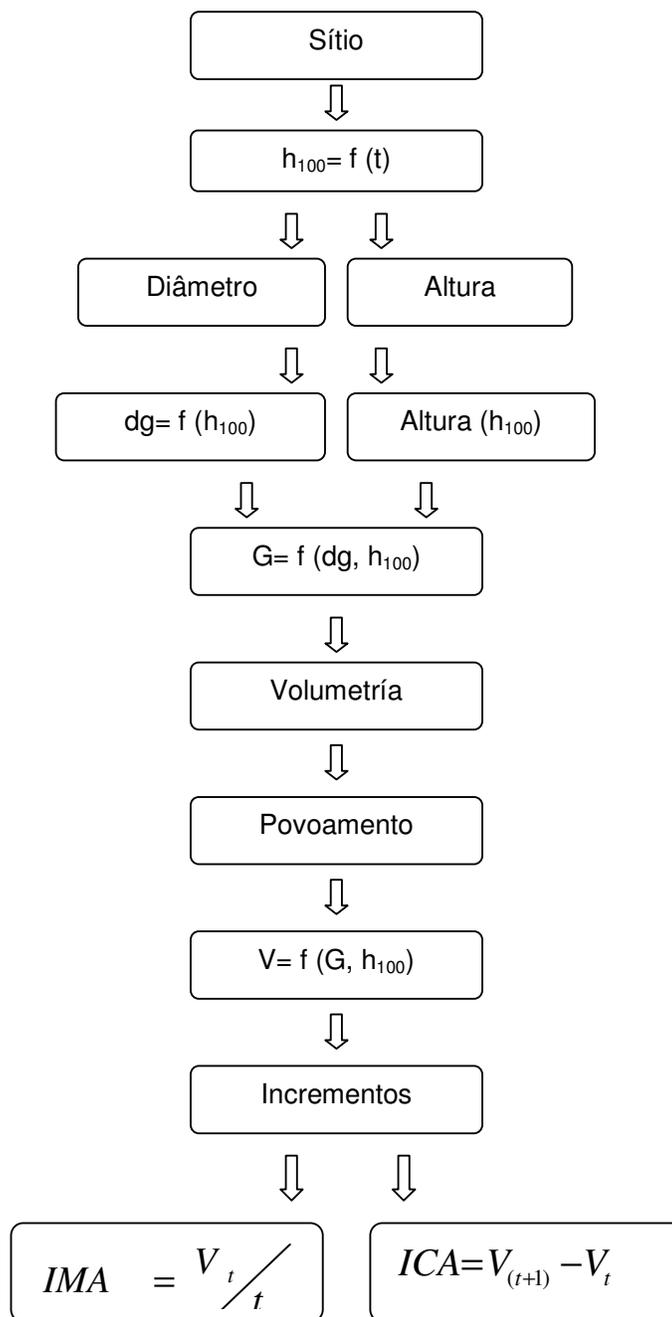


FIGURA 21 - Fluxograma da estruturação da produção em florestas de *Pinus taeda* L.

5 CONCLUSÕES

De acordo com os resultados obtidos no presente trabalho pode-se concluir que:

a) As funções geradas para descrever a relação hipsométrica, o volume individual, a altura dominante, o diâmetro da árvore de área basal média, a área basal por hectare, o volume por hectare e fator de forma artificial permitiram obter estimativas de alta precisão e baixo erro, até uma idade de 12 anos.

b) O modelo de relação hipsométrica selecionado foi $\frac{d}{\sqrt{h}} = 1,63568 + 0,22125 \cdot d$.

c) A equação selecionada para o volume individual foi a de Schumacher e Hall representada por $\ln v = -9,40378 + 1,84287 \cdot \ln d + 0,85244 \cdot \ln h$.

d) A equação selecionada para desenvolver as curvas de índice de sítio foi a de Backman, $\ln h_{100} = -0,95979 + 2,88097 \cdot \ln t - 0,52061 \cdot \ln^2 t$. Foram construídas 8 curvas de índice de sítio monomórficas de 10 a 24 metros, na idade índice de 12 anos, para descrever a variação da altura dominante em função da idade.

e) A equação selecionada para modelar o diâmetro da árvore de área basal média foi $\ln dg = 1,69872 \cdot \ln h_{100} - 0,21927 \cdot \ln^2 h_{100}$.

f) O desenvolvimento em área basal por hectare foi modelado segundo a equação $\ln G = 1,78627 \cdot \ln h_{100} - 0,16742 \cdot \ln^2 h_{100}$.

g) A equação $\ln V = -0,47410 + 0,50158 \cdot \ln G^2 + 0,86198 \cdot \ln h_{100}$ foi selecionada para estimar o volume por hectare.

h) A equação selecionada para estimar o fator de forma artificial foi

$$f = 0,09956 + 0,45010 \cdot \left(\frac{d^{0,3h}}{d}\right)^2 + 0,26882 \cdot \frac{1}{d} + 0,53626 \cdot \frac{1}{h}.$$

i) A comparação do sistema de curvas de índice de sítio, elaboradas neste trabalho, com as curvas elaboradas por Schneider et al. (2007), Marcolin (1990) e Selle (1993), para as regiões brasileiras de Telêmaco Borba, no Segundo Planalto Paranaense no Paraná, e Cambará do Sul, no Rio Grande do Sul, apresentou desenvolvimento diferente em altura dominante, obtendo-se crescimentos maiores para a região de Santo Tomé, Corrientes, Argentina até a idade de 11 anos. Posteriormente, passaram a ser menores, demonstrados por um forte achatamento das curvas.

j) A concatenação das equações resultou em 6 tabelas de produção para os sítios 12 a 22 metros, as quais cobrem a variação de crescimento nos sítios estudados.

k) Com base nas informações obtidas neste trabalho recomenda-se em futuro próximo dar continuidade ao estudo do crescimento das variáveis dendrométricas utilizando dados com idades maiores que 8 anos.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU, E. C. R. et al. Modelagem para prognose precoce do volume por classe diamétrica para *Eucalyptus grandis*. **Scientia Forestales**, Piracicaba, n. 61, p. 86-102, jun. 2002.

