

**MARCIO BARBOSA DA CONCEIÇÃO**

**COMPARAÇÃO DE MÉTODOS DE ESTIMATIVA DE VOLUME EM  
DIFERENTES IDADES EM PLANTAÇÕES DE *Eucalyptus grandis* HILL EX -  
MAIDEN**

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal do Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de “Mestre em Ciências Florestais”.

**Orientador**

Prof °. Sebastião do Amaral Machado

**CURITIBA  
PARANÁ - BRASIL**

**2004**

AOS MEUS PAIS E IRMÃOS,  
À MEMÓRIA DE MINHA AVÓ,  
A WALESKA E Á GIOVANNA.

## **BIOGRAFIA**

MARCIO BARBOSA DA CONCEIÇÃO, filho de Paulo Barbosa da Conceição e Roseli Oliveira da Conceição, nasceu a 29 de junho de 1979 em Curitiba - Paraná.

Cursou o ensino fundamental na Escola Municipal Prefeito Omar Sabbag e o ensino médio no Colégio Estadual do Paraná, concluindo sua formação secundária em 1996.

Em 1997 ingressou no Curso de Engenharia Florestal da Universidade Federal do Paraná. No período de agosto de 1999 a maio de 2002 participou do desenvolvimento de projetos de pesquisa na área de Inventário e Manejo Florestal realizados pelo Laboratório de Dendrometria, como bolsista de iniciação científica.

Concluiu a Graduação em maio de 2002 e em junho deste ano iniciou o Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal na Universidade Federal do Paraná, completando os créditos no segundo semestre deste mesmo ano.

A partir de 2002 participou na execução de projetos de pesquisa na área de Inventário e Manejo Florestal realizados pelo Laboratório de Dendrometria.

## **AGRADECIMENTOS**

Ao Professor Sebastião do Amaral Machado, pela dedicação, interesse e sempre pronta disponibilidade na orientação deste trabalho.

Aos Co-orientadores Afonso Figueiredo Filho e Julio Eduardo Arce, pela amizade e valiosas sugestões apresentadas para o desenvolvimento do trabalho.

Ao Professor Décio José de Figueiredo, pela amizade, apoio e prazer no convívio diário.

Aos amigos e familiares, pela compreensão, interesse e estímulos recebidos.

Ao Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal da Universidade Federal do Paraná, pela oportunidade de aprimoramento técnico-científico através da realização deste curso.

A CAPES – Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior, pela concessão da bolsa de estudos.

A empresa Duraflora S.A. por permitir a utilização dos dados.

Aos Professores e Funcionários do Curso de Engenharia Florestal da UFPR.

Aos demais professores e colegas do curso que direta ou indiretamente colaboraram para realização deste trabalho.

## SUMÁRIO

<b>LISTA DE TABELAS</b> .....	<b>IX</b>
<b>LISTA DE FIGURAS</b> .....	<b>XIII</b>
<b>RESUMO</b> .....	<b>XV</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>XVI</b>
<b>I INTRODUÇÃO GERAL</b> .....	<b>1</b>
I.1 OBJETIVOS .....	3
I.1.1 Objetivo Geral .....	3
I.1.2 Objetivos Específicos .....	3
<b>II REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	<b>4</b>
II.1 GÊNEROS: <i>eucalyptus</i> e <i>corymbia</i> .....	4
II.1.1 <i>Eucalyptus grandis</i> HILL EX-MAIDEN .....	5
II.1.2 Habitat .....	5
II.1.3 Características da espécie .....	6
II.1.4 Adaptação no Brasil .....	6
II.2 FORMA DO FUSTE DAS ÁRVORES .....	7
II.3 INFLUÊNCIA DA IDADE SOBRE O DESENVOLVIMENTO DA FORMA DO FUSTE DE ÁRVORES .....	8
II.4 DETERMINAÇÃO DO VOLUME INDIVIDUAL .....	10
II.5 FATOR DE FORMA .....	11
II.5.1 Fator de forma absoluto ou comum ( $f_{1,3}$ ): .....	12
II.5.2 Fator de forma natural de Hohenadl ( $f_{0,1}$ ): .....	12
II.6 QUOCIENTES DE FORMA (K) .....	13
II.6.1 Schiffel .....	14
II.6.2 Johnson (1910) .....	14
II.6.3 Girard .....	15
II.7 EQUAÇÕES DE VOLUME .....	16
II.8 MODELOS EMPREGADOS PARA O AJUSTE DE EQUAÇÕES DE VOLUME .....	17
II.9 FUNÇÕES DE AFILAMENTO .....	18
II.10 HISTÓRICO DAS FUNÇÕES DE AFILAMENTO .....	21
II.11 ANÁLISES ESTATÍSTICAS .....	28
II.12 SORTIMENTO .....	29

<b>CAPÍTULO 1 .....</b>	<b>30</b>
<b>EVOLUÇÃO DO FATOR DE FORMA EM DIFERENTES IDADES EM PLANTAGÕES DE <i>Eucalyptus grandis</i> HILL EX - MAIDEN.....</b>	<b>30</b>
<b>RESUMO .....</b>	<b>30</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>31</b>
<b>1.1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>32</b>
<b>1.2 MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>33</b>
1.2.1 CARACTERIZAÇÃO E LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO .....	33
1.2.2 COLETA DE DADOS .....	33
1.2.3 DETERMINAÇÃO DO VOLUME INDIVIDUAL .....	34
1.2.4 FATORES DE FORMA.....	35
1.2.5 ANÁLISES ESTATÍSTICAS .....	36
1.2.5.1 Análise da Homogeneidade das Variâncias (Teste de Bartlett) .....	36
1.2.5.2 Análise de Variância (ANOVA).....	38
1.2.5.3 Teste de Tukey.....	39
<b>1.3 RESULTADOS E DISCUSSÕES .....</b>	<b>40</b>
1.3.1 TESTE DE HOMOGENEIDADE DE VARIÂNCIAS (Teste de Bartlett):..	40
1.3.2 ANÁLISE DE VARIÂNCIA (ANOVA) .....	41
1.3.3 TESTE DE COMPARAÇÃO DE MÉDIAS (Tukey) .....	43
<b>1.4 CONCLUSÕES .....</b>	<b>50</b>
<b>1.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>52</b>
<b>CAPÍTULO 2 .....</b>	<b>53</b>
<b>MODELAGEM DO VOLUME INDIVIDUAL PARA DIFERENTES IDADES EM PLANTAGÕES DE <i>Eucalyptus grandis</i> HILL EX - MAIDEN.....</b>	<b>53</b>
<b>RESUMO .....</b>	<b>53</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>54</b>
<b>2.1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>55</b>
<b>2.2 MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>	<b>57</b>
2.2.1 CARACTERIZAÇÃO E LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO .....	57
2.2.2 COLETA DE DADOS .....	57
2.2.3 MODELOS VOLUMÉTRICOS.....	58
2.2.4 SELEÇÃO DO MELHOR MODELO .....	59

2.2.5 VALIDAÇÃO DO MELHOR MODELO .....	61
<b>2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>62</b>
2.3.1 ORDENAMENTO DOS MODELOS .....	65
2.3.2 ANÁLISE DE RESÍDUOS.....	68
2.3.3 VALIDAÇÃO DO MELHOR MODELO .....	73
<b>2.4 CONCLUSÕES .....</b>	<b>76</b>
<b>2.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>77</b>
<b>CAPÍTULO 3 .....</b>	<b>79</b>
<b>ESTUDO DE MODELOS POLINOMIAIS QUE DESCREVEM O PERFIL DO FUSTE PARA DIFERENTES IDADES EM PLANTAÇÕES DE <i>Eucalyptus grandis</i> HILL EX-MAIDEN.....</b>	<b>79</b>
<b>RESUMO .....</b>	<b>79</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>80</b>
<b>3.1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>81</b>
<b>3.2 MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>	<b>82</b>
3.2.1 CARACTERIZAÇÃO E LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO .....	82
3.2.2 COLETA DE DADOS .....	82
3.2.3 FUNÇÕES DE AFILAMENTO UTILIZADAS .....	83
3.2.3.1 Polinômio de 5º grau ou modelo de Prodan, Schöepfer e Peters (1971) .....	83
3.2.3.2 Polinômio de 2º grau ou modelo de Kozak <i>et al.</i> (1969).....	85
3.2.3.3 Polinômio de potência fracionária ou modelo de Hradetzky (1976)....	85
3.2.4 SELEÇÃO DO MELHOR MODELO .....	86
<b>3.3 RESULTADOS E DISCUSSÕES .....</b>	<b>89</b>
3.3.1 ORDENAMENTO DOS MODELOS.....	93
3.3.2 ANÁLISE GRÁFICA DE RESÍDUOS.....	94
3.3.3 PERFIL MÉDIO DOS FUSTES .....	101
<b>3.4 CONCLUSÕES .....</b>	<b>104</b>
<b>3.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>105</b>
<b>CAPÍTULO 4 .....</b>	<b>107</b>
<b>COMPARAÇÃO DE MÉTODOS DE ESTIMATIVA DE VOLUME PARA <i>Eucalyptus grandis</i> HILL EX-MAIDEN EM DIFERENTES IDADES.....</b>	<b>107</b>

<b>RESUMO .....</b>	<b>107</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>108</b>
<b>4.1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>109</b>
<b>4.2 MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>111</b>
4.2.1 CARACTERIZAÇÃO E LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO .....	111
4.2.2 COLETA DE DADOS .....	111
4.2.3 DETERMINAÇÃO DO VOLUME INDIVIDUAL .....	112
4.2.4 OBTENÇÃO DOS FATORES DE FORMA.....	112
4.2.5 OBTENÇÃO DA EQUAÇÃO DE VOLUME .....	113
4.2.6 OBTENÇÃO DA FUNÇÃO DE AFILAMENTO .....	113
4.2.7 ANÁLISES ESTATÍSTICAS .....	115
4.2.7.1 Análise da Homogeneidade das Variâncias (Teste de Bartlett) .....	115
4.2.7.2 Análise de Variância.....	116
4.2.7.3 Teste de Tukey.....	117
<b>4.3 RESULTADOS E DISCUSSÕES .....</b>	<b>118</b>
4.3.1 TESTE DE HOMOGENEIDADE DE VARIÂNCIAS (Teste de Bartlett) .	121
4.3.2 ANÁLISE DE VARIÂNCIA (ANOVA) .....	121
4.3.3 TESTE DE COMPARAÇÃO DE MÉDIAS (Tukey) .....	123
4.3.3.1 Comparação de Médias por Classe de Diâmetro .....	126
<b>4.4 CONCLUSÕES .....</b>	<b>127</b>
<b>4.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>128</b>
<b>III REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS CITADAS NO REFERENCIAL TEÓRICO...</b>	<b>130</b>
<b>ANEXO A .....</b>	<b>138</b>

## LISTA DE TABELAS

TABELA 1.1 - ESPECIFICAÇÃO DOS TRATAMENTOS.....	33
TABELA 1.2 - CARACTERIZAÇÃO DOS TRATAMENTOS.....	40
TABELA 1.3 - VALORES DE $\chi^2$ E NÍVEIS DE SIGNIFICÂNCIA OBTIDOS PELO TESTE DE BARTLETT ENTRE OS DIFERENTES FATORES DE FORMA PARA OS DIFERENTES TRATAMENTOS UTILIZADOS. ....	41
TABELA 1.4 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA ENTRE FATORES DE FORMA ABSOLUTO ( $f_{1,3}$ ); NATURAL ( $f_{0,1}$ ); E ENTRE FATORES DE FORMA ABSOLUTO E NATURAL, PARA OS 6 TRATAMENTOS, COM CASCA (CC) E SEM CASCA (SC). ....	42
TABELA 1.5 - COMPARAÇÃO DE MÉDIAS ENTRE FATORES DE FORMA ABSOLUTOS ( $f_{1,3}$ ), PARA OS 6 TRATAMENTOS COM CASCA E SEM CASCA.....	43
TABELA 1.6 - COMPARAÇÃO DE MÉDIAS ENTRE FATORES DE FORMA NATURAIS ( $f_{0,1}$ ), PARA OS 6 TRATAMENTOS COM CASCA E SEM CASCA.....	43
TABELA 1.7 - COMPARAÇÃO DE MÉDIAS ENTRE FATORES DE FORMA ABSOLUTOS ( $f_{1,3}$ ) E NATURAIS ( $f_{0,1}$ ) ENTRE CADA UM DOS TRATAMENTOS COM CASCA E SEM CASCA. ....	45
TABELA 1.8 - COMPARAÇÃO DE MÉDIAS ENTRE FATORES DE FORMA ABSOLUTOS ( $f_{1,3}$ ) E NATURAIS ( $f_{0,1}$ ), ENTRE OS 6 TRATAMENTOS COM CASCA E SEM CASCA.....	47
TABELA 2.1 - ESPECIFICAÇÃO DOS TRATAMENTOS.....	57
TABELA 2.2 - MODELOS TRADICIONAIS TESTADOS PARA ESTIMATIVA DOS VOLUMES.....	58
TABELA 2.3 - CARACTERIZAÇÃO DOS TRATAMENTOS.....	62
TABELA 2.4 - COEFICIENTES E ESTATÍSTICAS PARA O TRATAMENTO A (IDADE 3 ANOS) COM CASCA. ....	64
TABELA 2.5 - COEFICIENTES E ESTATÍSTICAS PARA O TRATAMENTO A (IDADE 3 ANOS) SEM CASCA. ....	64
TABELA 2.6 - RANKING DAS EQUAÇÕES DE VOLUME COM CASCA, TESTADAS QUANTO AO $S_{YX}\%$ E AO $R^2_{AJ}$ .....	67
TABELA 2.7 - RANKING DAS EQUAÇÕES DE VOLUME SEM CASCA, TESTADAS QUANTO AO $S_{YX}\%$ E AO $R^2_{AJ}$ .....	67
TABELA 2.8 - EQUAÇÕES OBTIDAS PARA CADA TRATAMENTO SUBMETIDAS AO TESTE DE VALIDAÇÃO ( $X^2$ ). ....	74
TABELA 2.9 - VALORES DE QUI-QUADRADO CALCULADO E TABELADO, OBTIDOS PARA AS EQUAÇÕES TESTADAS PARA OS 6 TRATAMENTOS COM CASCA.....	74

TABELA 2.10 - VALORES DE QUI-QUADRADO CALCULADO E TABELADO, OBTIDOS PARA AS EQUAÇÕES TESTADAS PARA OS 6 TRATAMENTOS SEM CASCA. ....	75
TABELA 3.1 - ESPECIFICAÇÃO DOS TRATAMENTOS.....	82
TABELA 3.2 - CARACTERIZAÇÃO DOS TRATAMENTOS.....	89
TABELA 3.3 - EXPOENTES UTILIZADOS NO AJUSTE DO MODELO DA POTÊNCIA FRACIONÁRIA PARA CADA UM DOS TRATAMENTOS. ....	89
TABELA 3.4 - COEFICIENTES OBTIDOS ATRAVÉS DOS AJUSTES DOS POLINÔMIOS DO 5º GRAU (MODELO 1), KOZAK (MODELO 2) E HRADETZKY (MODELO 3).....	90
TABELA 3.5 - ESTATÍSTICAS DE AJUSTE E PRECISÃO OBTIDAS ATRAVÉS DOS AJUSTES REALIZADOS PARA OS POLINÔMIOS DO 5º GRAU (MODELO 1), KOZAK (MODELO 2) E HRADETZKY (MODELO 3). ....	91
TABELA 3.6 - RANKING DAS FUNÇÕES DE AFILAMENTO TESTADAS QUANTO AO $S_{YX}$ % E AO $R^2_{AJ}$ , PARA OS 6 TRATAMENTOS COM CASCA.....	94
TABELA 3.7 - RANKING DAS FUNÇÕES DE AFILAMENTO TESTADAS QUANTO AO $S_{YX}$ % E AO $R^2_{AJ}$ , PARA OS 6 TRATAMENTOS SEM CASCA. ....	94
TABELA 4.1 - ESPECIFICAÇÃO DOS TRATAMENTOS.....	111
TABELA 4.2 - CARACTERIZAÇÃO DOS REGIMES DE MANEJO .....	118
TABELA 4.3 - FATORES DE FORMA ( $f_{1,3}$ ) MÉDIOS .....	119
TABELA 4.4 - COEFICIENTES DOS MODELOS VOLUMÉTRICOS SELECIONADOS .....	119
TABELA 4.5 - FUNÇÕES AFILAMENTO DE HRADETZKY POR TRATAMENTO....	120
TABELA 4.6 - VOLUMES MÉDIOS OBTIDOS PELOS DIFERENTES MÉTODOS DE AVALIAÇÃO .....	120
TABELA 4.7 - VALORES DE $X^2$ CALCULADOS E NÍVEIS DE SIGNIFICÂNCIA.....	121
TABELA 4.8 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA TODOS OS TRATAMENTOS COM CASCA.....	122
TABELA 4.9 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA TODOS OS TRATAMENTOS, SEM CASCA.....	122
TABELA 4.10 - DESVIOS RELATIVOS DOS DIFERENTES MÉTODOS EM FUNÇÃO DO VOLUME REAL.....	123
TABELA 2.11A - COEFICIENTES E ESTATÍSTICAS DOS 9 MODELOS VOLUMÉTRICOS TESTADOS PARA O TRATAMENTO B (IDADE 4,5 ANOS) COM CASCA.....	139