AHRENS, S. O manejo e a silvicultura de plantações de Pinus na região Sul do Brasil. IN: CURSO DE MANEJO FLORESTAL SUSTENTÁVEL,1.,1997. Curitiba. **Tópicos em manejo Florestal Sustentável**. Colombo: Embrapa Florestas, 1997. p. 167-176.

ALDER, D. **Estimación del volumen forestal y predicción del rendimiento con especial referencia a los trópicos**. Roma: FAO 1980, t.2.

AMARO, A. et al. Modeling Dominant Height Growth: Eucalyptus plantations in Portugal. **Forest Science**, v. 44 n. 1, p. 37-46, feb. 1998

ARANDA, U. D. et al. **Dendrometría**. Madrid: Mundi Prensa. 2003.

ARANDA, U. D. et al. Relación altura-diámetro generalizada para masa de *Pinus sylvestris* L. procedentes de repoblación en el noroeste de España. **Investigación Agraria**, v. 14, n. 2, p. 229-241, jul./dic. 2005.

ARGENTINA. Secretaria de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentos. **Investigación forestal al servicio de la producción: resultados aplicables al cultivo de bosques y la producción de madera en Argentina**. Buenos Aires, 2003, 127 p.

ARIAS, D. Estudio de las relaciones *altura-diámetro* para seis especies maderables utilizadas en programas de reforestación en la Zona Sur de Costa Rica. **Kurú**, Cartago, v.1, n. 2, p.1-11, set. 2004.

ASSMANN, E. **The principle of forest yield study**. New York: Pergamon Press. 1970.

AZEVEDO, C. P. et al. Relação hipsométrica para quatro espécies florestais em plantio homogêneo e em diferentes idades na Amazônia ocidental. **Boletim de pesquisa florestal**, Colombo, n. 39, p. 5-29, jul./dez. 1999.

BARTOSZECK, A. de P. e S. et al. Dinâmica da relação hipsométrica em função da idade, do sítio e da densidade inicial de povoamentos de Bracatinga da região metropolitana de Curitiba, PR. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 28, n. 4, p. 517-533, set./dez. 2004.

BARUSSO, A. P. **A determinação de funções de crescimento mediante análise de tronco**. 1977. 133 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

BRAIER, G. **Tendencias y perspectivas del sector forestal al año 2020. Argentina**: Informe nacional complementario. Roma: FAO, 2004, 220 p.

BRASIL. Ministério do Interior. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e Recursos naturais Renováveis. **Plano de manejo para a Floresta Nacional de São Francisco de Paula-RS**. Santa Maria, UFSM, 1989, 215 p.

BURGER, D. **Ordenamento Florestal 1**: a produção florestal. 4. ed. Curitiba: FUPEF, 1980. 124 p.

CAMPOS, S. C. C.; TREVIZOL Jr., T. L.; NETO, F. de P. Ainda, sobre a seleção de equações de volume. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 9, n. 2, p. 115-126, jul./dez. 1985.

CAMPOS, J. C. CH; LEITE, H. G. **Mensuração Florestal**: perguntas e respostas. Viçosa: UFV, 2002. 407 p.

CARMEAN, W. H. Tree – Growth patterns in relation to soil and site. In: **Tree Growth and forest soils**. Oregon State University, USA, 1975. 527 p.

CLUTTER, J. L.; FORSTON, J. C.; PIENAAR, L. V. **Timber management**: a quantitative approach. New York: John Wiley e Sons, 1983.

CONCEIÇÃO, M. B. da. **Comparação de métodos de estimativa de volume em diferentes idades em plantações de *Eucalyptus grandis* Hill ex – Maiden**. 2004, 154 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

COUTO, H. T. Z. do; VETTORAZZO, S. C. Seleção de equações de volume e peso seco comercial para *Pinus taeda*. **Cerne**, Lavras, v. 5, n. 1, p. 69-80, jan./jun. 1999.

COSTAS, R. et al. *Pinus taeda* L. Densidad de Plantación y Rendimiento. **Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias**, Cuyo, v. 33, n. 2, p. 11-19, jul./dic. 2001.

COSTAS, R. et al. Efectos de la densidad de plantación y la altura de poda sobre la producción de *Pinus taeda* L. a los 5 años de edad. **Floresta**, Curitiba. v. 33, n. 1, p. 79-87, jan./abr. 2003.

COSTAS, R. et al. Influencias de la densidad y podas sobre la producción de *Pinus taeda* L. a los 7 años de edad. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 15, n. 3, p. 275-284, jul./set. 2005.

COSTAS, R. et al. Modelos predictivos de la producción de *Pinus taeda* empleando variables vinculadas con las podas. **Bosque**, Valdivia. v. 27, n. 2, p. 98-107, may./agost. 2006.

DANIEL, T. W.; HELMS, J. A.; BAKER, F. **Principles of silviculture**. New York: McGraw-Hill, 1982.

DAVEL, M.; ORTEGA, A. Productividad por zonas de crecimiento para pino oregón [*Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco] en la Patagonia Andina Argentina. **Investigación Agraria**, Valdivia. v.12. n. 3 p. 33-45, jun./ago. 2003.

DAVIS, L. S.; JOHNSON, K. N. **Forest management**. 3r. ed. New York: McGraw-Hill, 1987.

DOLDÁN, M. E. Q. **Desenvolvimento da altura dominante de *Pinus taeda* L. como resposta aos estímulos dos fatores do meio, na região de Ponta Grossa**. 1987, 119 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Paraná. Curitiba.

DRESCHER, R. et al. Fator de forma artificial de *Pinus elliottii* Engelm., para a região da serra do sudeste do estado do Rio Grande do Sul. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 31, n. 1, p. 37-42, jan/fev. 2001.

DRESCHER, R. **Crescimento e produção de *Tectona grandis* Linn F., em povoamentos jovens de duas regiões do estado de Mato Grosso - Brasil**. 2004, 116 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

ENCINAS, J. I.; SILVA, G. F. da; PINTO, J. R. Idade e crescimento das árvores. **Comunicações Técnicas Florestais**, Brasília, UFB, v. 7, n. 1, 25 p., mês. 2005.

FIGUEIREDO FILHO, A. et al. **Conversão de equações de volume em equações de forma compatíveis para *Pinus elliottii***. In: CONGRESSO FLORESTAL PANAMERICANO, 1.; CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 7., 1993, Curitiba. **Anais...** Curitiba: SBS/SBEF, v.2, p. 501-503. 1993.

FINGER, C. A. G. **Fundamentos de biometria florestal**. Santa Maria: UFSM, CEPEF-FATEC, 1992.

FLORIANO, E. P. **Efeito da desrama sobre o crescimento e a forma de *Pinus elliottii* Engelm.** 2004. 93 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

FLORIANO, E. P. et al. Ajuste e seleção de modelos tradicionais para série temporal de dados de altura de árvores. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 16, n. 2, p. 177-199, abr./jun. 2006.

GALVÃO A. P. M. (Organiz.). **Reflorestamento de propriedades rurais para fins produtivos e ambientais**. Embrapa, Brasília, 2000.

GARCIA E. L.; GUINDEO C., A.; PALACIOS P. **Maderas de Coníferas: anatomia de gêneros**. Madrid: Fundación conde Del Valle de Salazar. 1996.

GARCIA, O. **Índices de sítio para pino insigne en Chile**. Santiago: Instituto Forestal. 1970. (IF. Serie de Investigación, n. 2.).

_____ Growth modeling: a (Re) view. **New Zealand Forestry**, Wellington, v. 33, n. 3. p. 14-17, jul/set.1988.

_____ El enfoque del espacio de estados en modelos de Crecimiento. Tradução: Oscar García. **Canadian Journal of Forest Research**, Wellington, n. 24, p. 1894-1903.1994.

GOMES, F. dos S., et al. Efeitos do sítio e de cenários de custos e preços na análise de regimes de manejo com e sem desbaste em *Pinus taeda* L. **Cerne**, Lavras, v. 8, n. 1, p. 13-31, jan./jun. 2002.

HESS, A.; SCHNEIDER, P. R.; ANDRADE, C. M. Crescimento em volume de *Araucária angustifolia* (Bertol.) Kuntze na serra do sudeste do estado do Rio Grande do Sul. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 17, n. 3, p. 247-256, jul./ set. 2007.

HUSCH, B.; MILLER, C. I.; BEERS, T. W. **Forest mensuration**. 3th ed. New York: John Wiley e Sons, 1982.

IBAÑEZ, C. et al. Efectos de la roturación del suelo y fertilización con fósforo en el crecimiento inicial de plantaciones de *Pinus taeda*, en suelos rojos del Noreste de la provincia de Corrientes, Argentina. **Bosque**, Valdivia. v. 25, n. 2, p. 69-76, ene. 2004.

IRISARRI, A. et al. Ajuste de modelos de cubicación para *Pinus pinaster* Ait. en la comarca del Baixo Miño. In: CONGRESO FORESTAL ESPAÑOL, 3., 2001, Granada. **Anais...** Granada: Montes para la Sociedad del Nuevo Milenio, p. 7-13. 2001.

KELLER, A. et al. Estimación del volumen con corteza de árboles individuales de *Pinus taeda* L. para las zonas alta y norte de la Provincia de Misiones, Argentina. In: JORNADAS TÉCNICAS FORESTALES y AMBIENTALES, 12. 2006, El Dorado. **Anais...** El Dorado: FCF, UNaM, p. 1-11. 2006

KRAMER, P. J.; KOZLOWSKI, T. **Fisiología das árvores**. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 1972.

KRONKA, J. N.; BERTOLANI, F.; PONCE, R. H. **A cultura do Pinus no Brasil**. São Paulo: Sociedade Brasileira de Silvicultura, 2005.

LAMPRECHT, H. **Silvicultura en los trópicos**: los ecosistemas forestales en los bosques tropicales y sus especies arbóreas; posibilidades y métodos para un aprovechamiento sostenido. Rosdorf: TZ-Verl.-Ges, 1990.

MACHADO, S. A.; NADOLNY, M. C. Comparação de métodos de cubagem de árvores e de diversos comprimentos de seção. In: CONGRESSO FLORESTAL E DO MEIO AMBIENTE DO PARANÁ, 3., 1991: Curitiba, **Anais...** Curitiba: APEF, 1991, p. 89-104, v. 1.

MACHADO, S. A. Curvas de Sítio para plantações de *Pinus taeda* L., na região central do Estado de Paraná. **Floresta**, Curitiba, v. 11, n. 2, p. 4-18, mês, 1980.

MACHADO, S. A. et al. Classificação de sítio para bracatingais na região metropolitana de Curitiba. **Boletim de pesquisa florestal**, Colombo, n. 35, p. 21-37, jul./dez. 1997.