TABELA 2.12A - COEFICIENTES E ESTATÍSTICAS DOS 9 MODELOS VOLUMÉTRICOS TESTADOS PARA O TRATAMENTO B (IDADE 4,5 ANOS) SEM CASCA.....	139
TABELA 2.13A - COEFICIENTES E ESTATÍSTICAS DOS 9 MODELOS VOLUMÉTRICOS TESTADOS PARA O TRATAMENTO C (IDADE 6,1 ANOS) COM CASCA.....	140
TABELA 2.14A - COEFICIENTES E ESTATÍSTICAS DOS 9 MODELOS VOLUMÉTRICOS TESTADOS PARA O TRATAMENTO C (IDADE 6,1 ANOS) SEM CASCA.....	140
TABELA 2.15A - COEFICIENTES E ESTATÍSTICAS DOS 9 MODELOS VOLUMÉTRICOS TESTADOS PARA O TRATAMENTO D (IDADE 6,5 ANOS) COM CASCA.....	141
TABELA 2.16A - COEFICIENTES E ESTATÍSTICAS DOS 9 MODELOS VOLUMÉTRICOS TESTADOS PARA O TRATAMENTO D (IDADE 6,5 ANOS) SEM CASCA.....	141
TABELA 2.17A - COEFICIENTES E ESTATÍSTICAS DOS 9 MODELOS VOLUMÉTRICOS TESTADOS PARA O TRATAMENTO E (IDADE 7,5 ANOS) COM CASCA.....	142
TABELA 2.18A - COEFICIENTES E ESTATÍSTICAS DOS 9 MODELOS VOLUMÉTRICOS TESTADOS PARA O TRATAMENTO E (IDADE 7,5 ANOS) SEM CASCA.....	142
TABELA 2.19A - COEFICIENTES E ESTATÍSTICAS DOS 9 MODELOS VOLUMÉTRICOS TESTADOS PARA O TRATAMENTO F (IDADE 9 ANOS) COM CASCA.....	143
TABELA 2.20A - COEFICIENTES E ESTATÍSTICAS DOS 9 MODELOS VOLUMÉTRICOS TESTADOS PARA O TRATAMENTO F (IDADE 9 ANOS) SEM CASCA.....	143
TABELA 4.11A. FATORES DE FORMA MÉDIOS PARA O CONJUNTO TOTAL DE DADOS.....	147
TABELA 4.12A - COEFICIENTES E ESTATÍSTICAS PARA OS MODELOS DE SPURR LOGARÍTMICO E DE SCHUMACHER AJUSTADOS PARA O BANCO DE DADOS TOTAL.....	147
TABELA 4.13A - EXPOENTES, COEFICIENTES E ESTATÍSTICAS PARA A FUNÇÃO DE AFILAMENTO DE HRADETZKY AJUSTADA PARA O BANCO DE DADOS TOTAL.....	148
TABELA 4.14A - NÚMERO DE ÁRVORES POR CLASSE DIAMÉTRICA.....	149
TABELA 4.15A - VALORES DE $\chi^2$ CALCULADOS E NÍVEIS DE SIGNIFICÂNCIA POR CLASSE DIAMÉTRICA.....	149
TABELA 4.16A - ANÁLISE DE VARIÂNCIA POR CLASSE DE DIÂMETRO COM CASCA.....	150

TABELA 4.17A - ANÁLISE DE VARIÂNCIA POR CLASSE DE DIÂMETRO SEM CASCA. ....	150
--	-----

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1.1 - COMPARAÇÃO DE MÉDIAS ENTRE FATORES DE FORMA ABSOLUTOS ( $f_{1,3}$ ) ENTRE CADA UM DOS TRATAMENTOS COM CASCA E SEM CASCA.....	45
FIGURA 1.2 - COMPARAÇÃO DE MÉDIAS ENTRE FATORES DE FORMA NATURAIS ( $f_{0,1}$ ) ENTRE CADA UM DOS TRATAMENTOS COM CASCA E SEM CASCA.....	46
FIGURA 1.3 - COMPARAÇÃO DE MÉDIAS ENTRE FATORES DE FORMA ABSOLUTOS ( $f_{1,3}$ ) E NATURAIS ( $f_{0,1}$ ), ENTRE OS 6 TRATAMENTOS COM CASCA.....	47
FIGURA 1.4 - COMPARAÇÃO DE MÉDIAS ENTRE FATORES DE FORMA ABSOLUTOS ( $f_{1,3}$ ) E NATURAIS ( $f_{0,1}$ ), ENTRE OS 6 TRATAMENTOS SEM CASCA.....	48
FIGURA 2.1 - GRÁFICO DE DISPERSÃO DE RESÍDUOS EM % EM FUNÇÃO DOS VOLUMES ESTIMADOS PELA EQUAÇÃO 4 (SPURR), COM CASCA.....	70
FIGURA 2.2 - GRÁFICO DE DISPERSÃO DE RESÍDUOS EM % EM FUNÇÃO DOS VOLUMES ESTIMADOS PELA EQUAÇÃO 9 (SCHUMACHER - HALL), SEM CASCA.....	71
FIGURA 2.3 - GRÁFICO DE DISPERSÃO DE RESÍDUOS EM % EM FUNÇÃO DOS VOLUMES ESTIMADOS PELA EQUAÇÃO 9 (SCHUMACHER - HALL), COM CASCA.....	72
FIGURA 2.4 - GRÁFICO DE DISPERSÃO DE RESÍDUOS EM % EM FUNÇÃO DOS VOLUMES ESTIMADOS PELA EQUAÇÃO 4 (SPURR), SEM CASCA.....	73
FIGURA 3.1 - GRÁFICO DE DISPERSÃO DE RESÍDUOS EM % EM FUNÇÃO DOS DIAMETROS A DIFERENTES ALTURAS ESTIMADOS PELA EQUAÇÃO 1 (POLINOMIO DO 5º GRAU), COM CASCA.....	95
FIGURA 3.2 - GRÁFICO DE DISPERSÃO DE RESÍDUOS EM % EM FUNÇÃO DOS DIAMETROS A DIFERENTES ALTURAS ESTIMADOS PELA EQUAÇÃO 2 (POLINOMIO DE KOZAK), COM CASCA.....	96
FIGURA 3.3 - GRÁFICO DE DISPERSÃO DE RESÍDUOS EM % EM FUNÇÃO DOS DIAMETROS A DIFERENTES ALTURAS ESTIMADOS PELA EQUAÇÃO 3 (POLINOMIO DE HRADETZKY), COM CASCA.....	97
FIGURA 3.4 - GRÁFICO DE DISPERSÃO DE RESÍDUOS EM % EM FUNÇÃO DOS DIAMETROS A DIFERENTES ALTURAS ESTIMADOS PELA EQUAÇÃO 1 (POLINOMIO DO 5º GRAU), SEM CASCA.....	98

FIGURA 3.5 - GRÁFICO DE DISPERSÃO DE RESÍDUOS EM % EM FUNÇÃO DOS DIÂMETROS A DIFERENTES ALTURAS ESTIMADOS PELA EQUAÇÃO 2 (POLINOMIO DE KOZAK), SEM CASCA.....	99
FIGURA 3.6 - GRÁFICO DE DISPERSÃO DE RESÍDUOS EM % EM FUNÇÃO DOS DIÂMETROS A DIFERENTES ALTURAS ESTIMADOS PELA EQUAÇÃO 3 (POLINOMIO DE HRADETZKY), SEM CASCA.....	100
FIGURA 3.7 - PERFIL MÉDIO DOS FUSTES ESTIMADOS PELAS TRÊS FUNÇÕES DE AFILAMENTO TESTADAS (POLINOMIOS DO 5º GRAU, KOZAK E HRADETZKY), PARA OS 6 TRATAMENTOS COM CASCA. ....	101
FIGURA 3.8 - PERFIL MÉDIO DOS FUSTES ESTIMADOS PELAS TRÊS FUNÇÕES DE AFILAMENTO TESTADAS (POLINOMIOS DO 5º GRAU, KOZAK E HRADETZKY), PARA OS 6 TRATAMENTOS SEM CASCA. ....	102
FIGURA 4.1 - DESVIOS RELATIVOS DOS DIFERENTES MÉTODOS EM FUNÇÃO DO VOLUME REAL COM CASCA.....	124
FIGURA 4.2 - DESVIOS RELATIVOS DOS DIFERENTES MÉTODOS EM FUNÇÃO DO VOLUME REAL SEM CASCA .....	124
FIGURA 2.5A - GRÁFICO DE DISPERSÃO DE RESÍDUOS EM % EM FUNÇÃO DOS VOLUMES ESTIMADOS PELA EQUAÇÃO 6 (MEYER), COM CASCA.....	144
FIGURA 2.6A - GRÁFICO DE DISPERSÃO DE RESÍDUOS EM % EM FUNÇÃO DOS VOLUMES ESTIMADOS PELA EQUAÇÃO 6 (MEYER), SEM CASCA. ....	145
FIGURA 2.7A - GRÁFICO DE DISPERSÃO DE RESÍDUOS EM % EM FUNÇÃO DOS VOLUMES ESTIMADOS PELA EQUAÇÃO 5 (STOATE), COM CASCA.....	146
FIGURA 2.8A - GRÁFICO DE DISPERSÃO DE RESÍDUOS EM % EM FUNÇÃO DOS VOLUMES ESTIMADOS PELA EQUAÇÃO 5 (STOATE), SEM CASCA. ....	147
FIGURA 4.3A - ANÁLISE GRÁFICA DE RESÍDUOS PARA OS MODELOS AJUSTADOS PARA O BANCO DE DADOS TOTAL, COM E SEM CASCA..	148
FIGURA 4.4A - ANÁLISE GRÁFICA DE RESÍDUOS PARA A FUNÇÃO DE HRADETZKY AJUSTADA PARA O BANCO DE DADOS TOTAL, COM E SEM CASCA. ....	148
FIGURA 4.5A - PERFIL MÉDIO DOS FUSTES ESTIMADOS PELA FUNÇÃO DE HRADETZKY AJUSTADA PARA O BANCO DE DADOS TOTAL, COM E SEM CASCA. ....	149

## RESUMO

Esta pesquisa visa comparar os volumes obtidos pelos métodos de Smalian, fator de forma, equação de volume e função de afilamento. Os dados usados compõem-se de 589 árvores distribuídas em 6 diferentes idades (Tratamentos), pertencentes a Duraflora S. A. de Agudos - SP. As árvores foram cubadas e calculados os seus respectivos volumes reais com e sem casca, através do método de Smalian. Baseando-se nos fatores de forma médios obtidos (Capítulo 1), foram estimados os volumes individuais e posteriormente as médias por tratamento com e sem casca. Através de equações volumétricas, previamente ajustadas (Capítulo 2), foram estimados os volumes individuais e posteriormente calculadas as médias por tratamento com e sem casca. Também baseando-se na melhor equação de afilamento (Capítulo 3), foram calculados os volumes médios por tratamento. Depois de calculados e estimados os volumes individuais pelos diferentes métodos e obtidas as respectivas médias por tratamento com e sem casca, foram utilizados o Teste de Bartlett, Análise de Variância e Teste de Tukey para realizar a comparação de médias volumétricas por classe de idade, tendo os volumes médios obtidos através do método de Smalian como testemunha (Capítulo 4). A análise de variância mostrou a inexistência de diferenças significativas entre os métodos para os 6 tratamentos com e sem casca, ao nível de 95% de probabilidade, não sendo necessária à realização do teste de comparação de médias de Tukey, ou seja, os diferentes métodos utilizados apresentaram volumes estimados estatisticamente iguais ao volume real.

Palavras - Chave: Smalian, fatores de forma, equações de volume, função de afilamento, comparação de métodos.

## **ABSTRACT**

This research aimed to compare volumes obtained by the methods of Smalian, form factor, volume equation and taper equations. The used data base was composed of 589 trees distributed in 6 different ages (Treatments). The trees were cubed and calculated their respective observed volumes with and without bark, by using the Smalian formula. Then form factors were also calculated. Basing on these obtained average factors, they were calculated individual volumes and later on the means by treatment with and without bark. Through volume equations previously adjusted, they were calculated average volumes by treatment with and without bark. Basing on the best adjusted taper equation they were also estimated average volumes by treatment. The Test of Bartlett, Analysis of Variance and Test of Tukey were used to accomplish the comparison of average estimated volumes by treatment. The variance analysis showed that significant difference doesn't exist among the methods for the 6 treatments with and without bark, at the level of 95% of probability, therefore it is not necessary the accomplishment of the test of comparison of means of Tukey, that is, the different used methods presented estimated volumes statistically identical to observed volumes.

Key words: Smalian, form factors, volume equations, taper equations, comparison of methods.

## I INTRODUÇÃO GERAL

Em virtude da redução da oferta de madeira de folhosas, notadamente nas regiões sul e sudeste do Brasil, tem se envidado esforços no sentido de implantar florestas para suprir as necessidades de consumo e abastecimento das indústrias florestais. Nesse sentido as espécies do gênero *Eucalyptus* têm sido usadas amplamente em programas de reflorestamento no Brasil, notadamente nas regiões mais quentes.

A precisão da avaliação quantitativa de estoques florestais é de fundamental importância no sentido de direcionar a matéria-prima para diferentes usos. A partir de dados provenientes de inventários florestais é possível definir um plano de manejo visando à utilização de multiprodutos da floresta, ou seja, obter os volumes comerciais e ainda volumes de partes específicas do fuste. A estimativa desses volumes é dificultada principalmente pela variação da forma do perfil do fuste.

A variável volume constitui uma das informações de maior importância para o conhecimento do potencial florestal disponível em uma região, sendo que o volume individual fornece um ponto de partida para avaliação do conteúdo lenhoso dos povoamentos florestais.

O emprego de fatores de conversão apropriados, denominados fatores de forma, é outro método que possibilita a estimativa do volume. Estes fatores são obtidos pela divisão do volume real pelo volume do cilindro tendo como base a altura a 1,30 m, ou então a 0,1 da altura total. Estes fatores multiplicados pelo volume do cilindro resultam então no volume real da árvore. Este procedimento tem sido usado mundialmente por quase dois séculos. No entanto, tem caído em desuso nos últimos tempos, principalmente após o advento das facilidades computacionais e o uso de técnicas de análise de regressão.

O procedimento utilizado com maior frequência na estimativa de volumes por árvore é o emprego de equações em que o volume constitui a

variável dependente, sendo o diâmetro à altura do peito (DAP com casca) e altura total (h) ou altura comercial as variáveis independente.

A modelagem do volume individual de árvores em função dessas variáveis independentes (DAP e h) começou a ser desenvolvida na primeira metade dos anos de 1900, após o desenvolvimento de técnicas de análise de regressão. No entanto, o uso dessas técnicas realmente tomou maior impulso após o surgimento dos computadores (a partir da década de 1950).

Muitos modelos matemáticos foram sendo criados e testados para o ajuste de equações de volume. Apesar do 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.

Devido à pouca flexibilidade dos procedimentos citados, pode-se utilizar as funções de afilamento. Essas funções permitem a estimativa do diâmetro em uma altura qualquer do fuste, da altura comercial para um dado diâmetro superior, ou ainda do volume até um diâmetro mínimo qualquer.

Os estudos para avaliação de multiprodutos dos fustes ainda são escassos no Brasil. No entanto, é reconhecida sua relevante importância nos planejamentos de corte e de reflorestamentos e/ou florestamentos de áreas a serem cultivadas.

A disponibilidade de dados distribuídos em 6 tratamentos diferentes, nos quais se varia a idade em plantações de *Eucalyptus grandis* Hill ex-Maiden da companhia Duraflora, localizados no município de Agudos, em São Paulo, onde foram cubadas 589 árvores, forneceram bases de dados de volume com e sem casca, para esta espécie ainda carente de pesquisas dessa natureza no Brasil. Este conjunto de dados permitiu testar os três métodos de estimativa de volume descritos, para cada idade e depois compará-los, tendo como testemunha o volume obtido pela fórmula de Smalian.

## I.1 OBJETIVOS

### I.1.1 Objetivo Geral

Testar a hipótese de que os volumes de árvores estimados através de fatores de forma, equações de volume, funções de afilamento e os calculados através da fórmula de Smalian são estatisticamente iguais entre si.

### I.1.2 Objetivos Específicos

a) Testar a hipótese de que fatores de forma (absoluto e natural) médios não são estatisticamente diferentes entre si, para os diferentes idades e volumes com e sem casca.

b) Testar vários modelos matemáticos que expressam a relação do volume com o diâmetro à altura do peito e a altura total e selecionar o de melhor ajuste e precisão para cada idade e volume com e sem casca.

c) Selecionar entre três funções de afilamento a de melhor ajuste e precisão para cada um dos tratamentos com e sem casca.

d) Comparar as médias volumétricas obtidas pelos três diferentes métodos, testando a hipótese de que estas não diferem estatisticamente das médias obtidas através da fórmula de Smalian (testemunha), por tratamento, com e sem casca.

## II REFERENCIAL TEÓRICO

### II.1 GÊNEROS: *Eucalyptus* e *Corymbia*

As informações descritas a seguir foram citadas por MOURA (Fundação Dalmo Giacometti, s.d.)

O gênero *Eucalyptus* contava com mais de 500 espécies, porém depois de um profundo estudo realizado pelos botânicos australianos, HILL & JOHNSON (1995), trabalhando no Herbário Nacional de Nova Gales do Sul, na cidade de Sidney, Austrália, foi reduzido em exatas 113 espécies, formando um novo gênero, denominado *Corymbia*.

Isso significa que espécies conhecidas entre nós como *Eucalyptus citriodora*, *E. maculata*, pertencentes na Austrália ao grupo denominado de "bloodwood" e também espécies como *E. papuana*, do grupo "ghost gums", agora têm um novo nome genérico e serão conhecidos como *Corymbia citriodora*, *C. maculata* e *C. papuana*.