MACHADO, S. A.; CONCEIÇÃO, M. B da; FIGUEIREDO, D. J. de. Modelagem do volume individual para diferentes idades e regimes de desbaste em plantações de *Pinus oocarpa*. **Ciências Exactas e Naturais**, Guarapuava, v. 4, n. 2, p. 185-197, jul./ dez. 2002.

MAINARDI, G. L. **Estudo da produção de *Pinus taeda* L.: um estudo de caso para a região de Cambará do Sul, RS, Brasil**. 1995. 77 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

MARCHIORI, J. N. C. **Dendrologia das gimnospermas**. Santa Maria: Ed. UFSM, 1996.

MARCOLIN, M. **Polimorfismo e tamanho de amostra para construção de curvas de índice de sítio para *Pinus taeda* L. no Segundo Planalto Paranaense**. 1990, 64 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

MARTINS, E. F P. et al. Curvas de índice de sítio para *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit no agreste de Pernambuco. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v.17, n. 4, p. 365-376, out /dez. 2007.

MIROV, N. T. **The Genus Pinus**. New York: Ronald Press Company, 1967.

MYUNG, I. J.; PITT, M. A.; KIM, W. **Model evaluation, testing and selection**. Columbus: Ohio State University, Department of Psychology, 2003.

MONTENEGRO, P. A. **Efecto del periodo y cobertura del control de malezas en el desarrollo de plantaciones de *Pinus taeda* L.** 1998. 110 f. Monografía (Trabalho de conclusão de graduação) - Universidad del Salvador, Buenos Aires.

NAVARRO, D. J.; MYUNG, I. J. **Model evaluation and selection**. Columbus: Ohio State University, Department of Psychology, 2004.

PEREYRA, O.; GELID, M. Estudio de la variabilidad de la densidad básica de la madera de *Pinus taeda* para plantaciones de Misiones y norte de Corrientes. UFP. **Floresta**, Curitiba, v. 33 n. 1. p. 3-19, jan./abr. 2003.

PRODAN, M. et al. **Mensura forestal**. San José: IICA, 1997.

ROSOT, M. A. D. et al. Análise de tronco digital: uma nova metodologia para a medição de anéis de crescimento. **Floresta**, Curitiba, v. 33, n. 3, p. 235-255, ago. 2003.

SALAS, C. E. Ajuste y validación de ecuaciones de volumen para un relicto del bosque de Roble-Laurel-Lingue. **Bosque**, Valdivia. v. 23, n. 2, p. 81-92, jul. 2002.

SALAS, C.; NIETO, L.; IRISARRI, A. Modelos de volumen para *Pinus pinaster* Ait. en la comarca del Baixo Miño, Galicia, España. **Quebracho**, Santiago del Estero, n. 12, p. 11-22, dic. 2005.

SANQUETTA, C. R. et al. Produção de madeira para laminação em povoamentos de *Pinus taeda* submetidos a diferentes densidades e regimes de desbaste: uma abordagem experimental. **Floresta**, Curitiba, v. 28, p. 83-97, 2000.

SCHEEREN, L. W. **Estruturação da produção de povoamentos monoclonais de *Eucalyptus saligna* Smith manejados em alto fuste**. 2003, 157 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

SCHNEIDER, P. R. Forma de tronco e sortimento para *Pinus elliottii* Engelm., da floresta nacional de Passo Fundo, Rio Grande do Sul. **Acta For. Bras.**, Curitiba, v. 1, p. 43-64. 1986.

_____ **Introdução ao manejo florestal**. Santa Maria: UFSM, CEPEF, FATEC. 1993.

_____ **Análise de regressão aplicada à Engenharia Florestal**. 2. ed. Santa Maria: UFSM, CEPEF, 1998.

SCHNEIDER, P. R.; OESTEN, G. **Tabelas auxiliares para o manejo de *Pinus elliottii* e *Araucária angustifolia* para região do Planalto Médio do Rio Grande do Sul**. 2. ed. Santa Maria: UFSM, CEPEF: FATEC, 1999.

SCHNEIDER, P. R.; FINGER, C. A. G.; HOPPE, J. M. Efeito da intensidade de desrama na produção de *Pinus elliottii* Engelm, implantado em solo pobre, no Estado do Rio Grande do Sul. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 9, n. 1, p. 35-46, jun.1999.

SCHNEIDER, P. R.; TONINI, H. Utilização de variáveis Dummy em equações de volume para *Acacia mearnsii* De wild. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v.13, n. 2, p. 121-129, dez. 2003.

SCHNEIDER, P. R. et al. **Estruturação da produção de *Pinus taeda* L. manejados em sistema de alto fuste, na KLABIN S.A., em Telêmaco Borba, Pr.** Santa Maria: UFSM, KLABIN. 2007.

SCOLFORO, J. R. S. **Modelos para expressar o crescimento e a produção florestal.** Lavras: FAEPE, 1994.

SELLE, G. L. **Influência dos fatores ambientais na classificação de sítio para *Pinus taeda* L, na região de Cambará do Sul, RS, Brasil.** 1993. 85 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

SPATHELF, P.; NUTTO, L. **Modelagem aplicada ao Crescimento e Produção Florestal.** Santa Maria: Ed. UFSM, 2000.

SPURR, H. **Forest inventory.** New York: The Ronald Press Company. 1952.
THOMAS, C. et al. Comparação de equações volumétricas ajustadas com dados de cubagem e análise de tronco. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 16, n. 3, p. 319-327, jul/ set. 2006.