As 113 espécies de *Corymbia* estão em sua maioria confinadas na metade da parte norte da Austrália, com exceção de *C. tessellaris*, que ocorre a partir do norte de Nova Gales do Sul e também de *C. ficifolia*, uma espécie ornamental, notável por suas flores vermelhas, que ocorre em área pequena, restrita ao sudoeste da Austrália Ocidental.

O reconhecimento que espécies de eucaliptos pertencentes aos grupos "bloodwood" e "ghost gums" como *Corymbia* não foi casual e a separação foi feita após intensas pesquisas. O botânico BENTHAM (1867), reconhecia o grupo "bloodwood" como um grupo distinto, apesar de mantê-lo dentro do gênero *Eucalyptus*. Em época mais recente, outras pesquisas evidenciaram que tanto o grupo "bloodwood" como o grupo "ghost gums" poderiam pertencer a um gênero distinto. Os estudos realizados não se restringiram apenas aos aspectos morfológicos, porém também a características moleculares. De acordo com HILL & JOHNSON (1995), as espécies do gênero *Corymbia* têm

em comum panículas terminais, frutos urceolados, venação das folhas em ângulo bem aberto, casca grossa escamosa, apesar de que esta última característica não é comum a todas as espécies deste gênero.

A primeira ação seria não reconhecer mais *Angophora* como gênero distinto, fundindo o mesmo com o gênero *Eucalyptus*. A Segunda ação seria fundir as espécies dos grupos "bloodwood" e "ghost gums" com as do gênero *Angophora*. A terceira ação seria criar o gênero *Corymbia*, com todas as espécies dos grupos "bloodwood" e "ghost gums". A ação prevalecente foi a última, e assim HILL & JOHNSON (1995), criaram o gênero *Corymbia*. Porém, considerando as semelhanças existentes entre os gêneros *Eucalyptus*, *Corymbia* e *Angophora*, estes autores, propõem que os três gêneros sejam referidos comumente como "eucaliptos".

No Brasil as espécies agora reconhecidas como sendo do gênero *Corymbia*, não são tão importantes comercialmente, com exceção para as espécies *C. citriodora*, *C. maculata* e *C. torrelliana*. Outras espécies deste gênero foram introduzidas, porém são de menor importância, podendo ser citadas: *C. tessellaris*, *C. polycarpa*, *C. intermedia*, *C. gummifera*, *C. nesophilla*, *C. papuana* e *C. ptychocarpa* uma espécie ornamental.

#### II.1.1 *Eucalyptus grandis* HILL EX-MAIDEN

As características da espécie descritas a seguir foram baseadas em SILVA (2001) e no Projeto Chave de Identificação de Espécies Florestais (IPEF, s.d.), citadas por SCARPINELLI (2002).

#### II.1.2 Habitat

Com ocorrência natural na Austrália, esta espécie aparece em três populações distintas: ao norte do estado de *New South Wales* e em direção ao norte, ao redor de *Bandaberg* (entre as latitudes 25 e 33°S); pequenos povoados a oeste de *Mackay*, na parte central de *Queensland* (latitude 21°S); ao nordeste de *Townsville*, para o oeste de *Bloomfield* e ao norte de

*Queensland* (latitude 16 a 19°S). Esta espécie encontra-se em áreas com altitudes que vão desde o nível do mar até 600 metros e de 500 a 1.100 metros de altitude nas áreas mais ao norte, com precipitações entre 1.000 e 3.500 mm anuais e temperatura máxima média variando de 24 a 30°C e a mínima média variando de 3 a 8°C.

### II.1.3 Características da espécie

A árvore adulta é alta, atingindo de 45 a 55 metros de altura, e grossa, com um diâmetro à altura do peito (DAP) de 1,2 a 2 metros. Pode, excepcionalmente, atingir 75 metros de altura e um DAP de 3 metros. Possui geralmente o fuste liso nos 2/3 a 3/4 superiores do tronco.

A madeira é considerada medianamente leve e fácil de ser trabalhada; apresenta ainda baixa estabilidade, mas elevada permeabilidade. É utilizada na Austrália, na África do Sul, Brasil e Argentina, com finalidade para construções civis ou serraria, quando cultivado em ciclo longo. Quando a cultura é manejada em um ciclo curto, pode-se utilizar a madeira para caixotes, mourões, carvão e paletes, sendo que quando desdobrada apresenta problemas de empenamento, contrações e rachaduras. É a principal espécie utilizada para produção de celulose, painéis, aglomerados e chapas duras; a madeira é mais resistente que o *E. saligna* e menos resistente que o *E. urophylla*.

### II.1.4 Adaptação no Brasil

Esta espécie é a mais cultivada no Brasil. É sensível a geadas severas e relativamente resistente à deficiência hídrica. Apresenta alta incidência de bifurcações e seca de ponteiros em solos pobres ou que tenham deficiência de boro. A madeira é considerada moderadamente leve, com cerne diferenciado e possui um crescimento e rendimento volumétrico superiores em relação às outras espécies de eucalipto.

## II.2 FORMA DO FUSTE DAS ÁRVORES

Segundo LARSON (1963), a forma do tronco das árvores pode ser considerada sob a ótica de conceitos dendrométricos e biológicos.

Segundo ASSMAN (1970) e LARSON (1963), vários estudos foram propostos na tentativa de explicar a forma funcional das árvores. Neste contexto várias teorias foram desenvolvidas. Do ponto de vista biológico, várias hipóteses foram propostas para explicar a forma dos fustes, tais como: a Teoria Nutricional, a Teoria da Condução de Água, a Teoria Mecanística e a Teoria Hormonal.

Tais hipóteses contribuíram de forma incontestável na tentativa de explicar os fatos relacionados com a forma dos fustes de árvores. No entanto, nenhuma delas trouxe uma solução definitiva para o problema.

Segundo BORGES, citado por FRIEDL (1989), do ponto de vista dendrométrico a forma do fuste de árvores genericamente é sua configuração externa que a rigor, não se identifica com a forma de um sólido geométrico específico, mas sim com vários, segundo a porção do tronco considerada. De uma maneira mais restrita, a forma do fuste pode ser associada ao termo afilamento que representa a diminuição do diâmetro com o aumento da altura, tendência natural que ocorre na maioria das espécies e como tal pode ser expressa por uma função matemática que descreve a tendência dessa variação. Afilamento do tronco ("taper"), tem sido definido como o decréscimo em diâmetro da base para a extremidade superior do tronco.

Segundo ASSMAN (1970), LOETCH, ZÖHRER e HALLER (1973), os fustes, tanto de coníferas como de folhosas, apresentam formas diferentes ao longo de seus fustes, tais como:

a) A base do tronco é convexa ao eixo longitudinal, com um ponto de inflexão variável em função da espécie, o qual se assemelha a um sólido geométrico do tipo neilóide;

b) A partir desse ponto de inflexão até a base da copa compreendendo a seção mediana do fuste, o traçado apresenta-se côncavo ao referido eixo. Em coníferas essa porção do tronco poderia ser descrita por um parabolóide, enquanto que nas folhosas, uma parte dessa seção seria parabolóide e a parte terminal até a base da copa seria descrita por um tronco de cone;

c) A parte terminal das coníferas que vai da base da copa até o ápice, apresenta seção levemente côncava ao eixo da árvore, podendo ser representado por um parabolóide quadrático ou cone.

Os pontos de transição ou limites desses sólidos são de difícil determinação nos troncos, sendo, pois de pouca importância prática. No entanto, desempenha um grande valor teórico na definição de expressões matemáticas que descrevem a forma do fuste.

### II.3 INFLUÊNCIA DA IDADE SOBRE O DESENVOLVIMENTO DA FORMA DO FUSTE DE ÁRVORES

NOORDLINGER citado por AHRENS (1981), descreveu a evolução da forma das árvores com relação à idade da seguinte maneira:

“Primeiro uma árvore jovem é coberta de galhos desde o solo e cresce isoladamente; os anéis anuais vão decrescendo da base ao topo, assim a forma do fuste é cônica”.

Quando os galhos inferiores dessecam-se espontaneamente, os anéis de crescimento são de maior largura na proximidade e por debaixo dos primeiros galhos vivos e vão diminuindo até a base, então, o fuste aproxima-se da parabolóide;

“Finalmente, quando a concorrência aumenta os anéis vão aumentando em largura da base para o topo, às vezes são o dobro, o triplo do que na base, assim, o fuste tende ao cilindro” (FRIEDL, 1989).

A partir dessa descrição pode-se inferir a respeito de duas características sobre o comportamento da forma dos fustes em relação à idade:

- a) A forma dos fustes das árvores varia com a idade;
- b) A forma dos fustes das árvores melhora com a idade.

É importante mencionar que durante o ciclo de vida de uma árvore, freqüentemente ocorrem alterações em sua copa. Como consequência, no decorrer da idade, processam-se mudanças na forma dos troncos, que tendem a se torna mais cilíndricas, conforme vários autores citados por LARSON (1963).

Segundo PIENNAR citado por FIGUEIREDO FILHO (1991), 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.

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 (FRIEDL, 1989).

MACHADO (1982), em um trabalho de pesquisa num povoamento de *Araucaria angustifolia*, afirmou que a forma dessas árvores torna-se cada vez mais cilíndricas com o aumento da idade. Com isso, tal afirmativa pode ser facilmente constatada pelo fato dos quocientes de forma da base de árvores permanecem relativamente constantes com o aumento da idade, enquanto os

quocientes de forma das partes mais superiores das árvores continuam em franco crescimento com o aumento da idade. O mesmo autor, concluiu que a forma das árvores dominantes de *Araucaria angustifolia*, em plantações, torna-se cada vez mais homogênea à medida que aumenta a idade.

FRIEDL (1989), estudando a forma de fustes em povoamentos de *Araucaria angustifolia*, no Paraná, chegou a conclusão que a idade exerce um efeito altamente significativo sobre o comportamento da forma dessas árvores.

#### II.4 DETERMINAÇÃO DO VOLUME INDIVIDUAL

O volume pode ser considerado uma das principais características para se avaliar o potencial de uma floresta.

Para determinação de volumes individuais de árvores, vários métodos foram e ainda estão sendo desenvolvidos.

REINECKE, citado por LOESTCH et al. (1973), foi o primeiro a propor a determinação do volume através do método gráfico. Entretanto, com o uso da computação eletrônica os métodos analíticos tornaram-se mais usados.

Conforme HUSCH et al. (1982), o volume de um sólido com seções transversais conhecidas pode ser obtido pelo somatório do volume de cada uma das seções que o compõem.

De acordo com LOETSCH et al. (1973) as três maneiras mais comuns para a determinação de volumes individuais são através das fórmulas de Huber, Smalian e Newton; sendo:

Fórmula de Huber  $v = g_m \cdot \lambda$

Fórmula de Smalian  $v = \frac{(g_i + g_s)}{2} \cdot \lambda$

Fórmula de Newton 
$$v = \frac{(g_i + 4 \cdot g_m + g_s)}{6} \cdot \lambda$$

onde:

$v$  = volume da tora ( $m^3$ );

$g_m$  = área transversal na metade da tora ( $m^2$ );

$g_i$  e  $g_s$  = área transversal nos extremos inferior e superior da tora, respectivamente ( $m^2$ ); e

$\lambda$  = comprimento da tora (m).

De acordo com HUSCH et al. (1982) a fórmula de Newton é exata para todas as formas de fuste. Por outro lado, a fórmula de Huber e a fórmula de Smalian podem apresentar resultados diferentes dependendo da configuração de cada fuste ou parte do fuste.

MACHADO e NADOLNY (1991), comparando os métodos tradicionais de cubagem, com respectivos volumes determinados através de xilômetro, concluíram que a fórmula de Huber apresentou melhor desempenho na determinação volumétrica da espécie *Pinus elliottii*.

## II.5 FATOR DE FORMA

O fator de forma é uma razão entre volumes, sendo utilizado para corrigir o volume do cilindro para o volume da árvore. O fator de forma é influenciado pela espécie, sítio, espaçamento, desbaste, idade, etc. Exatamente, por este fato deve-se ter muito cuidado, ao se utilizar um único número médio, para representar, por exemplo, todas as espécies do gênero *Eucalyptus*, ou mesmo uma única espécie em diferentes idades, sítio e sujeita a diferentes espaçamentos.

O fator de forma varia, de acordo com o ponto onde é calculada a área seccional ( $g$ ). Para estar de acordo com os sólidos geométricos a área seccional deveria ser tomada na base da árvore, no entanto, quase sempre é

medida ou quantificada ao nível do DAP, devido à não praticidade de se fazer esta medida na base da árvore, assim como pela irregularidade da seção, causada pelo sistema radicular. Um outro fato é a necessária compatibilidade, nas posições onde se mede o diâmetro referencial (DAP) das árvores, que sofrerão o processo de cubagem e das demais árvores existentes nas parcelas. Se nestas últimas, mede-se o DAP e a altura total, obtém-se o volume cilíndrico ou do cilindro, como:

$$\hat{v} = \frac{\pi \cdot DAP^2}{4} \cdot h$$

Assim, para estimar o volume desta árvore é necessário multiplicá-lo por um fator de forma, obtido a partir das árvores cubadas rigorosamente, tendo como base do cilindro, o DAP.

Os mais importantes fatores de forma são:

#### II.5.1 Fator de forma absoluto ou comum ( $f_{1,3}$ ):

É obtido pela razão entre volume real e o volume cilíndrico, sendo que o volume do cilindro é obtido com base no DAP com casca e da altura total da árvore.

$$f_{1,3} = \frac{v_{real}}{v_{cilindro}}$$

#### II.5.2 Fator de forma natural de Hohenadl ( $f_{0,1}$ ):

É obtido, pela razão entre o volume real e o volume cilíndrico, sendo que, o volume do cilindro, é obtido com base na altura total e no diâmetro com casca, tomado a 10% da altura da árvore ( $d_{0,1}$ ).

$$f_{0,1} = \frac{v_{real}}{v_{cilindro}}$$

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 como referência) deve ser multiplicado para obtenção do volume da árvore (LOESTCH et al. 1973, citado por MOURA 1994).

MOURA (1994), determinou o fator de forma absoluto ou artificial, individual e por classe de diâmetro para 7 espécies florestais tropicais do estado do Pará:

$$f_{1,3} = \frac{v_{real}}{g \cdot h}$$

onde:

$f_{1,3}$  = fator de forma absoluto ou artificial de cada espécie;

$v_r$  = volume do fuste da árvore segundo método de Smalian;

$g$  = área transversal, tendo como base o DAP; e

$h$  = altura da árvore em metros.

## II.6 QUOCIENTES DE FORMA (K)

Assim como o fator de forma, o quociente de forma também expressa a forma da árvore. O quociente de forma (K), é uma razão entre diâmetros, sendo utilizado para estimar volumes de árvores. É uma medida menos precisa que o fator de forma, porém mais fácil de ser obtida, já que não é necessário fazer o abate das árvores.

Assim, a estimativa do volume, pode ser obtida por:

$$\hat{v} = \frac{\pi \cdot DAP^2}{4} \cdot h \cdot K$$

onde:

$\hat{v}$  = volume estimado;

DAP = diâmetro à altura do peito (cm);

$h$  = altura da árvore (m);

$K$  = quociente de forma.

Existe uma série de quocientes de forma que podem ser utilizados, destacando-se os de:

### II.6.1 Schiffel

Este quociente de forma foi desenvolvido em 1899 e consiste na razão entre o diâmetro tomado na metade da altura e o DAP. Pode ser obtido conforme a razão apresentada a seguir:

$$K = \frac{d_{(0,5 \cdot h)}}{DAP}$$

onde:

$d_{(0,5 h)}$  = diâmetro tomado na metade da altura total da árvore;

DAP = diâmetro tomado a 1,30 m.

Este quociente acarreta certo inconveniente para árvores de pequenas alturas, pois árvores com 2,6 m apresentam  $K = 1$  e árvores com alturas inferiores, apresentam  $K > 1$ .

### II.6.2 Johnson (1910)

$$K = \frac{d_{[0,5 \cdot (h+1,3)]}}{DAP}$$

Este quociente de forma é uma adaptação do quociente de Schiffel, no qual a razão entre os diâmetros é obtida pelo diâmetro na metade da altura da árvore mais 1,30 m e o DAP, conforme a razão apresentada a seguir:

Considerando a altura da árvore ( $h$ ) igual a 20 m, tem-se:

$$h + 1,3 = 21,3 / 2 = 10,6 \text{ m}$$

onde:

$d_{10,6}$  = diâmetro tomado na metade da altura da árvore após a esta ter sido acrescido 1,30;

DAP = diâmetro tomado a 1,30 m.

Este quociente foi desenvolvido em 1911, para eliminar o inconveniente, apresentado pelo quociente de Schiffel, descrito anteriormente.

### II.6.3 Girard

Este quociente de forma, apresentado em 1933, é obtido pela razão entre o diâmetro tomado a 5,2 m e o diâmetro a altura do peito.

$$K = \frac{d_{5,2}}{DAP}$$

Os três quocientes de forma apresentados anteriormente são denominados de quocientes de forma artificiais. Os quocientes de forma denominados de verdadeiros ou naturais foram apresentados por Hohenadl em 1936 e consistiram basicamente de: divisão da altura total da árvore em 5 seções iguais, estabelecendo uma relação entre os diâmetros tomados a 10, 30, 50, 70 e 90% da altura, com diâmetro de Hohenadl, tomado a 10% da altura. Estes quocientes são expressos pela relação:

$$K_{\frac{0,i}{0,1.h}} = \frac{d_{0,i}}{d_{0,1.h}}$$

A maior aplicação destes quocientes tem sido como terceira variável em tabelas de volumes formais. Estas relações apresentam, com grande

vantagem, possibilidade de serem comparadas com as de outras árvores, mesmo entre árvores com dimensões diferentes.

## II.7 EQUAÇÕES DE VOLUME

Segundo LOESTCH (1973), as equações de volume derivadas pelo método dos mínimos quadrados por meio de análise de regressão são as mais utilizadas, face ao aprimoramento e acesso aos computadores.

Antes de se construir uma tabela de volume para uma espécie específica ou grupos de espécies, LOESTCH (1973), recomendou a verificação da existência de tabelas ou equações de volume na região em questão e se as mesmas são suficientemente precisas. Frequentemente, as equações ou tabelas de volume derivadas de dados coletados em uma pequena área são aplicadas para uma região muito além da área original e na maioria dos casos isto produz desvios consideráveis.

Complementando LOESTCH (1973), PAULA NETO (1977), afirmou que o primeiro passo a ser observado na construção de uma tabela de volume é selecionar o modelo de regressão que melhor se ajuste a um determinado grupo de árvores, tendo este assunto sido discutido por outros autores, dentre os quais SPURR (1952).

O volume de árvores tem sido estimado com certa facilidade e acuracidade empregando-se equações de volume, ajustadas quase sempre a partir de medições do diâmetro à altura do peito e da altura total.

VEIGA (1972a, 1972b, 1973) desenvolveu diversos estudos de estimativas volumétricas através da utilização de equações de volume a partir de modelos aritméticos e logarítmicos. Nestes trabalhos, o autor comparou diversos modelos do ponto de vista matemático e também em relação à expressão da forma como terceira variável independente, concluindo que, estatisticamente, os modelos formais são mais precisos em relação aos não

formais. Tendo as equações logarítmicas maior precisão para os volumes com e sem casca e as aritméticas maior precisão para o volume comercial.

O mérito de uma equação volumétrica aumenta consideravelmente se ela possuir poucas variáveis que sejam fáceis de mensurar com exatidão, que sejam altamente correlacionadas com o volume, tenham baixa correlação entre si e o volume estimado por árvores individuais se aproxime do volume calculado pela técnica padrão de cubagem da árvore abatida (FREESE, 1967 e GEVORKIANTZ & OLSEN, 1965).

## II.8 MODELOS EMPREGADOS PARA O AJUSTE DE EQUAÇÕES DE VOLUME

Com relação ao número de variáveis independentes a serem utilizadas, PAULA NETO (1975), estudando 127 modelos volumétricos lineares, obtidos de sete combinações das variáveis diâmetro e altura, pela utilização do método de seleção de equações denominado "Método de Todas as Possibilidades", concluiu que a utilização de mais de quatro variáveis independentes no modelo volumétrico não provoca aumento significativo no coeficiente de determinação. Esse autor recomendou que não se deve desprezar a variável independente mais correlacionada com o volume, no caso  $d^2h$ .

SILVA (1974) afirmou que quando comparadas às equações da variável combinada e de Stoaate, à primeira apresenta os melhores resultados.

SPURR (1952) comparando equações utilizando quatro séries de dados, concluiu que a equação da variável combinada apresentou os melhores resultados. Concluiu ainda que para elaboração de tabelas de volume baseadas em amostra pequenas (50 a 100 árvores), a equação da variável combinada fornece as estimativas mais precisas. No entanto, MOSER & BEERS (1969), afirmaram que a vantagem básica da aplicação de fórmulas volumétricas logarítmicas é que a heterogeneidade de variância dos volumes é grandemente minimizada.

SIQUEIRA (1977), testou a equação da variável combinada com três ponderações para *Araucaria angustifolia*, nos três Estados da região sul do Brasil, concluiu que a melhor equação para as diversas regiões foi a da variável combinada ponderada com peso  $1/dh$ , em seguida pela equação da variável combinada em sua forma original.

JORGE (1982), ajustando e comparando oito modelos de estimativa volumétrica para a Floresta Tropical Pluvial Norte do Espírito Santo, selecionou as equações de Schumacher & Hall e Prodan para prognosticar os volumes comerciais dos troncos com casca e, na comparação entre as duas, concluiu que para a região em questão, tanto a equação de Schumacher & Hall quanto a de Prodan podem ser usadas para estimar os volumes comerciais com casca.

SILVA et al. (1993), em estudo realizado no litoral norte de Santa Catarina, comparando um modelo de regressão simples, no qual foi utilizado o volume da primeira tora como variável independente, com os modelos de Schumacher & Hall e o da variável combinada (Spurr), para a estimativa volumétrica de *Pinus elliottii*, concluíram que não existe diferença significativa entre os modelos testados, portanto qualquer um deles pode ser usado na construção de tabelas volumétricas com e sem casca.

## II.9 FUNÇÕES DE AFILAMENTO

Segundo AHRENS & HOLBERT (1981), citado por FISCHER (1997), uma função de afilamento ou "taper" é uma descrição matemática do perfil longitudinal de um tronco, o seu volume pode ser obtido por integração daquela função e assim, em termos geométricos, o tronco é tratado como um sólido de revolução. Uma vez definido um modelo matemático para forma, pode-se determinar o volume de madeira entre quaisquer pontos ao longo do tronco. Desta maneira, a natureza do algoritmo viabiliza a obtenção das estimativas de volume necessárias à multiplicidade de usos da madeira. Numerosos autores estrangeiros têm publicado pesquisa a respeito há mais de meio século, destacando-se os pesquisadores que contribuíram de forma consistente:

CLAUGHTON (1920), BEHRE (1923), MATTE (1949), GRAY (1959), WUTT (1961), LARSON (1963), FRIES (1965), GROSENBAUGH (1966), REINCH (1967), BRUCH (1968), KOZAK et.al. (1969), PETERS (1971), BENNETT (1972), DEMAERSCHALK (1973), MUNRO (1974), MAX & BURKHART (1976), LIU (1978), BURGER (1980), dentre outros.

Os modelos polinomiais são de uso freqüente no meio florestal, caracterizando-se por ajuste de regressão entre a relação de diâmetros ( $d_i/DAP$ ) ou  $(d_i/DAP)^2$  e de alturas  $(h_i/h)^n$  ou  $[(h-h_i)/h]^n$ . Dentre eles destacam-se o polinômio do quinto grau e o modelo espelhado na função parabólica de KOZAK, MUNRO e SMITH (1969).

Apesar do largo emprego, os modelos polinomiais não explicam, de maneira acurada, as deformações existentes na base do tronco das árvores. Conforme mostra ROSOT (1989), o pesquisador Hradetzky realizou um minucioso estudo de potências que seriam mais apropriadas na descrição da forma da árvore, sugerindo o processo "stepwise", para expoentes variados de 0,005 a 25.

Em seu estudo, ROSOT (1989) aplicou o princípio exposto por Hradetzky construindo modelos por classe de diâmetro, pelo processo "stepwise". Foi constatado que os modelos construídos foram sempre mais precisos quando comparados ao polinômio de quinto grau. Estes modelos tiveram uma variação entre as classes diamétricas, sugerindo ser mais apropriado o seu ajuste por classe de diâmetro. Em todos os modelos construídos ocorreu a presença da potência 0,005, na posição do segundo parâmetro estimado.

PEMMAN (1988), que também utilizou o modelo polinomial, somente conseguiu explicar as variações na base quando foi adotada uma potência elevada no modelo  $(h_i/h)^{90}$ . Para representar bem o perfil do tronco através dos polinômios, é necessário que haja uma combinação apropriada de potências e que estas sejam submetidas ao processo de seleção da regressão "passo a passo" (stepwise).

Segundo MUNRO e DEMAERSCHALK (1974) há várias maneiras de obter-se um sistema compatível de forma e volume, porém dois são mais importantes, sendo o primeiro denominado de sistema baseado na forma e o outro, baseado no volume. No sistema com base na forma, o primeiro passo é ajustar uma função de afilamento e, por integração desta, obter a estimativa do volume. Assim, este sistema é constituído basicamente por uma função de afilamento. Para o sistema baseado no volume, é necessário o ajuste da equação de volume e posterior substituição de seus coeficientes na função de afilamento compatível com a equação volumétrica. A premissa deste procedimento é de que a estimativa do volume total pela integração da função de afilamento deve ser igual à estimativa proporcionada pela equação de volume.

Os mesmos autores discorrem ainda que um sistema eficiente não pode ser tendencioso nas diferentes classes de tamanho de árvore para a estimativa de diâmetros a uma dada altura, altura a um determinado diâmetro, volume de uma determinada seção e volume total da árvore, devendo ser verificada a sua acuracidade nestas diversas situações.

Dentro do primeiro sistema, a acuracidade das estimativas depende unicamente da precisão do modelo de forma. Muitas equações, principalmente aquelas sem pontos de inflexão, tende a subestimar na base e superestimar no ápice da árvore, devendo ser consideradas com um ponto de se estimar o volume das seções na árvore. Para as funções de afilamento sigmóides com um ponto de inflexão, não há o problema de tendenciosidade. O padrão de tendência é inteiramente diferente, sendo apontados pequenos erros na base e grandes erros na parte superior. Estes mesmos autores ressaltam que uma equação de forma pode ser boa para estimar a forma, porém não necessariamente para estimar volumes. De modo geral estes sistemas oferecem estimativas eficientes da forma e do volume.

O sistema baseado no volume, se derivado de uma equação de volume eficiente, proporcionará estimativas confiáveis para o volume total. Para

funções de forma sem o ponto de inflexão, tem-se erro sistemático para a estimativa dos diâmetros, como mencionado anteriormente, mas de forma geral, os erros são menores do que os propiciados pelo sistema baseado na função de forma. No caso da equação de volume ser tendenciosa, a predição da forma será provavelmente irreal. A tendenciosidade de erros em diâmetros é idêntica para todas as classes de tamanho, sendo menor para umas e maior em outra. A estimativa de altura pela transformação da função de afilamento deve ser abordada com extremo cuidado, uma vez que pequenos erros em diâmetro podem ocasionar grandes distorções nas estimativas de altura.

Apesar da concepção de vários destes modelos, pouco tem sido feito no sentido de avaliar a performance deles no Brasil. Trabalhos como o de CAO, BURKHART e MAX (1980) testam a eficiência de doze modelos, inclusive três deles compatíveis para dois povoamentos diferentes, não evidenciando como se comportam os modelos dentro das classes de diâmetro ou de sítio.

Portanto, existem lacunas de informações sobre como estes modelos se comportariam em relação ao tamanho dos indivíduos e condições de crescimento, pois as condições em que foram testados, em sua maioria, se diferencia da realidade do Brasil. Trabalhos como o de McTAGUE, BATISTA e STEINER (1989), CAMPOS e RIBEIRO (1982), FIGUEIREDO FILHO et al. (1993) são significativos para um melhor posicionamento das vantagens e limitações destes modelos, no que tange a estimativas volumétricas e modelagem do perfil da árvore.

## II.10 HISTÓRICO DAS FUNÇÕES DE AFILAMENTO

Nos levantamentos florestais, métodos empíricos têm sido utilizados para representar a forma, tais como fatores de forma, quocientes de forma, funções de afilamento, funções splines e até mesmo análise de componentes principais.

Conforme SPURR (1952) citado por SCOLFORO (1993), no século XIX, o volume de árvores individuais era obtido através do fator de forma e eventualmente dos quocientes de forma. No entanto, muitos dos profissionais que trabalham em mensuração florestal, têm procurado descobrir uma função com uma ou duas variáveis, envolvendo poucos parâmetros, que possa ser usada para representar o perfil inteiro da árvore.

De acordo com AHRENS & HOLBERT (1981), uma função de afilamento é uma descrição matemática do perfil longitudinal de um tronco. Assumindo-se que a seção transversal seja circular em qualquer ponto ao longo do tronco, seu volume pode ser obtido por integração daquela função. Assim em termos geométricos, o tronco é tratado como um sólido de revolução. Uma vez definido um modelo matemático para o afilamento, pode-se determinar o volume de madeira entre quaisquer pontos ao longo do tronco. Desta maneira a natureza do algoritmo viabiliza a obtenção das estimativas de volume necessárias à multiplicidade de usos da madeira.

De acordo com PRODAN (1965), a primeira tentativa para expressar a forma média do tronco através de uma equação matemática, ocorreu em 1903 com HÖJER, que utilizou a seguinte expressão:

$$\frac{d_i}{d_b} = C \log \left[ \frac{(c + \lambda)}{C} \right]$$

onde:

C e c = constantes;

$d_i$  = diâmetro da árvore a  $\lambda$  metros do topo; e

$d_b$  = diâmetro da base.

A partir de então uma série de autores como JOHNSON em 1911, WRIGHT em 1923, HEIJBEL em 1928, BEHRE em 1923 e 1927 e MATTE em 1949, dentre outros estudaram de maneira pormenorizada a possibilidade da forma da árvore ser representada por expressões matemáticas.

A partir da década de 60, houve um substancial desenvolvimento no estudo da forma da árvore. Apresentam-se, a seguir, algumas das expressões matemáticas desenvolvidas a partir de então, como:

a) Modelo de Prodan, em 1965:

$$\frac{d_i}{DAP} = \frac{h_i^2}{b_0} + b_1 \left( \frac{h_i}{h} \right) + b_2 \left( \frac{h_i}{h} \right)^2$$

onde:

$d_i$  = diâmetro na altura  $h_i$  do tronco

$h$  = altura total

DAP = diâmetro à altura do peito

$b_i$  = parâmetros a serem estimados

b) Modelo de Kozak, Munro e Smith, em 1969:

$$\frac{d_i^2}{DAP^2} = b_0 + b_1 \left( \frac{h_i}{h} \right) + b_2 \left( \frac{h_i}{h} \right)^2$$

onde:

$d_i$ ,  $h_i$ ,  $h$ , DAP, e  $b_i$ , conforme definidos anteriormente.

Esta função parabólica representa em muitas situações o perfil de várias espécies, com erros inferiores a 2,77%.

c) Modelo de Prodan em 1971:

$$\frac{d_i}{DAP} = b_0 + b_1 \left( \frac{h_i}{h} \right) + b_2 \left( \frac{h_i}{h} \right)^2 + b_3 \left( \frac{h_i}{h} \right)^3 + b_4 \left( \frac{h_i}{h} \right)^4 + b_5 \left( \frac{h_i}{h} \right)^5$$

onde:

$d_i$ ,  $h_i$ ,  $h$ ,  $DAP$ , e  $b_i$ , conforme definidos anteriormente.

d) Modelo de Clutter:

CLUTTER (1980) utilizou uma equação de volume, pressupondo que qualquer equação de volume comercial de topo variável, implicitamente define, uma associada função de afilamento. Este caminho é inverso ao tradicional trilhado para obter as funções de afilamento.

1) Equação de volume:

$$v_t = b_1 \cdot DAP^{b_2} \cdot h^{b_3}$$

2) Equações de volume comercial:

$$v_c = v_t (1 - b_1' d_c^{b_2'} DAP^{b_3'})$$

onde:

$v_c$  = volume total com casca ( $m^3$ );

$DAP$  = diâmetro a altura do peito (cm);

$h$  = altura total (m)

$d_c$  = diâmetro comercial com casca (cm);

$v_t$  = volume até um diâmetro mínimo comercial ( $m^3$ );

$b_1$  = parâmetros a serem estimados

$b_1'$  = parâmetros a serem estimados

Assim a árvore com casca têm o afilamento definido pela equação:

$$d_c = \left\{ h \cdot \left( \frac{1}{b_1 \cdot DAP^{b_2} \cdot h^{b_3}} \right) \cdot \left( \frac{1}{b_1'} \right) \cdot DAP^{b_3'} \cdot \left[ \frac{(b_2' - 2)}{b_2'} \right] \cdot (h - hc) \right\}^{\left[ \frac{1}{(b_2' - 2)} \right]}$$

e a altura:

$$h_c = h \cdot d_c^{b_2' - 2} \cdot K^{-1} \cdot b_1 \cdot DAP^{b_2} \cdot h^{b_3} \cdot b_1' \cdot DAP^{b_3'} \cdot \left( \frac{b_2'}{b_2' - 2} \right)$$

onde:

$b_1, b_1', v, v_c, DAP, d_c$ : já definidos anteriormente;

$h_c$  = altura comercial (m);

$K = \pi/40000$ .

Além destes, outros modelos importantes foram definidos por DEMAERSCHALK (1972), MAX e BURKHART (1976), entre muitos outros.

MOURA (1994), estudando a forma de espécies tropicais da Amazônia, testou 18 modelos de equações de volume encontrados em literatura e 20 modelos de equações de afilamento. Os melhores modelos foram selecionados através das estatísticas: coeficiente de determinação ( $R^2$ ), o erro padrão da estimativa ( $S_{yx}$ ), teste "F" de significância e a análise gráfica dos resíduos. Sendo selecionado o seguinte modelo volumétrico:

$$v = b_0 + b_1 \cdot DAP + b_2 \cdot DAP^2 + b_3 \cdot DAP \cdot h + b_4 \cdot DAP^2 \cdot h + b_5 \cdot h$$

onde:

$v$  = volume individual ( $m^3$ );

$DAP$  = diâmetro a altura do peito (cm), ou a 30 cm acima das sapopemas; e

$h$  = altura do fuste (m).

e o modelo de função de afilamento selecionado foi:

$$d_i = b_0 \cdot DAP^{b_1} \cdot \left( \frac{1}{h_i + 1,3} \right)^{b_2} \cdot h^{b_3}$$

onde:

$d_i$  = diâmetro à altura  $i$  qualquer (cm);

DAP = diâmetro à altura do peito (cm);

$h_i$  = altura  $i$  de um referido diâmetro (m); e

$h$  = altura total da árvore (m).