TONINI, H. **Crescimento em altura de *Pinus elliottii*. Engelm. em três unidades de mapeamento de solo, nas regiões da Serra do Sudeste e Litoral, no Estado do Rio Grande do Sul.** 2000, 113 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

TONINI, H. et al. Comparação gráfica entre curvas de índice de sítio para *Pinus elliottii* e *Pinus taeda* desenvolvidas no Sul do Brasil. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 12, n. 1, p. 143-152, jun. 2002 (a).

TONINI, H. et al. Índice de sítio para *Pinus elliottii* Engelm, em três unidades de mapeamento de solo, nas regiões da serra do sudeste e litoral, no estado do Rio Grande do Sul, Brasil. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 12, n. 2, p. 61-73, dez. 2002 (b).

TONINI, H. et al. Seleção de equações volumétricas para eucalipto na Depressão Central e Serra do Sudeste no estado do Rio Grande do Sul. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA FLORESTAL

INOVAÇÕES TECNOLÓGICAS NA CIÊNCIA FLORESTAL, 2. 2002, Viçosa. **Anais...** Viçosa: Programa de Pós-graduação em Engenharia Florestal, p. 39. 2002. (c).

TONINI, H. **Crescimento e produção de clones de *Eucalyptus saligna* Smith, na depressão central e serra do sudeste, Rio Grande do Sul.** 2004, 331 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

TONINI, H.; SCHNEIDER, P. R.; FINGER, C. A. G. Curvas de índice de sítio para povoamentos clonais de *Eucalyptus saligna* Smith para a depressão Central e serra do Sudeste, Rio Grande do Sul. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 16, n. 1, p. 27-43, jan./ mar. 2006.

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

WINCKLER, M. V. CALDEIRA. et al. Relação hipsométrica para *Acacia mearnsii* com diferentes idades. **Boletim de pesquisa florestal**, Colombo, n. 45, p. 57-68, jul./dez. 2002.

ZEIDE, B. Analysis of growth equations. **For. Science**, local, v. 39, n.3, p. 594-616, aug. 1993.

7 ANEXOS

ANEXO 1 - Locais e talhões utilizados no estudo.**TABELA 31 - Locais e talhões utilizados no estudo.**

Número	Local	Talhão
102	Mainumbi	9804
102	Mainumbi	9902
108	Don Manuel	9703
108	Don Manuel	9701
113	Don Paulino	9801
116	La Paloma	9801
119	Atalaya	9801
120	San Miguel	9902
120	San Miguel	9901
126	San Cristóbal	9901
128	San Benito	200001
129	San Benito	200002
129	Don Hilario	200001
129	Don Hilario	200101
136	Las Palmas	200102
136	Las Palmas	200101

ANEXO 2 - Formulário de levantamento de dados da Empresa Bosques del Plata S.A.

DATA	<input type="text"/>	SÍTIO	<input type="text"/>	PARCELA	<input type="text"/>										
PRÉDIO	<input type="text"/>	ANO	<input type="text"/>	TALHÃO	<input type="text"/>										
FORMA DA PARCELA	<input type="text"/>	ÁREA	<input type="text"/>	ESPÉCIE	<input type="text"/>										
		RADIO (m)	<input type="text"/>												
HORA DE INÍCIO	<input type="text"/>	COORDENADAS													
		<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 20%; text-align: center;">S</td> <td style="width: 20%;"></td> <td style="width: 20%;"></td> <td style="width: 20%;"></td> <td style="width: 20%;"></td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">W</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table>				S					W				
S															
W															
HORA DE TÉRMINO	<input type="text"/>														

Árvore	DAP(cm)	Altura Total (m)	Obs.	Árvore	DAP(cm)	Altura Total (m)	Obs.
1				29			
2				30			
3				31			
4				32			
5				33			
6				34			
7				35			
8				36			
9				37			
10				38			
11				39			
12				40			
13				41			
14				42			
15				43			
16				44			
17				45			
18				46			
19				47			
20				48			
21				49			
22				50			
23				51			
24				52			
25				53			
26				54			
27				Falhas			
28				Mortas			

FIGURA 22 - Formulário de levantamento de dados da Empresa Bosques del Plata S.A.

ANEXO 4 - Crescimentos em altura dominante de *Pinus taeda* L. na região de Santo Tomé, Corrientes (Argentina), comparada ao crescimento com outras regiões.

TABELA 32 - Crescimento em altura dominante de *Pinus taeda* L. na região de Santo Tomé, Corrientes (Argentina), e nas regiões brasileiras de Telêmaco Borba, Segundo Planalto Paranaense no Paraná, e Cambará do Sul, no Rio Grande do Sul.

t	h ₁₀₀			
	Santo Tomé	Segundo Planalto Paranaense	Cambará do Sul	Telêmaco Borba
3	4,9	4,8	4,2	3,3
4	7,7	7,3	6,1	5,1
5	10,4	9,6	8,1	7,0
6	12,7	11,7	10,1	8,9
7	14,7	13,6	12,0	10,9
8	16,3	15,3	13,8	12,8
9	17,6	16,7	15,5	14,7
10	18,6	18,0	17,1	16,6
11	19,4	19,0	18,6	18,3
12	20,0	20,0	20,0	20,0
13	20,4	20,8	21,3	21,6
14	20,7	21,6	22,4	23,0

Sendo: t= idade em anos; h₁₀₀= altura dominante em metros.

ANEXO 5 - Dados das parcelas geradas pelo programa ANAPAR (Análise de parcelas).

TABELA 33 - Dados das parcelas geradas pelo programa ANAPAR (Análise de parcelas) para a densidade de 1428 plantas por ha.