SCHNEIDER et al. (1996) testaram 6 equações de afilamento de tronco para a determinação dos sortimentos para um conjunto de árvores de *Eucalyptus grandis*:

$$1. \frac{d_i^2}{DAP^2} = b_0 + \frac{b_1}{(h-1,3)} + b_2 \left[ \frac{h_i^2}{(h-1,3)^2} \right]$$

$$2. \frac{d_i}{DAP} = b_0 + b_1 \frac{h_i}{(h-1,3)}$$

$$3. \frac{d_i}{DAP} = b_0 + b_1 \left( \frac{h_i}{h} \right) + b_2 \left( \frac{h_i}{h} \right)^2 + b_3 \left( \frac{h_i}{h} \right)^3$$

$$4. \frac{d_i}{DAP} = b_0 + b_1 \left( \frac{h_i}{h} \right) + b_2 \left( \frac{h_i}{h} \right)^2 + b_3 \left( \frac{h_i}{h} \right)^3 + b_4 \left( \frac{h_i}{h} \right)^4 + b_5 \left( \frac{h_i}{h} \right)^5$$

$$5. \ln \left( \frac{d_i}{DAP} \right) = b_0 + b_1 \ln \left[ \frac{(h - h_i)}{h} \right]$$

$$6. \ln \left( \frac{d_i}{DAP} \right) = b_0 + b_1 \ln \left[ \frac{(h - h_i)}{h} \right] + b_2 \ln \left[ \frac{(h - h_i)}{h} \right]^2$$

sendo:

$d_i$  = diâmetro a uma posição “ $i$ ” no fuste (cm);

DAP = diâmetro à altura do peito (cm);

$h_i$  = altura até uma seção “ $i$ ” n fuste (m); e

$h$  = altura total (m).

A equação que apresentou maior coeficiente de determinação (0,9857) e o menor erro padrão da estimativa ( $S_{yx} = 0,0320$  ou  $S_{yx}\% = 5,14$ ) foi a equação expressa por um polinômio de 5º grau (equação 4), sendo este

também o modelo que permitiu estimar o volume dos sortimentos com um menor valor residual, determinado pela diferença absoluta entre o volume real e o volume estimado pela função. Concluíram ainda que o modelo pode ser utilizado com segurança em inventários florestais da espécie, tanto para estimar volume total como para os volumes de partes do fuste (sortimentos), pois os resíduos do volume real com o estimado pela equação polinomial do 5º grau foram pequenos.

Trabalhando com *Pinus elliottii* SCOLFORO et al. (1998), visando avaliar a acuracidade das estimativas diamétricas ao longo do fuste das razões de volume, dos modelos polinomiais do 5º grau e de potências fracionárias e da função spline cúbica em diferentes classes diamétricas, concluíram que as funções splines cúbicas e a equação de afilamento de Clutter não são recomendadas para estimar o diâmetro ao longo do fuste de *Pinus elliottii* na região de estudo, já que estas propiciam estimativas pouco acuradas; a equação de afilamento de Amateis e Burkhart e as equações polinomiais apresentaram estimativas acuradas do diâmetro ao longo do fuste, a partir da primeira tora padrão (2,2 a 2,4 m); se for desejada estimativa mais uniforme do diâmetro ao longo do fuste, associada a acuracidade das estimativas, deve-se recomendar o uso da equação Amateis e Burkhart, seguida, do polinômio de quinto grau e o de potência fracionária; se for desejada a equação que propicia maior número de casos, com estimativa acurada do diâmetro, mas sem uniformidade nestas ao longo do perfil do fuste, então o polinômio de potência fracionária deve ser o recomendado, seguido pela equação de afilamento de Amateis e Burkhart e pelo polinômio do quinto grau.

FIGUEIREDO FILHO et al. (1993), verificaram que os sistemas volume-forma (derivação das equações de volume transformando-as em equações de afilamento) eliminam a incompatibilidade das estimativas dos volumes por unidade de área obtida em inventários florestais em que freqüentemente empregam-se duas técnicas de determinação volumétricas, a saber: equação de volume e função de afilamento.

## II.11 ANÁLISES ESTATÍSTICAS

Segundo STELL & TORRIE (1960), citados por vários autores, tais como, ROSOT (1980), SILVA (1982), KOEHLER (1999), o teste de Bartlett é utilizado quando existem vários tratamentos em um experimento; o teste do  $\chi^2$  de Bartlett foi desenvolvido para testar a homogeneidade de variâncias. É muito utilizado em análise de regressão e amostragem. Parte-se da hipótese de que as variâncias são homogêneas ( $H_0$ ), e se o resultado do teste confirmar esta hipótese procede-se à análise de variância e o teste de comparação de médias normalmente.

O teste de  $\chi^2$  de Bartlett é expresso por:

$$\chi^2 = 2,3026 \cdot \left[ \left( \log \bar{S}^2 \cdot \sum GL \right) - \sum \left( GL - \log S_i^2 \right) \right]$$

onde:

2,3026 = constante;

$S^2$  = média das variâncias;

GL = graus de liberdade de cada tratamento; e

$S_i^2$  = Variância de cada tratamento.

O resultado obtido deve ser corrigido, dividindo-se por um fator de correção que é dado por:

$$C = 1 + \frac{1}{3(n-1)} \cdot \left( \frac{1}{GL} - \frac{1}{GL} \right)$$

Na sua forma natural da aplicação de fórmula, usa-se o logaritmo natural em vez de comum. Como o logaritmo natural de qualquer número é aproximadamente 2,3026 vezes o logaritmo decimal, há necessidade de se colocar esta constante na equação. O valor de qui - quadrado deve ser comparado com o valor tabelado a um determinado nível de probabilidade e

graus de liberdade. Para haver homogeneidade entre as médias o valor calculado deve ser menor que o valor tabelado.

Após a realização do teste de Bartlett, submete-se os dados à análise de variância para se identificar a existência ou inexistência de diferenças significativas entre os fatores de forma para os diferentes tratamentos. Verificando-se diferenças significativas entre tratamentos, procede-se à aplicação do teste de Tukey para detectar quais tratamentos realmente possuem médias diferentes.

## II.12 SORTIMENTO

O aproveitamento de uma árvore deve ser feito de maneira que resulte maior retorno financeiro, pois os diversos usos finais da madeira alcançam preços diferentes de mercado.

O conhecimento desta proporcionalidade torna-se importante para fins de planejamento, em um dado momento ou durante o ciclo da espécie. O conhecimento desta proporcionalidade denomina-se sortimento (agrupamento, classificação, cluster).

O sortimento é o "seccionamento" da árvore pelas dimensões diâmetro e comprimento. Quanto maior o diâmetro, quanto maior os comprimentos, maiores as dimensões das peças resultantes, conseqüentemente, maior preço. Geralmente conduz a maior quantidade de resíduos (menor valor), portanto o objetivo é um equilíbrio resultando assim maior retorno financeiro.

As tabelas de sortimento, independente do seu tipo e da forma das árvores, desde muito têm constituído um problema da ciência florestal. A prova disto é que têm sido desenvolvidas intensivas pesquisas bibliográficas e estatísticas com o principal objetivo de alcançar a otimização da classificação e valorização dos produtos florestais, segundo sua qualidade, dimensões e possibilidades de utilização (SILVA, 1982).

## CAPÍTULO 1

### EVOLUÇÃO DO FATOR DE FORMA EM DIFERENTES IDADES EM PLANTAÇÕES DE *Eucalyptus grandis* HILL EX - MAIDEN

#### RESUMO

O objetivo da presente pesquisa foi comparar fatores de forma absolutos ( $f_{1,3}$ ) e naturais ( $f_{0,1}$ ), com e sem casca, em diferentes idades. A base de dados utilizada para desenvolver a presente pesquisa foi obtida em plantios de *Eucalyptus grandis* Hill ex - Maiden, pertencentes à empresa Duraflora S.A., situada no município de Agudos, Estado de São Paulo, distribuídos em 6 tratamentos, com idades variando de 3 a 9 anos. Foram cubadas 589 árvores e seus fatores de forma ( $f_{1,3}$  e  $f_{0,1}$ ) com e sem casca determinados. As análises estatísticas utilizadas para as comparações foram primeiramente o teste de Bartlett para verificar a homogeneidade de variâncias, seguida da análise de variância propriamente dita e do teste de Tukey para comparação de médias. As análises revelaram a existência de diferença de fatores de forma ( $f_{1,3}$  e  $f_{0,1}$ ) entre tratamentos, tanto com casca como sem casca. Verificaram-se também diferenças significativas entre  $f_{1,3}$  e  $f_{0,1}$ , ao nível de tratamento.

Palavras Chave: *Eucalyptus grandis*, Forma do tronco, Volumetria de árvores.

## ABSTRACT

The objective of the present research was to compare absolute ( $f_{1,3}$ ) and natural ( $f_{0,1}$ ) form factors with and without bark for different plantations ages. The base of data used to develop the present research was obtained from plantations of *Eucalyptus grandis* Hill ex - Maiden belonging to the company Duraflora S.A., placed in the municipal district of Agudos, State of São Paulo, distributed in 6 treatments, with ages ranging from 3 to 9 years. They were cubed 589 trees their and form factors ( $f_{1,3}$  and  $f_{0,1}$ ), with and without bark determined. The statistical analysis used for the comparisons were the test of Bartlett to verify the variance homogeneity, followed by analysis of the variance and the test of Tukey for comparison among means. The analysis revealed the existence of differences of form factors ( $f_{1,3}$  and  $f_{0,1}$ ) among ages, as with bark as without bark. There significant differences between  $f_{1,3}$  and  $f_{0,1}$ , at ages level were also detected.

Key words: *Eucalyptus grandis*, Stem form, Volume determination.

## 1.1 INTRODUÇÃO

Com a valorização cada vez mais acentuada da matéria prima de origem florestal, faz-se necessário o melhor conhecimento de fatores e condições que afetam a produção e a sua influencia no destino final. A estimativa de volumes individuais tem sido o método mais utilizado, nos inventários florestais, para obtenção dos volumes por unidade de área e por consequência, do estoque volumétrico total existente em determinada região. A escolha do método a ser utilizado para estas estimativas, bem como a sua aplicação de forma correta visa a obtenção de volumes sem tendenciosidades, evitando-se assim as sub ou superestimativas, indesejáveis em trabalhos desta natureza.

A utilização do fator de forma é um dos métodos amplamente empregados para determinação do volume de árvores individuais, sendo o método mais simples e de fácil aplicação.

Sabe-se que a forma varia ao longo da idade, quer como um fenômeno evolutivo, quer como resultado dos regimes de manejo aplicados a uma floresta durante sua existência. Por este motivo é de suma importância o conhecimento dos métodos de manejo, efeito da idade, tratos silviculturais e suas implicações sobre a forma do tronco das árvores.

A existência de 6 tratamentos diferentes, nos quais se varia a idade em plantações de *Eucalyptus grandis* Hill ex - Maiden da companhia Duraflora, localizados no município de Agudos, em São Paulo, possibilitou a cubagem de 589 árvores, fornecendo o conjunto de dados apropriados para cálculo dos fatores de forma, tanto com casca como sem casca para esta espécie.

Desta forma o objetivo desta pesquisa foi testar o efeito da idade sobre a forma da árvore, utilizando-se para tal os fatores de forma natural e absoluto, determinar se os fatores de forma (absoluto e natural) médios são estatisticamente iguais entre si, para os diferentes tratamentos (idades) com e sem casca.

## 1.2 MATERIAL E MÉTODOS

### 1.2.1 CARACTERIZAÇÃO E LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

Os dados para desenvolver este estudo, foram obtidos em plantios de *Eucalyptus grandis* Hill ex - Maiden, pertencentes à empresa Duraflora S.A., situada na região sudoeste do estado de São Paulo, no município de Agudos.

Conforme GOLFARI, CASER e MOURA (1978) esta região apresenta, como características básicas, a periodicidade de chuvas, invernos secos com deficiência hídrica, precipitação anual entre 1100 e 1400 mm, as geadas ocorrem com pouca frequência, à temperatura média está entre 16 e 19°C, o tipo de clima é submontano ou subtropical moderado úmido, o tipo de vegetação é floresta ombrófila pluvial e campos submontanos, e a altitude é de aproximadamente 900 metros.

### 1.2.2 COLETA DE DADOS

Foram tomados diâmetros, com e sem casca, ao longo dos fustes das árvores amostra derrubadas, com intervalos de 1,00 m; 1,25 m e 2,5 m conforme o aumento do tamanho das árvores, até um diâmetro mínimo de 3,0 cm com casca. Simultaneamente foram também medidos os diâmetros à altura do peito (DAP), com casca, em centímetros, bem como a altura total (h) em metros de 589 árvores, distribuídas eqüitativamente por 6 tratamentos (Idades) e dentro destes, por classe de diâmetro. A Tabela 1.1 mostra as denominações e características dos tratamentos implementados nas plantações de *Eucalyptus grandis* da empresa Duraflora S.A.

TABELA 1.1 - ESPECIFICAÇÃO DOS TRATAMENTOS

Tratamento	Idade (anos)	Número de Árvores Cubadas
A	3,0	56
B	4,5	95
C	6,1	100
D	6,5	134
E	7,5	99
F	9,0	105

### 1.2.3 DETERMINAÇÃO DO VOLUME INDIVIDUAL

O cálculo dos volumes individuais das 589 árvores foi realizado utilizando-se a fórmula de Smalian:

$$v = \left( \frac{g_1 + g_2}{2} \right) \lambda$$

onde:

$v$  = volume da tora;

$g_1$  e  $g_2$  = área transversal nos extremos inferior e superior da tora, respectivamente; e

$\lambda$  = comprimento da tora.

Tendo sido a árvore dividida em  $n$  seções (toras), o volume total ou o volume da árvore ( $v$ ) foi obtido como segue:

$$v_1 = \left( \frac{g_1 + g_2}{2} \right) \lambda_1; v_2 = \left( \frac{g_2 + g_3}{2} \right) \lambda_2; v_3 = \left( \frac{g_3 + g_4}{2} \right) \lambda_3; \dots; v_n = \left( \frac{g_{n-1} + g_n}{2} \right) \lambda_n$$

Quando se considera o volume inteiro do tronco é comum expressar o volume da última porção ou volume da ponta ( $v_p$ ) como sendo um cone:

$$v_p = \frac{g_n \cdot \lambda_p}{3}$$

Assim sendo o volume total da árvore ( $v$ ) é:

$$V = v_1 + v_2 + v_3 + \dots + v_n + v_p$$

Para seções de iguais comprimentos ( $\lambda$ ) pode-se generalizar essa fórmula da seguinte forma:

$$v = \left[ \left( \frac{g_1 + g_2}{2} \right) \lambda \right] + \left[ \left( \frac{g_2 + g_3}{2} \right) \lambda \right] + \dots + \left[ \left( \frac{g_{n-1} + g_n}{2} \right) \lambda \right] + v_p \text{ ou,}$$

$$v = \lambda \cdot \left[ \left( \frac{g_1 + g_n}{2} \right) + g_2 + g_3 + \dots + g_{n-1} \right] + v_p$$

#### 1.2.4 FATORES DE FORMA

Foram obtidos os dois fatores de forma mais usuais para o desenvolvimento deste estudo.

a) Fator de forma absoluto ou comum ( $f_{1,3}$ ):

$$f_{1,3} = \frac{V_{real}}{V_{cilindro}}$$

onde:

$f_{1,3}$  = fator de forma absoluto ou comum;

$V_{real}$  = volume do fuste da árvore segundo método de Smalian; e

$V_{cilindro}$  = volume do cilindro obtido com base no DAP.

b) Fator de forma de Hohenadl ou natural ( $f_{0,1}$ ):

$$f_{0,1} = \frac{V_{real}}{V_{cilindro}}$$

onde:

$f_{0,1}$  = fator de forma de Hohenadl ou natural;

$V_{real}$  = volume do fuste da árvore segundo método de Smalian; e

$V_{cilindro}$  = volume do cilindro obtido com base no diâmetro com casca tomado a 10% da altura da árvore.

Ressalta-se que os diâmetros a 10% da altura total foram obtidos através de interpolação para determinar os valores do  $d_{0,1}$  para todas árvores.

Segundo LOETSCH et. al (1973), citado por MACHADO et al (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 a que árvores de formas geométricas idênticas, mas de diferentes alturas, produzem diferentes fatores de forma ( $f_{1,3}$ ). Isto 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. Isto é uma irrealidade induzida pela fórmula de cálculo do  $f_{1,3}$ , do qual resulta o termo fator de forma falso ou artificial.

Para evitar este inconveniente, Hohenadl em 1936, propôs uma altura relativa de 1/10 da altura total da árvore para ser usado como base do cilindro de referência. Esta altura é usada para cálculo do fator que é consideravelmente uma quantidade mais eficiente e real para descrever a forma da árvore, sendo denominado fator de forma natural ou verdadeiro. Além disso, diâmetros tomados em posições relativas são mais altamente correlacionados 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. Como a maior parte da árvore tem forma de sólido parabólico, a medida do DAP numa região de forma neiloidal, traz problemas, notadamente para cálculos de fatores de forma. Outro problema é que o uso das fórmulas tradicionais de cálculo do volume, tais como as de Smalian, Huber e Newton, acarretam em erros, tendo em vista que são apropriados para corpos parabólicos. Como normalmente a primeira tora tem forma neiloidal, o erro de cálculo do volume para esta porção envolve erros elevados, notadamente quando se usam comprimentos de seções longos.

## 1.2.5 ANÁLISES ESTATÍSTICAS

### 1.2.5.1 Análise da Homogeneidade das Variâncias (Teste de Bartlett)

Segundo STELL & TORRIE (1960), citados por vários autores, tais como, ROSOT (1980), SILVA (1982), KOEHLER (1999), o teste de Bartlett é utilizado quando existem vários tratamentos em um experimento. Então o teste do qui-quadrado ( $\chi^2$ ) de Bartlett é feito para testar a homogeneidade de variâncias. É muito utilizado em análise de regressão e amostragem. Parte-se da hipótese de que as variâncias são homogêneas ( $H_0$ ), e se o resultado do

teste confirmar esta hipótese, procede-se à análise de variância e posterior teste de comparação de médias.

O teste de  $\chi^2$  de Bartlett é expresso por:

$$\chi^2 = 2,3026 \cdot \left[ \left( \log \bar{S}^2 \cdot \sum GL \right) - \sum \left( GL - \log S_i^2 \right) \right]$$

onde:

2,3026 = constante;

$\bar{S}^2$  = médias das variâncias;

GL = graus de liberdade de cada tratamento; e

$S_i^2$  = Variância de cada tratamento.

O resultado obtido deve ser corrigido, dividindo-se por um fator de correção que é dado por:

$$C = 1 + \frac{1}{3(n-1)} \cdot \left( \frac{1}{GL} - \frac{1}{GL} \right)$$

onde:

C = fator de correção;

N = número de variâncias; e

GL = graus de liberdade.

Na sua forma natural de aplicação de fórmula, usa-se logaritmo natural em vez de comum. Como o logaritmo natural de qualquer número é aproximadamente 2,3026 vezes o logaritmo comum, há necessidade de se colocar esta constante na equação.

O valor de  $\chi^2$  deve ser comparado com o valor tabelado a um determinado nível de probabilidade e graus de liberdade. Para haver homogeneidade entre as médias o valor calculado deve ser menor que o valor tabelado. Caso contrário, quando as variâncias são heterogêneas ( $H_1$ ), deve-se fazer a transformação dos dados, buscando homogeneizar as variâncias, da seguinte forma:

- Logarítmica – é utilizada quando os desvios padrões são proporcionais às médias dos tratamentos e quando se suspeita que os efeitos dos tratamentos não são aditivos.

- Raiz quadrada – é utilizado quando se trabalha com contagem de efeitos raros que tendem a seguir uma distribuição de Poisson, onde as variâncias são correlacionadas com as médias.

- Angular – é utilizado quando os dados são de contagens expressas como porcentagens ou proporções do total da amostra.

#### 1.2.5.2 Análise de Variância

No estudo de análise de variância de um experimento os procedimentos estatísticos para comparar duas ou mais médias de tratamentos assumem a existência da chamada hipótese da nulidade ( $H_0$ ). Esta afirma não haver diferenças entre os efeitos dos tratamentos.

Na análise de variância deve ser considerada a hipótese de que os efeitos dos tratamentos são aditivos, existe independência entre os diversos efeitos, há normalidade na distribuição dos erros e que deve haver homogeneidade das variâncias.

Partindo deste fato testa-se a probabilidade de que as diferenças existentes entre as médias ocorrem por simples acaso, como se as médias dos tratamentos fossem, de fato, tiradas de populações normalmente distribuídas com médias e variâncias iguais. Se a análise leva à conclusão de que as diferenças encontradas podem ser atribuídas ao acaso, a hipótese da nulidade não é rejeitada e a conclusão é de que não há evidências de diferenças reais entre os efeitos dos tratamentos. Se, por outro lado, a análise indica que as diferenças observadas, raramente poderiam ocorrer por acaso em amostras tiradas de populações com médias e variâncias iguais, a hipótese da nulidade é rejeitada e a conclusão é de que pelo menos um tratamento possui efeito real ( $H_1$ ). Pelo menos uma das médias é dita ser significativamente diferente das demais.

Se a variação entre as médias possuir probabilidade menor que 5% de ocorrer por acaso, isto leva a concluir que as médias são significativamente diferentes. Se a probabilidade é menor que 1% de que as variações entre médias ocorram por acaso, estas diferenças são consideradas altamente significativas.

### 1.2.5.3 Teste de Tukey

Segundo KOEHLER (1999), este teste também chamado de diferença significativa honesta (HSD, do inglês “Honestly Significant Difference”), é um teste que utiliza um valor para julgar todas as diferenças entre médias, mas o experimento é usado como unidade para determinação do nível de significância do teste. É um procedimento de fácil utilização e leva em consideração o número de tratamentos no experimento.

O teste consiste no cálculo do valor comparador que é feito pela seguinte fórmula:

$$W = q_{\alpha} \sqrt{\frac{QM_{Erro}}{r}}$$

onde:

QM Erro = quadrado médio do erro da análise de variância;

r = número de repetições das médias sendo comparadas; e

$q_{\alpha}$  = valor tabelado encontrado em função do número de médias sendo testadas e do grau de liberdade do erro experimental (GL erro).

Ordenam-se as médias do maior para o menor valor, faz-se a comparação das diferenças entre médias, duas a duas, com o valor comparador ( $W$ ). Quando a diferença entre duas médias é menor ou igual ao valor calculado, as médias são consideradas estatisticamente iguais, quando é maior as médias são consideradas estatisticamente diferentes.

As comparações de formas gráficas para a sumarização dos resultados obtidos utilizam-se da convenção de que médias iguais são seguidas de letras iguais e médias diferentes são seguidas de letras diferentes.

As análises estatísticas foram realizadas na seqüência descrita acima entre os fatores de forma absolutos ( $f_{1,3}$ ) obtidos em cada tratamento com e sem casca; entre os fatores de forma naturais ( $f_{0,1}$ ) obtidos em cada tratamento com e sem casca; e entre os fatores de forma absolutos ( $f_{1,3}$ ) e naturais ( $f_{0,1}$ ) obtidos em cada tratamento com e sem casca.

### 1.3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Na Tabela 1.2 é apresentada a caracterização de cada um dos tratamentos implantados nos plantios de *Eucalyptus grandis*.

TABELA 1.2 - CARACTERIZAÇÃO DOS TRATAMENTOS.

Trat	DAP (cm)			Altura Total (m)			Volume (m <sup>3</sup> )		
	Mínimo	Média	Máximo	Mínimo	Média	Máximo	Mínimo	Média	Máximo
A	8,00	10,5	14,00	10,50	12,71	15,60	0,02728	0,05334	0,10249
B	4,70	13,8	23,70	10,60	20,90	27,20	0,01235	0,18633	0,47391
C	5,00	14,0	24,00	7,00	21,73	30,70	0,01009	0,20592	0,60454
D	4,30	17,8	34,40	8,92	22,03	29,20	0,00740	0,30140	0,91630
E	5,40	20,4	35,90	11,50	27,42	38,50	0,01323	0,56737	1,58850
F	5,00	19,2	37,00	12,30	25,72	35,80	0,01196	0,47537	1,63797

#### 1.3.1 TESTE DE HOMOGENEIDADE DE VARIÂNCIAS (Teste De Bartlett):

Na Tabela 1.3 estão apresentados os resultados pertinentes ao cálculo do  $\chi^2$  para os diferentes fatores de forma, oriundos dos diferentes tratamentos utilizados.

TABELA 1.3 - VALORES DE  $\chi^2$  E NÍVEIS DE SIGNIFICÂNCIA OBTIDOS PELO TESTE DE BARTLETT ENTRE OS DIFERENTES FATORES DE FORMA PARA OS DIFERENTES TRATAMENTOS UTILIZADOS.

Fatores de Forma	$\chi^2$	Graus de Liberdade	Nível de Significância
$f_{1,3}$ com casca	0,757	5	0,936
$f_{1,3}$ sem casca	1,254	5	0,810
$f_{1,3}$ com e sem casca	2,022	11	0,995
$f_{0,1}$ com casca	0,727	5	0,942
$f_{0,1}$ sem casca	1,056	5	0,868
$f_{0,1}$ com e sem casca	1,842	11	0,997
$f_{1,3}$ e $f_{0,1}$ com casca	2,658	11	0,983
$f_{1,3}$ e $f_{0,1}$ sem casca	2,870	11	0,976

Observou-se que para os diferentes fatores de forma, oriundos dos diferentes tratamentos com e sem casca, os valores de  $\chi^2$  apresentaram-se não significantes ao nível de 5% de probabilidade, variando entre 0,727 ( $f_{0,1}$  com casca) e 2,870 ( $f_{1,3}$  e  $f_{0,1}$  sem casca), o que caracteriza a homogeneidade de variâncias, fato que os condicionou à posterior Análise de Variância.

### 1.3.2 ANÁLISE DE VARIÂNCIA

Na Tabela 1.4 estão apresentadas as análises de variância, para os diferentes fatores de forma, oriundos dos diferentes tratamentos com e sem casca.

TABELA 1.4 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA ENTRE FATORES DE FORMA ABSOLUTO ( $f_{1,3}$ ); NATURAL ( $f_{0,1}$ ); E ENTRE FATORES DE FORMA ABSOLUTO E NATURAL, PARA OS 6 TRATAMENTOS, COM CASCA (CC) E SEM CASCA (SC).

Fator de Forma	FV	GL	SQ	QM	F	Nível de Significância
$f_{1,3}$ CC	Tratamento	5	0,03567	0,00713	5,19	0,00010
	Erro	264	0,36272	0,00137		
	Total	269	0,39839			
$f_{1,3}$ SC	Tratamento	5	0,03191	0,00638	6,64	0,00000
	Erro	264	0,25390	0,00096		
	Total	269	0,28582			
$f_{1,3}$ CC e SC	Tratamento	11	0,56980	0,05180	44,36	0,00000
	Erro	528	0,61662	0,00117		
	Total	539	1,18642			
$f_{0,1}$ CC	Tratamento	5	0,09731	0,01946	26,56	0,00000
	Erro	264	0,19342	0,00073		
	Total	269	0,29074			
$f_{0,1}$ SC	Tratamento	5	0,32229	0,06446	57,33	0,00000
	Erro	264	0,29684	0,00112		
	Total	269	0,61913			
$f_{0,1}$ CC e SC	Tratamento	11	0,49059	0,04460	48,03	0,00000
	Erro	528	0,49027	0,00093		
	Total	539	0,98086			
$f_{1,3}$ e $f_{0,1}$ CC	Tratamento	11	0,31986	0,02908	27,61	0,00000
	Erro	528	0,55614	0,00105		
	Total	539	0,87600			
$f_{1,3}$ e $f_{0,1}$ SC	Tratamento	11	1,11899	0,10173	97,53	0,00000
	Erro	528	0,55075	0,00104		
	Total	539	1,66974			

Observou-se que os valores de F apresentaram-se significantes ao nível de 5% de probabilidade, para as análises de variância realizadas entre os fatores de forma absoluto e natural dos diferentes tratamentos com e sem casca, variando entre 5,19 ( $f_{1,3}$  com casca) e 97,53 ( $f_{1,3}$  e  $f_{0,1}$  sem casca), o que confirma a Hipótese  $H_1$  (pelo menos uma das médias é diferente das demais), para os diferentes e entre os diferentes fatores de forma a serem comparados.

## 1.3.3 TESTE DE COMPARAÇÃO DE MÉDIAS (Tukey)

As Tabelas 1.5 e 1.6 mostram os resultados provenientes das comparações de médias entre os fatores de forma absolutos ( $f_{1,3}$ ) para os 6 tratamentos com e sem casca e entre os fatores de forma naturais ( $f_{0,1}$ ) para os 6 tratamentos com e sem casca, respectivamente.

TABELA 1.5 - COMPARAÇÃO DE MÉDIAS ENTRE FATORES DE FORMA ABSOLUTOS ( $f_{1,3}$ ), PARA OS 6 TRATAMENTOS COM CASCA E SEM CASCA.

$f_{1,3}$ com casca				$f_{1,3}$ sem casca			
Trat.	Quant.	Média	Grupos Homogêneos	Trat.	Quant.	Média	Grupos Homogêneos
A	45	0,4661	A	E	45	0,4081	A
E	45	0,4636	A	C	45	0,4068	A
C	45	0,4630	A	B	45	0,4006	B
B	45	0,4629	A	F	45	0,3985	B
F	45	0,4558	A	A	45	0,3862	C
D	45	0,4326	B	D	45	0,3780	C

TABELA 1.6 - COMPARAÇÃO DE MÉDIAS ENTRE FATORES DE FORMA NATURAIS ( $f_{0,1}$ ), PARA OS 6 TRATAMENTOS COM CASCA E SEM CASCA.

$f_{0,1}$ com casca				$f_{0,1}$ sem casca			
Trat.	Quant.	Média	Grupos Homogêneos	Trat.	Quant.	Média	Grupos Homogêneos
E	45	0,5168	A	E	45	0,5012	A
F	45	0,5092	B	F	45	0,5001	A
C	45	0,4975	B	C	45	0,4834	B
D	45	0,4937	B	D	45	0,4743	B
B	45	0,4935	B	B	45	0,4722	B
A	45	0,4566	C	A	45	0,3986	C

Os resultados demonstraram que para o Fator de forma absoluto ( $f_{1,3}$ ) com casca, os 6 tratamentos estão distribuídos em dois grupos homogêneos (estatisticamente iguais entre si ao nível de 5% de probabilidade), da seguinte forma: o primeiro grupo composto pelos tratamentos F, B, C, E e A ( $f_{1,3}$  médio de 0,4558; 0,4629; 0,4630; 0,4636 e 0,4661, respectivamente) e o segundo composto apenas pelo tratamento D ( $f_{1,3}$  médio de 0,4326). Neste caso tem-se o valor médio de 0,4623 a ser utilizado para o grupo formado pelos tratamentos F, B, C, E e A e o valor médio 0,4326 a ser utilizado especificamente para o tratamento D.

Para o Fator de forma absoluto ( $f_{1,3}$ ) sem casca, a comparação resultou em três grupos homogêneos compostos desta forma: o primeiro grupo, tratamentos C e E ( $f_{1,3}$  médio de 0,4068 e 0,4081, respectivamente), o segundo pelos tratamentos F e B ( $f_{1,3}$  médio de 0,3985 e 0,4006, respectivamente) e o terceiro representado pelos tratamentos D e A ( $f_{1,3}$  médio de 0,3780 e 0,3862, respectivamente). Neste caso o valor médio 0,4074 pode ser utilizado para o primeiro grupo; o valor médio 0,3996 o segundo grupo e o valor médio 0,3821 para o terceiro grupo.

Para os Fatores de forma naturais ( $f_{0,1}$ ) tanto com, como sem casca, observou-se que os 6 tratamentos distribuíram-se em 3 grupos homogêneos. Para os tratamentos com casca a distribuição se deu da seguinte forma: primeiro grupo composto pelo tratamento F ( $f_{0,1}$  médio de 0,5168), o segundo pelos tratamentos B, D, C e E ( $f_{0,1}$  médio de 0,4935; 0,4937; 0,4975; e 0,5092 respectivamente), e o terceiro pelo tratamento A ( $f_{0,1}$  médio de 0,4566). Neste caso os valores a serem utilizados pelos grupos são: primeiro (E) 0,5168; segundo (B, D, C e E) 0,4985; e o terceiro (A) 0,4566.

Para os tratamentos sem casca a distribuição se deu da seguinte forma: primeiro grupo composto pelos tratamentos F e E ( $f_{0,1}$  médio de 0,5001 e 0,5012, respectivamente), o segundo pelos tratamentos B, D e C ( $f_{0,1}$  médio de 0,4722; 0,4743 e 0,4834, respectivamente), e o terceiro pelo tratamento A ( $f_{0,1}$  médio de 0,3986). Neste caso os valores a serem utilizados pelos grupos são: primeiro (A) 0,3986; segundo (B, D e C) 0,4767; e o terceiro (F e E) 0,5006.

Na Tabela 1.7 estão apresentadas as comparações de médias entre os fatores de forma ( $f_{1,3}$  e  $f_{0,1}$ , respectivamente), entre cada tratamento com e sem casca. As Figuras 1.1 e 1.2 sintetizam graficamente os resultados apresentados na Tabela 1.7.

TABELA 1.7 - COMPARAÇÃO DE MÉDIAS ENTRE FATORES DE FORMA ABSOLUTOS ( $f_{1,3}$ ) E NATURAIS ( $f_{0,1}$ ) ENTRE CADA UM DOS TRATAMENTOS COM CASCA E SEM CASCA.

Trat.	Quant.	Fator de Forma Absoluto			Fator de Forma Natural		
		Casca	Média	Grupos Homogêneos	Casca	Média	Grupos Homogêneos
A	45	C	0,4661	A	C	0,4566	A
A	45	S	0,3862	B	S	0,3986	B
B	45	C	0,4629	A	C	0,4935	A
B	45	S	0,4006	B	S	0,4722	B
C	45	C	0,4630	A	C	0,4975	A
C	45	S	0,4068	B	S	0,4834	A
D	45	C	0,4326	A	C	0,4937	A
D	45	S	0,3780	B	S	0,4743	A
E	45	C	0,4636	A	C	0,5168	A
E	45	S	0,4081	B	S	0,5012	A
F	45	C	0,4558	A	C	0,5092	A
F	45	S	0,3985	B	S	0,5001	A

C – com casca; S – sem casca.

FIGURA 1.1 - COMPARAÇÃO DE MÉDIAS ENTRE FATORES DE FORMA ABSOLUTOS ( $f_{1,3}$ ) ENTRE CADA UM DOS TRATAMENTOS COM CASCA E SEM CASCA.