Talhão	Sítio	Densidade	Parcela	Idade (anos)	d _m (cm)	d _g (cm)	h _m (m)	h ₁₀₀ (m)	G (m ²)	v (m ³)
001	2	1428	1	4	13,3	13,5	7,6	8,3	20,0	78,7
001	2	1428	2	4	13,4	13,6	8,0	8,9	21,9	89,7
001	2	1428	3	4	12,4	12,8	7,3	7,9	14,9	58,0
001	2	1428	4	4	13,8	14,0	7,9	8,8	10,5	42,8
001	2	1428	5	4	13,8	14,0	8,1	9,1	20,5	85,8
001	2	1428	6	4	14,2	14,3	8,1	8,9	21,2	88,0
001	2	1428	7	4	13,9	14,1	7,8	8,8	22,0	88,8
001	2	1428	8	4	13,5	13,7	8,0	8,6	23,5	96,9
001	3	1428	9	4	14,9	15,1	8,0	8,7	23,0	92,3
001	3	1428	10	4	14,9	15,1	7,7	8,8	24,1	93,6
001	3	1428	11	4	15,2	15,5	7,5	8,8	22,2	83,9
001	3	1428	12	4	16,1	16,4	7,9	8,8	19,4	74,7
001	3	1428	13	4	14,6	15,0	7,3	8,8	21,3	80,9
001	3	1428	14	4	15,4	15,8	8,3	8,8	26,2	107,8
001	3	1428	15	4	15,3	15,5	8,0	8,8	23,7	94,0
001	3	1428	16	4	15,2	15,3	8,0	8,8	20,8	82,2
101	1	1428	17	4	10,7	11,5	6,5	7,7	15,0	51,4
102	1	1428	18	4	10,4	10,7	6,6	7,8	13,0	47,8
101	1	1428	19	4	10,0	10,3	6,1	7,4	12,3	42,6
101	1	1428	20	4	10,2	10,5	6,3	7,2	11,0	38,4
101	1	1428	21	4	9,5	10,1	6,3	8,0	10,3	37,4
101	1	1428	22	4	10,2	10,7	6,5	7,7	12,5	45,7
101	1	1428	23	4	10,7	11,1	6,9	8,2	13,5	51,8
101	1	1428	24	4	10,9	11,1	7,3	8,2	14,1	55,0
001	2	1428	25	5	14,2	14,3	9,1	9,6	22,9	103,9
001	2	1428	26	5	12,3	12,4	7,8	8,5	16,0	65,5
001	1	1428	27	5	13,7	13,8	8,8	9,9	19,8	88,4
001	1	1428	28	5	14,0	14,2	8,7	9,6	22,9	101,5
001	1	1428	29	5	13,9	14,1	8,8	9,7	19,2	86,3
001	1	1428	30	5	12,7	13,2	8,8	10,4	18,5	85,4
001	1	1428	31	5	14,7	14,9	8,2	9,2	19,2	80,5
001	3	1428	32	6	14,7	14,9	9,4	9,9	23,4	108,0
001	3	1428	33	6	14,8	15,1	9,3	9,8	22,6	103,1
902	3	1428	34	6	14,7	15,1	7,2	7,6	26,7	96,2
902	3	1428	35	6	15,2	15,3	7,4	7,9	27,2	100,5
902	3	1428	36	6	14,6	14,8	7,3	7,5	27,0	98,8
901	2	1428	37	6	15,6	16,0	8,5	9,3	32,2	137,1
901	1	1428	38	6	16,1	16,4	8,5	8,6	31,5	132,3
901	1	1428	39	6	16,1	16,4	8,9	10,4	32,4	145,0
901	2	1428	40	6	16,2	16,4	9,5	10,1	32,6	152,6
902	3	1428	41	6	14,3	14,5	8,6	8,7	27,8	117,5
902	3	1428	42	6	13,5	13,6	9,4	9,4	21,1	98,0
902	3	1428	43	6	15,3	15,6	10,0	10,9	28,5	136,6

Cont.