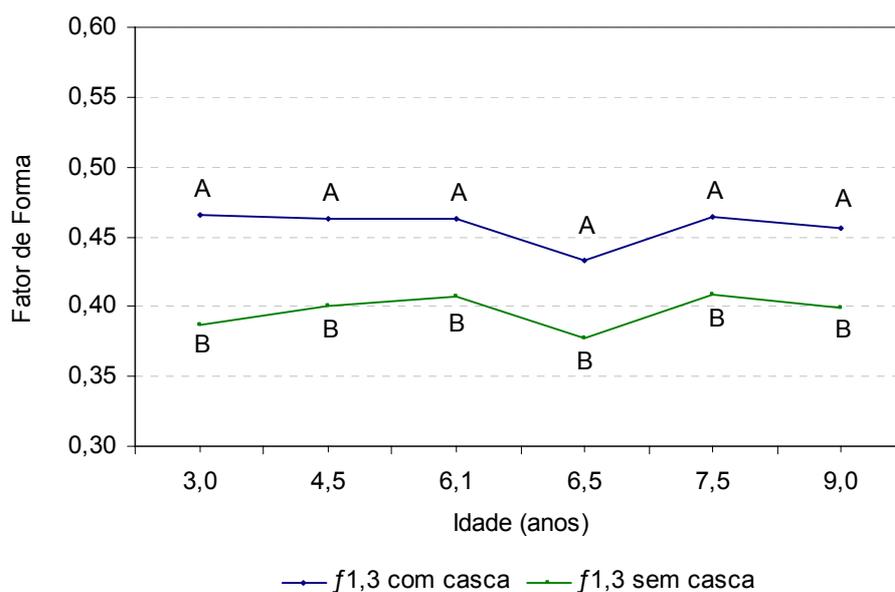
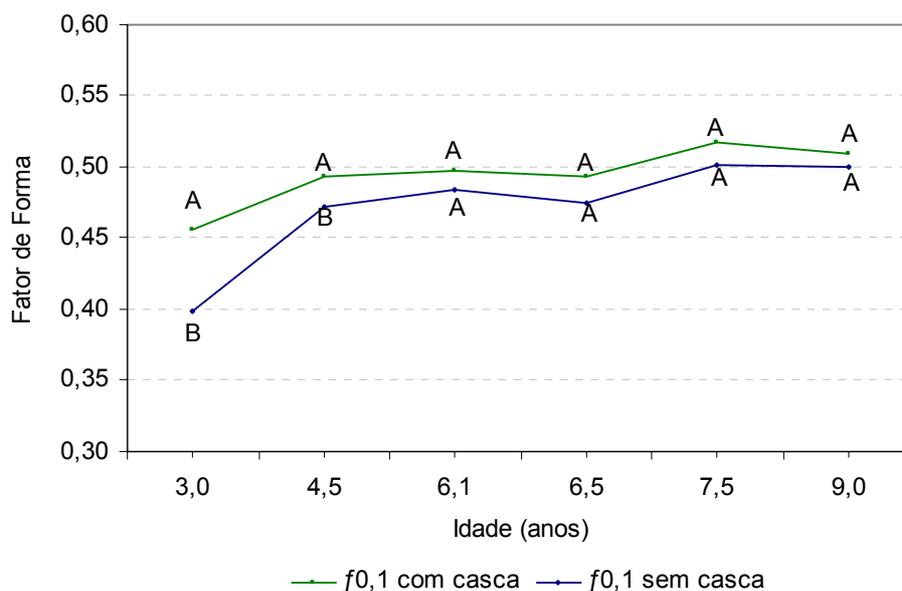


FIGURA 1.2 - COMPARAÇÃO DE MÉDIAS ENTRE FATORES DE FORMA NATURAIS ( $f_{0,1}$ ) ENTRE CADA UM DOS TRATAMENTOS COM CASCA E SEM CASCA.



Entre os fatores de forma absolutos não foi observada igualdade entre as médias dos 6 tratamentos com e sem casca.

Para o cálculo dos volumes com e sem casca, em povoamentos com características iguais as dos tratamentos adotados nesta pesquisa, deve-se utilizar valores de fatores de forma absolutos médios específicos para cada tratamento ou grupo de tratamentos, com casca (para o grupo de tratamentos F, B, C, E e A valor médio de 0,4623; tratamento D valor médio de 0,4326) e sem casca (grupo de tratamento D e A valor médio de 0,3821; grupo de tratamentos F e B valor médio de 0,3996; grupo de tratamentos C e E valor médio de 0,4074), respectivamente.

Entre os fatores de forma naturais observou-se igualdade entre os tratamentos C, D, E e F com e sem casca. Porém como não é coerente usar o mesmo fator de forma para cálculo do volume com e sem casca, neste caso para os tratamentos com casca C, D e F o valor a ser utilizado é de 0,4985 e para o tratamento E o valor é de 0,5168. Já para os tratamentos sem casca C, D e F o valor a ser utilizado é de 0,4859 e para o tratamento E o valor é de 0,5012

Em povoamentos com características iguais às dos tratamentos A e B, deve-se utilizar fatores de forma naturais obtidos a partir de dados com e sem casca, para os cálculos dos volumes com e sem casca, respectivamente.

Na Tabela 1.8 estão apresentadas as comparações de médias entre os fatores de forma absolutos e os fatores de forma naturais, com e sem casca, respectivamente. As Figuras 1.3 e 1.4 sintetizam graficamente os resultados apresentados na Tabela 1.8.

TABELA 1.8 - COMPARAÇÃO DE MÉDIAS ENTRE FATORES DE FORMA ABSOLUTOS ( $f_{1,3}$ ) E NATURAIS ( $f_{0,1}$ ), ENTRE OS 6 TRATAMENTOS COM CASCA E SEM CASCA.

Trat.	Quant.	Com casca			Sem casca		
		Fator	Média	Grupos Homogêneos	Fator	Média	Grupos Homogêneos
A	45	$f_{1,3}$	0,4661	A	$f_{0,1}$	0,3986	A
A	45	$f_{0,1}$	0,4566	A	$f_{1,3}$	0,3862	A
B	45	$f_{0,1}$	0,4935	A	$f_{0,1}$	0,4722	A
B	45	$f_{1,3}$	0,4629	B	$f_{1,3}$	0,4006	B
C	45	$f_{0,1}$	0,4975	A	$f_{0,1}$	0,4834	A
C	45	$f_{1,3}$	0,4630	B	$f_{1,3}$	0,4068	B
D	45	$f_{0,1}$	0,4937	A	$f_{0,1}$	0,4743	A
D	45	$f_{1,3}$	0,4326	B	$f_{1,3}$	0,3780	B
E	45	$f_{0,1}$	0,5168	A	$f_{0,1}$	0,5012	A
E	45	$f_{1,3}$	0,4636	B	$f_{1,3}$	0,4081	B
F	45	$f_{0,1}$	0,5092	A	$f_{0,1}$	0,5001	A
F	45	$f_{1,3}$	0,4558	B	$f_{1,3}$	0,3985	B

FIGURA 1.3 - COMPARAÇÃO DE MÉDIAS ENTRE FATORES DE FORMA ABSOLUTOS ( $f_{1,3}$ ) E NATURAIS ( $f_{0,1}$ ), ENTRE OS 6 TRATAMENTOS COM CASCA.

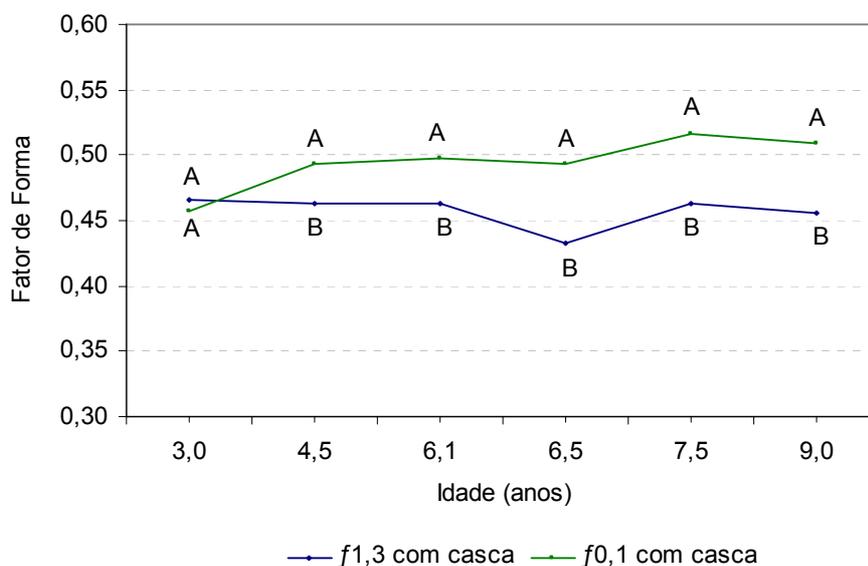
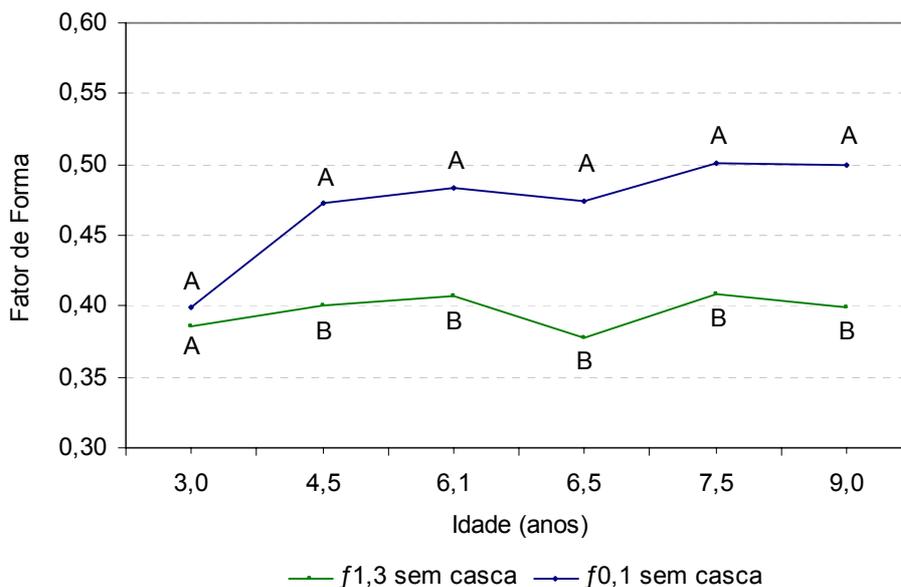


FIGURA 1.4 - COMPARAÇÃO DE MÉDIAS ENTRE FATORES DE FORMA ABSOLUTOS ( $f_{1,3}$ ) E NATURAIS ( $f_{0,1}$ ), ENTRE OS 6 TRATAMENTOS SEM CASCA.



Na comparação entre  $f_{1,3}$  e  $f_{0,1}$ , com casca, verifica-se a igualdade destes fatores apenas para o tratamento A, ao nível de 5% de probabilidade. Levando em consideração que este tratamento compõe um grupo dentro dos fatores de forma absolutos, pode-se utilizar um único fator de forma absoluto médio de 0,4623, para cálculos de volumes de árvores com casca, este estatisticamente igual ao fator de forma natural médio (0,4566).

Esta igualdade entre os fatores de forma absolutos (sujeito a erros principalmente pela forma neiloidal do fuste das árvores a 1,3 m de altura e em árvores baixas) e naturais (maior dificuldade de obtenção, considerado uma quantidade mais eficiente e real para descrever a forma da árvore) indica que os erros característicos do  $f_{1,3}$  serão minimizados ou inexistentes no cálculo dos volumes para este tratamento.

Na comparação entre  $f_{1,3}$  e  $f_{0,1}$  sem casca verifica-se a igualdade destes fatores também apenas para o tratamento A. Levando em consideração que este tratamento compõe um grupo dentro dos fatores de forma absolutos, pode-se utilizar um único fator de forma absoluto médio de 0,3821, para cálculos de volumes de árvores com casca, este estatisticamente igual ao fator de forma natural médio (0,3986).

Esta igualdade entre os fatores de forma 1,3 e 0,1 indica que os erros característicos do  $f_{1,3}$ , serão minimizados ou inexistentes no cálculo dos volumes para este tratamento.

Tendo o tratamento A fatores de forma absolutos e naturais com casca iguais, igualdade também verificada para os fatores de forma absolutos e naturais sem casca, verificou-se que para povoamentos de *Eucalyptus grandis*, localizados na região de estudo, com 3 anos de idade, um único fator de forma médio (absoluto) de 0,4623 pode ser utilizado para cálculo de volumes de árvores com casca e um único fator de forma médio (absoluto) de 0,3821 pode ser utilizado para cálculo de volumes de árvores sem casca.

Para o cálculo dos volumes com ou sem casca dos tratamentos B, C, D, E e F deve-se utilizar o  $f_{1,3}$  ou  $f_{0,1}$  médio apresentado, dependendo da disponibilidade de dados e/ou da precisão requerida.

A obtenção do volume de árvores com e sem casca através dos fatores de forma absolutos médios deve ser realizada utilizando-se um valor específico com ou sem casca para a classe de idade em questão.

A obtenção do volume de árvores com e sem casca através dos fatores de forma naturais médios deve ser realizada utilizando-se um valor específico com ou sem casca apenas para povoamentos com 3,0 e 4,5 anos de idade. Para povoamentos mais velhos (6,1; 6,5; 7,5 e 9,0 anos), deve-se usar o  $f_{0,1}$  com casca para o cálculo dos volumes com e o  $f_{0,1}$  sem casca para o cálculo do volume sem casca.

## 1.4 CONCLUSÕES

- A comparação estatística entre os fatores de forma absolutos ( $f_{1,3}$ ) para os 6 tratamentos com casca e sem casca revelou a presença de dois e três grupos homogêneos, respectivamente, ou seja, com fatores de forma iguais ao nível de 5% de probabilidade.

- A comparação estatística entre os fatores de forma naturais ( $f_{0,1}$ ) para os 6 tratamentos com casca e sem casca, revelou a presença de três grupos de médias homogêneas.

- Na comparação entre  $f_{1,3}$  com e sem casca e entre  $f_{0,1}$  com e sem casca, os fatores de forma absolutos não apresentaram igualdade entre as médias dos 6 tratamentos com e sem casca. Entre os fatores de forma naturais observou-se igualdade entre as médias dos tratamentos C, D, E e F com e sem casca.

- Na comparação entre  $f_{1,3}$  e  $f_{0,1}$  com e sem casca verificou-se a igualdade destes fatores apenas para o tratamento A.

- Para povoamentos de *Eucalyptus grandis*, localizados na região de estudo, com 3 anos de idade, um único fator de forma médio (absoluto) de 0,4623 pode ser utilizado para cálculo de volumes de árvores com casca, estes não sujeitos aos erros característicos de sua forma de cálculo, face à sua igualdade estatística ao fator de forma natural médio com casca.

- Para povoamentos de *Eucalyptus grandis*, localizados na região de estudo, com 3 anos de idade, um único fator de forma médio (absoluto) de 0,3821 pode ser utilizado para cálculo de volumes de árvores sem casca, estes não sujeitos aos erros característicos de sua forma de cálculo, face à sua igualdade estatística ao fator de forma natural médio sem casca.

- Para o cálculo dos volumes com ou sem casca de povoamentos com características iguais as dos tratamentos B, C, D, E e F, localizados na região

de estudo, deve-se utilizar o  $f_{1,3}$  ou  $f_{0,1}$  médio apresentado, dependendo da disponibilidade de dados e/ou da precisão requerida.

## 1.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

GOLFARI, L.; CASER, R.L.; MOURA, V.P.G. **Zoneamento ecológico esquemático para reflorestamento no Brasil**. Belo Horizonte: Centro de Pesquisa Florestal da Região do Cerrado, 1978. 66p.

KOEHLER, H. S. **Estatística Experimental**. Universidade Federal do Paraná. Curitiba. 1999.

LOETSCH, F.; ZOHRER, F.; HALLER, K.E. **Forest Inventory**. München: BLV 1973. v. 2. p469.

MACHADO, S.A.; et al. **Comparação de métodos de cubagem de árvores e de diversos comprimentos de seção**. In: CONGRESSO FLORESTAL E DO MEIO AMBIENTE DO PARANÁ, 3. Curitiba, 1991 - Anais, APEF, v. 1, p. 125-139.

ROSOT, N. C. **Estimativa do peso de madeira seca de *Pinus taeda* L. por ocasião do primeiro desbaste**. Curitiba, 1980. (Dissertação de mestrado em Engenharia Florestal – UFPR).

SILVA, J.A.A.; et al. **Estatística Experimental Aplicada à Ciência Florestal**. Universidade Federal do Pernambuco. Recife, 1982.

STEEL, R.G.D. & TORRIE, J. M. **Principles and procedures of statistics**. New York, McGrawHill, 1960. 481 p.