Talhão	Sítio	Densidade	Parcela	Idade (anos)	d _m (cm)	d _g (cm)	h _m (m)	h ₁₀₀ (m)	G (m ²)	v (m ³)
902	3	1428	44	6	15,4	15,5	10,2	10,9	25,9	126,5
902	3	1428	45	6	15,3	15,6	10,6	11,7	28,2	144,6
901	1	1428	46	6	16,8	17,0	10,6	11,1	28,1	144,5
901	1	1428	47	6	15,6	15,8	10,0	10,9	27,4	136,2
901	1	1428	48	6	15,1	15,2	10,5	11,2	28,1	146,1
902	1	1428	49	6	16,4	16,7	10,6	11,8	31,8	165,3
902	2	1428	50	6	17,2	17,6	10,1	10,7	36,4	179,3
801	1	1428	51	7	17,8	18,2	10,5	12,2	38,2	195,1
801	1	1428	52	7	17,5	17,8	10,5	11,1	34,0	172,4
801	1	1428	53	7	16,9	17,3	9,6	10,9	34,1	162,7
801	2	1428	54	7	17,5	17,9	10,4	11,0	38,2	193,6
801	3	1428	55	7	16,7	16,9	9,8	10,3	30,8	142,6
801	3	1428	56	7	17,7	17,9	9,6	10,0	37,1	166,5
801	3	1428	57	7	17,1	17,6	9,3	9,7	32,8	144,3
801	3	1428	58	7	15,5	15,8	8,8	9,3	30,8	132,1
801	2	1428	59	7	15,5	15,7	9,5	9,7	26,0	121,1
801	2	1428	60	7	15,2	15,4	9,9	10,8	23,5	115,9
801	2	1428	61	7	16,4	16,6	10,1	10,7	28,0	139,1
801	2	1428	62	7	15,9	16,1	9,2	8,9	27,7	125,3
801	3	1428	63	7	17,5	17,6	9,2	10,0	33,5	145,8
801	3	1428	64	7	16,1	16,2	8,1	8,3	28,3	110,9
804	1	1428	65	7	17,0	17,2	8,1	9,1	34,8	139,8
801	3	1428	66	7	20,0	20,4	11,6	12,6	39,6	205,4
804	1	1428	67	7	24,7	25,6	14,7	15,3	36,5	243,6
804	1	1428	68	7	23,0	23,6	14,7	16,5	41,6	278,8
803	3	1428	69	7	19,0	19,5	13,3	14,4	40,9	242,5
801	1	1428	70	7	18,3	18,5	12,6	13,5	37,4	223,3
801	1	1428	71	7	16,5	16,8	11,7	13,3	35,7	203,4
801	2	1428	72	7	16,9	17,2	12,0	13,2	32,4	187,9
801	1	1428	73	7	17,0	17,3	12,4	13,4	37,7	223,4
801	1	1428	74	7	17,1	17,5	12,0	13,3	33,1	193,7
801	2	1428	75	7	16,9	17,2	11,4	12,1	31,8	175,2
801	2	1428	76	7	17,0	17,4	11,6	12,7	33,8	191,3
001	1	1428	77	8	19,3	20,0	13,2	14,3	38,0	239,1
001	1	1428	78	8	18,3	18,6	14,3	15,4	38,8	260,2
001	2	1428	79	8	18,6	18,9	13,6	14,1	32,5	209,1
001	2	1428	80	8	18,7	19,1	13,4	15,3	35,4	228,2
001	3	1428	81	8	20,2	20,5	11,9	12,5	27,0	142,6
001	3	1428	82	8	21,6	22,0	13,4	14,1	32,0	183,9

TABELA 34 - Dados das parcelas geradas pelo programa ANAPAR (Análise de parcelas) para a densidade de 1250 e 1666 plantas por ha.

Talhão	Sítio	Densidade	Parcela	Idade (anos)	d _m (cm)	d _g (cm)	h _m (m)	h ₁₀₀ (m)	G (m ²)	v (m ³)
601	1	1250	1	9	17,8	18,1	12,9	13,2	31,8	193,7
601	2	1250	2	9	18,9	19,1	12,3	12,9	29,4	170,2
601	1	1250	3	9	18,6	18,8	12,0	12,7	30,1	171,9
601	1	1250	4	9	17,3	17,7	11,4	13,3	26,6	149,0
601	2	1250	5	9	18,4	18,7	11,4	12,4	27,3	150,5
601	2	1250	6	9	18,6	19,0	11,6	12,8	29,2	163,8
601	2	1250	7	9	18,9	19,4	11,5	12,2	27,9	154,2
601	1	1250	8	9	22,1	22,7	15,2	16,8	39,4	277,5
601	1	1250	9	9	21,6	22,2	15,1	16,7	35,6	249,9
601	1	1250	10	9	19,3	19,7	12,1	13,4	36,8	213,8
601	1	1250	11	9	18,6	19,2	10,3	12,4	31,2	159,5
601	1	1250	12	9	19,5	19,8	10,2	11,7	31,7	156,2
601	1	1250	13	9	17,8	18,1	10,5	12,0	33,3	171,6
615	1	1250	14	9	19,8	20,2	12,2	13,2	36,1	207,5
516	1	1250	15	10	23,4	24,3	15,5	17,2	39,0	277,5
516	1	1250	16	10	22,8	23,6	15,7	17,6	40,2	289,2
512	2	1250	17	10	22,3	23,1	14,9	16,1	30,8	211,5
512	2	1250	18	10	20,8	21,1	14,4	15,5	33,2	220,9
512	2	1250	19	10	21,4	21,7	15,1	15,9	34,9	239,9
512	2	1250	20	10	22,8	23,4	14,8	15,9	36,2	246,2
419	2	1666	21	11	19,6	20,3	16,1	17,4	34,0	254,6
401	2	1666	22	11	21,1	21,5	15,8	17,6	39,2	286,5
419	1	1666	23	11	21,3	21,8	18,0	18,7	47,0	379,0
419	1	1666	24	11	20,5	21,0	16,8	18,9	43,6	336,0
419	2	1666	25	11	23,2	23,7	17,3	17,4	40,6	315,1
419	2	1666	26	11	21,3	21,8	11,9	12,4	42,3	233,3
419	1	1666	27	11	20,9	21,4	15,9	17,3	52,0	379,8
419	1	1666	28	11	20,7	21,0	16,4	17,0	44,5	331,0
304	1	1666	29	12	22,5	23,1	18,9	20,8	45,3	382,7
304	1	1666	30	12	21,6	22,0	17,9	19,2	53,1	424,8
304	1	1666	31	12	21,2	21,6	18,0	19,6	50,1	407,4
304	1	1666	32	12	23,3	23,7	16,2	18,2	46,6	344,2
304	2	1666	33	12	23,1	23,8	17,6	18,4	37,4	294,9
304	2	1666	34	12	22,3	22,6	16,8	18,6	43,4	330,3
304	2	1666	35	12	22,2	23,0	17,8	18,8	50,1	399,9
304	2	1666	36	12	24,4	24,7	17,7	18,8	44,2	347,0

ANEXO 6 - Análise de variância da regressão.**TABELA 35 - Análise de variância da regressão para a relação hipsométrica.**

FV	GL	SQ	QM	F	P
Modelo	1	49,596	49,596	1963,6	<0,0001
Resíduo	1554	39,250	0,025		
Total	1555	88,846			

TABELA 36 - Análise de variância da regressão para o volume individual.

FV	GL	SQ	QM	F	P
Modelo	2	97,298	48,649	8657,6	<0,0001
Resíduo	94	0,528	0,005		
Total	96	97,826			

TABELA 37 - Análise de variância da regressão para a altura dominante.

FV	GL	SQ	QM	F	P
Modelo	2	39,992	19,996	851,8	<0,0001
Resíduo	205	4,812	0,023		
Total	207	44,804			

TABELA 38 - Análise de variância da regressão para o diâmetro de área basal média.

FV	GL	SQ	QM	F	P
Modelo	2	581,884	290,942	28434,7	<0,0001
Resíduo	75	0,767	0,010		
Total	77	582,652			

TABELA 39 - Análise de variância da regressão para a área basal.

FV	GL	SQ	QM	F	P
Modelo	2	1106,555	553,277	11030,7	<0,0001
Resíduo	100	5,015	0,050		
Total	102	1111,570			

TABELA 40 - Análise de variância da regressão para o volume final.

FV	GL	SQ	QM	F	P
Modelo	2	18,721	9,360	9424,0	<0,0001
Resíduo	78	0,077	0,0009		
Total	80	18,799			

TABELA 41 - Análise de variância da regressão para o fator de forma.

FV	GL	SQ	QM	F	P
Modelo	3	0,789	0,263	576,9	<0,0001
Resíduo	100	0,045	0,0004		
Total	103	0,835			

ANEXO 7 - Curvas de desenvolvimento do IMA e do ICA (m³/ha/ano) por índice de sítio para *Pinus taeda* L. em Santo Tomé, Corrientes, Argentina.

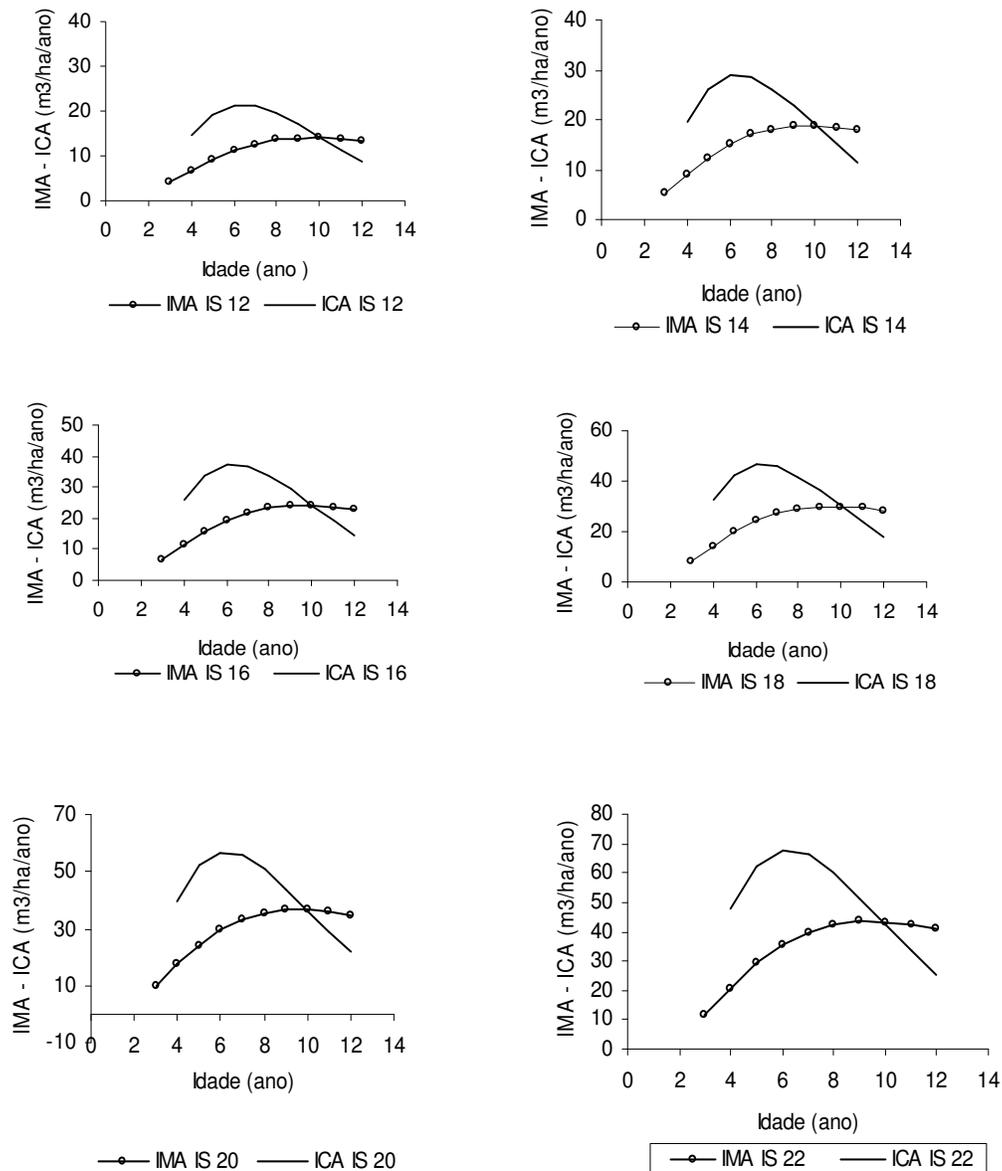


FIGURA 24 - Curvas de desenvolvimento do IMA e do ICA (m³/ha/ano) por índice de sítio para *Pinus taeda* L. em Santo Tomé, Corrientes, Argentina.