## CAPÍTULO 2

### MODELAGEM DO VOLUME INDIVIDUAL PARA DIFERENTES IDADES EM PLANTAÇÕES DE *Eucalyptus grandis* HILL EX - MAIDEN

#### RESUMO

O presente trabalho objetiva testar vários modelos matemáticos que expressam a relação do volume com diâmetro à altura do peito e altura total e selecionar o de melhor ajuste e precisão para cada uma das idades. A base de dados utilizada para desenvolver este estudo foi obtida em plantios de *Eucalyptus grandis* Hill ex - Maiden, pertencentes à empresa Duraflora S.A., situada na região sudoeste de São Paulo, no município de Agudos. Esta base constituiu do diâmetro à altura do peito (DAP) e altura total (H) de 589 árvores submetidas à cubagem rigorosa, distribuídas em 6 tratamentos com diferentes idades. Foram ajustados 9 modelos tradicionais selecionados na literatura florestal. A seleção do melhor modelo foi baseada nos seguintes critérios de escolha: coeficiente de determinação ajustado, erro padrão da estimativa em percentagem (recalculado quando necessário) e análise gráfica de resíduos. Após estimadas as estatísticas de ajuste e precisão para todos os tratamentos, foi elaborado um "ranking", para detectar o modelo que em média proporcionou estimativas mais acuradas de volume total com e sem casca. No cômputo geral, os modelos tradicionais de Spurr (logaritmo) e Schumacher - Hall foram os mais adequados para as estimativas dos volumes com e sem casca, respectivamente. Para confirmação do resultado obtido pelo ranqueamento foi feita a análise gráfica de resíduos para os quatro modelos mais bem colocados (Spurr logaritmo, Schumacher - Hall, Meyer e Storate), para analisar se existia tendenciosidade na estimativa de volume desses modelos. Analisando-se os resultados, conclui-se que os melhores modelos para expressar em média o volume individual com e sem casca de árvores de *Eucalyptus grandis* foram os de Spurr logaritmo e de Schumacher-Hall, respectivamente.

Palavras Chave: Estimativa de volume, equações de volume, seleção de modelos.

## ABSTRACT

The objective of this research was to test several mathematical models that express the relationship of volume with diameter at breast height and total height and to select the best one for each age. The data base used to develop this study was obtained from *Eucalyptus grandis* Hill ex - Maiden plantations belonging to the company Duraflora S.A., located in the Southwestern region of São Paulo, in the municipal district of Agudos. This base constituted of diameter at breast height (DBH) and total height (H) of 569 trees submitted to rigorous volume determination, distributed in 6 different ages. Nine traditional models selected from the forest literature were adjusted for each treatment. The selection of the best model was based on the following criteria: adjusted coefficient of determination, standart error of estimate in percent and graphic analysis of residues. After having calculated the adjustment statistics and precision for all treatments, a ranking was carried out, to detect the model that provided best estimates of total volume with and without bark. In general, the traditional models off best fitting for estimating volume with and without bark, were those from Spurr (log) and from Schumacher - Hall, respectively. For confirmation of the result obtained by the ranking it was made graphic analysis of residuals for the best four models (Spurr (log), Schumacher - Hall, Meyer and Stoate), to analyze the existence of possible bias of volume estimated by these models. It was verified that, in general, models from Spurr (log) and from Schumacher - Hall were the best equations to estimate individual volume with and without bark, respectively, for the *Eucalyptus grandis* in the present case.

Key words: *Eucalyptus grandis*, volume equations, models selection.

## 2.1 INTRODUÇÃO

A escassez de madeira (matéria prima) juntamente com sua crescente valorização, notadamente nas regiões sul e sudeste do Brasil, têm voltado o setor produtivo, dependente de matéria prima com estas características, à implantação de florestas para suprir as necessidades de consumo, ou seja, para garantir o abastecimento das indústrias florestais. Nesse sentido, espécies dos gêneros *Pinus* e *Eucalyptus* têm sido usadas amplamente em programas de reflorestamento no Brasil, notadamente nas regiões mais quentes.

A variável volume constitui uma das informações de maior importância para o conhecimento do potencial florestal disponível em uma região, sendo que o volume individual fornece um ponto de partida para avaliação do conteúdo lenhoso dos povoamentos florestais.

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 diâmetro à altura do peito (DAP com casca) e altura total (H) 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.

A modelagem do volume individual de árvores em função dessas variáveis independentes começou a ser desenvolvida na primeira metade dos anos de 1900, após o desenvolvimento de técnicas de análise de regressão. No entanto, o uso dessas técnicas realmente tomou maior impulso após o surgimento dos computadores, notadamente a partir da década de 1950.

Muitos modelos matemáticos foram sendo criados e testados para o ajuste de equações de volume. Apesar do 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.

Inúmeros pesquisadores dedicaram esforços visando o ajuste e comparação de equações de volume para diferentes espécies e situações. Dentre eles podem ser citados alguns trabalhos pioneiros, tais como os de DRESS (1959), GOLDING & HALL (1961), VEIGA (1972), PAULA NETO (1977), SIQUEIRA (1977).

A existência de 6 tratamentos diferentes, nos quais se varia a idade em plantações de *Eucalyptus grandis* da companhia Duraflora, localizados no município de Agudos, em São Paulo, possibilitou a cubagem de 589 árvores, fornecendo o conjunto de dados apropriados para ajustes de equações de volume individual, tanto com casca como sem casca para esta espécie ainda carente de pesquisas dessa natureza no Brasil.

Desta forma os objetivos da presente pesquisa foram testar vários modelos matemáticos que expressam a relação do volume com diâmetro à altura do peito e altura total e selecionar o de melhor ajuste e precisão para cada idade.

## 2.2 MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.2.1 CARACTERIZAÇÃO E LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

Os dados para desenvolver este estudo foram obtidos em plantios de *Eucalyptus grandis* Hill ex - Maiden, pertencentes à empresa Duraflora S.A., situada na região sudoeste do estado de São Paulo, no município de Agudos.

Conforme GOLFARI, CASER E MOURA (1978) esta região apresenta, como características básicas, a periodicidade de chuvas com invernos secos com deficiência hídrica. A precipitação anual está entre 1100 e 1400 mm. As geadas ocorrem com pouca frequência com temperatura média entre 16 e 19°C. O tipo de clima é submontano ou subtropical moderado úmido. O tipo de vegetação é Floresta Ombrófila Pluvial e campos submontanos e a altitude é de aproximadamente 900 metros.

### 2.2.2 COLETA DE DADOS

Foram obtidos os diâmetros à altura do peito e as respectivas alturas de 589 árvores, em seis classes de idade (Tratamentos), que formaram o banco de dados utilizado neste estudo.

A especificação dos tratamentos implementados na área, suas respectivas idades e número de árvores cubadas podem ser observados na Tabela 2.1.

TABELA 2.1 - ESPECIFICAÇÃO DOS TRATAMENTOS.

<b>Tratamento</b>	<b>Idade (anos)</b>	<b>Número de Árvores Cubadas</b>
A	3,0	56
B	4,5	95
C	6,1	100
D	6,5	134
E	7,5	99
F	9,0	105

Visando atingir o objetivo principal deste estudo versando sobre comparação de médias entre os diferentes métodos de estimativa de volume, foram selecionadas 45 árvores por tratamento e dentro destes por classes de diâmetro, buscando separar um número mínimo de árvores para o tratamento com menor número de observações (tratamento A) para a validação do melhor modelo volumétrico selecionado.

### 2.2.3 MODELOS VOLUMÉTRICOS

Os 9 modelos matemáticos tradicionais selecionados na literatura florestal (Tabela 2.2) foram ajustados para cada um dos tratamentos (Tabela 2.1), através do programa Statistica 5.0, visando à obtenção dos coeficientes de regressão, dos parâmetros estatísticos de comparação e da análise de resíduos.

TABELA 2.2 - MODELOS TRADICIONAIS TESTADOS PARA ESTIMATIVA DOS VOLUMES.

Nº	Autor	Modelos
1	Hohenadl - Krenn	$v = \beta_0 + \beta_1 \cdot d + \beta_2 \cdot d^2$
2	Spurr	$v = \beta_0 + \beta_1 \cdot d^2 h$
3	Spurr	$v = \beta_1 \cdot d^2 h$
4	Spurr	$\lambda_n v = \beta_0 + \beta_1 \cdot \lambda_n d^2 h$
5	Stoate	$v = \beta_0 + \beta_1 \cdot d + \beta_2 \cdot d^2 + \beta_3 \cdot d^2 h$
6	Meyer	$v = \beta_0 + \beta_1 \cdot d + \beta_2 \cdot h + \beta_3 \cdot d^2 + \beta_4 \cdot d^2 h + \beta_5 \cdot dh$
7	Berkhout	$v = \beta_0 \cdot d^{\beta_1}$
8	Husch	$\lambda_n v = \beta_0 + \beta_1 \cdot \lambda_n d$
9	Schumacher - Hall	$\lambda_n v = \beta_0 + \beta_1 \cdot \lambda_n d + \beta_2 \cdot \lambda_n h$

sendo:

$v$  = volume estimado (m<sup>3</sup>);

$d$  = Diâmetro a 1,30 m do solo (cm);

$h$  = Altura total da árvore (m);

$\lambda_n$  = Logaritmo neperiano;

$\beta_i$  = Parâmetros do modelo a serem estimados;

## 2.2.4 SELEÇÃO DO MELHOR MODELO

A seleção do melhor modelo foi baseada nos seguintes critérios estatísticos de escolha: coeficiente de determinação ajustado, erro padrão da estimativa em percentagem além da análise gráfica de resíduos.

O coeficiente de determinação ( $R^2$ ) expressa a quantidade de variação da variável dependente que é explicada pelas variáveis independentes. Quanto mais próximo de um for o valor do  $R^2$ , melhor terá sido o ajuste. Aqui foram utilizados os valores de  $R^2$  ajustado, obtidos diretamente do programa utilizado, pois, devido a este ajuste, são comparáveis entre si, em todos modelos, quaisquer que sejam o número de variáveis independentes.

O erro padrão da estimativa ( $S_{yx}$ ) é uma estatística que mede a dispersão média entre os valores observados e estimados ao longo da linha de regressão, sendo que, quanto mais baixo for o valor do  $S_{yx}$ , melhor terá sido a precisão das estimativas. Para melhor visualizar a magnitude foram utilizados os valores de  $S_{yx}$  em percentagem ( $S_{yx}\%$ ). Para os modelos onde a variável dependente sofreu transformação, é necessário ressaltar que se deve recalculer o erro padrão residual, para posterior comparação entre erros resultantes de modelos de diferentes naturezas.

Este recálculo foi feito da seguinte maneira:

$$S_{yx} \text{ recalculado} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (v_i - \hat{v}_i)^2}{(n - p)}}$$

Em que:

$S_{yx} \text{ recalculado}$  = erro padrão da estimativa em  $m^3$ ;

$v_i$  = volume observado ( $m^3$ );

$\hat{v}_i$  = volume estimado pelos modelos ( $m^3$ );

$n$  = número de dados;

$p$  = número de parâmetros estimados pelo modelo em questão.

Tendo em vista que os modelos cuja variável dependente sofreu transformação (logarítmicos), tem seus volumes estimados sujeitos ao efeito de discrepância logarítmica, antes do recálculo do erro padrão da estimativa deve-se corrigir esta distorção multiplicando o volume estimado de cada árvore por um fator de correção e só então fazer o cálculo para obtenção do  $S_{yx}$  recalculado.

Neste trabalho foi utilizado o fator de correção de Meyer:

$$\text{Fator de Meyer} = e^{0,5 \cdot (S_{yx}^2)}$$

onde:

$$e = 2,718281828$$

$$S_{yx} = \text{erro padrão da estimativa (m}^3\text{)}.$$

Mesmo sendo os estimadores de ajuste bons indicadores para a escolha do melhor modelo, tem-se como indispensável à análise gráfica de resíduos para a escolha em questão, pois esta detecta se há ou não tendenciosidade na estimativa da variável dependente ao longo da linha de regressão, se os resíduos são independentes e se há homogeneidade na variância. De acordo com DRAPER e SMITH (1996) o uso dos resíduos na forma relativa (percentagem), em função da variável dependente estimada, é o mais adequado para se ter uma melhor noção da dimensão das sub e superestimativas do valor real e a comparação entre os diversos modelos ajustados. Como a avaliação gráfica é subjetiva deve ser utilizada em conjunto com as estatísticas citadas anteriormente.

Para facilitar a escolha do melhor modelo, foi feito um ranqueamento (ordenamento) entre os 9 modelos testados, para os 6 tratamentos analisados. Segundo BARTOSZECK (2000) o objetivo deste “ranking” é saber qual modelo, em média, teve a melhor performance.

Analisando-se as estatísticas de precisão pertencentes a cada modelo para cada um dos tratamentos individuais, foi atribuída nota 1 à equação que

apresentou maior acuracidade quanto ao  $R^2_{aj.}$  e ao  $S_{yx}\%$ , nota 2 aquela que se apresentou em segundo lugar, e assim sucessivamente. Após esta classificação individual, foi feita uma soma desta pontuação, para a mesma equação em todos os tratamentos, uma a uma. No cômputo geral, a equação que recebeu o menor valor, após a análise gráfica de resíduos (se não tendenciosa), foi a equação recomendada como a mais adequada para o uso.

### 2.2.5 VALIDAÇÃO DO MELHOR MODELO

Depois de analisadas as estatísticas de ajuste ( $R^2_{aj.}$ ) e precisão ( $S_{yx}\%$ ) e procedida à análise gráfica de resíduos, selecionando-se assim o melhor modelo para estimar volumes para a região de estudo, foi realizada a validação da seguinte forma:

a) Tomando-se uma amostra independente de árvores cubadas no conjunto de dados (dentre os seis tratamentos);

b) Estimando-se o volume destas árvores utilizando-se a equação previamente selecionada; e

c) Comparando-se os volumes estimados com seus respectivos volumes reais, pelo teste de qui - quadrado ( $\chi^2$ ) de Pearson, com nível de probabilidade de 95%:

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^n \frac{\left( nY_i - n\hat{Y}_i \right)^2}{n\hat{Y}_i}$$

onde:

$\chi^2$  = qui - quadrado;

$Y_i$  = valor observado (real);

$\hat{Y}_i$  = valor estimado;

n = número da observações.

Se o valor calculado de  $\chi^2$  for menor que seu valor tabelado, ao nível de 95% de probabilidade, indicará que não existem diferenças significativas entre os volumes reais e estimados, sendo a equação válida para a região de estudo. Do contrário, ou seja, havendo diferenças significativas (valor de qui - quadrado calculado maior que o valor tabelado) entre os volumes, a equação deve ser rejeitada, ou seja, não é válida para estimativas volumétricas para a região em questão.

### 2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 2.3 é apresentada a caracterização de cada um dos tratamentos implantados nos plantios de *Eucalyptus grandis*.

TABELA 2.3 - CARACTERIZAÇÃO DOS TRATAMENTOS.

Trat	DAP (cm)			Altura Total (m)			Volume (m <sup>3</sup> )		
	Mínimo	Média	Máximo	Mínimo	Média	Máximo	Mínimo	Média	Máximo
A	8,00	10,5	14,00	10,50	12,71	15,60	0,02728	0,05334	0,10249
B	4,70	13,8	23,70	10,60	20,90	27,20	0,01235	0,18633	0,47391
C	5,00	14,0	24,00	7,00	21,73	30,70	0,01009	0,20592	0,60454
D	4,30	17,8	34,40	8,92	22,03	29,20	0,00740	0,30140	0,91630
E	5,40	20,4	35,90	11,50	27,42	38,50	0,01323	0,56737	1,58850
F	5,00	19,2	37,00	12,30	25,72	35,80	0,01196	0,47537	1,63797

Nas Tabelas 2.4 e 2.5 estão apresentados os resultados pertinentes aos ajustes dos 9 modelos tradicionais de estimativa de volume, com seus respectivos parâmetros estatísticos de precisão ( $R^2_{aj.}$ ,  $S_{yx}\%$  e F), para o tratamento A (com e sem casca). Os ajustes para os demais tratamentos estão apresentados nas Tabelas 2.11 A a 2.20 A do Anexo A.

Observa-se que para o tratamento A, com casca, de modo geral os 9 modelos testados apresentaram desempenho aceitável com valores de  $R^2_{aj.}$  variando de 0,9399 a 0,9735 para os modelos 1 e 4 respectivamente. O comportamento para o mesmo tratamento sem casca teve valores de  $R^2_{aj.}$  um pouco inferiores variando entre 0,9347 e 0,9712 para os modelos 1 e 4, respectivamente.

Todos os modelos apresentaram erro padrão da estimativa inferiores a 10%, para o ajuste com casca, variando de 5,87 % (modelo 4) a 8,55 % (modelo 1). Para o ajuste sem casca, o erro padrão da estimativa apresentou valores entre 6,13 % (modelo 3) e 8,99 % (modelo 1).

Nos tratamentos B, C, D, E e F, com e sem casca, (Tabelas 2.11 A a 2.20 A do Anexo A), os 9 modelos testados apresentaram desempenho superior ao do tratamento A nos ajustes com e sem casca, com  $R^2_{aj.}$  variando de 0,9609 (modelo 3 do tratamento D) a 0,9990 (modelo 9 do tratamento E), para o ajuste com casca e de 0,9562 (modelo 1 do tratamento D) a 0,9986 (modelo 9 do tratamento E), para o ajuste sem casca. O modelo 3 apresentou os piores valores de  $R^2_{aj.}$  para cinco dos tratamentos com casca e para quatro dos seis tratamentos sem casca.

Com relação ao  $S_{yx}\%$ , os resultados mostraram-se aceitáveis para a maioria dos modelos e tratamentos. Para os ajustes com casca, esta estatística variou entre 3,01% (modelo 6 do tratamento B) e 18,80% (modelo 8 do tratamento D). Para o ajuste sem casca os resultados obtidos foram aceitáveis variando entre 4,46% (modelo 6 do tratamento B) a 17,18% (modelo 1 do tratamento D), excetuando-se o valor obtido pelo ajuste do modelo 8 para o tratamento D, que resultou superior a 20% ou seja inaceitável para estimativas volumétricas.

Os resultados do teste F, obtidos nos ajustes com e sem casca, demonstram-se também aceitáveis variando entre 279,87 (modelo 6 tratamento A) e 36.423,88 (modelo 4 tratamento E), para o ajuste com casca e 261,04 (modelo 6 tratamento A) e 23.938,34 (modelo 4 tratamento E), para o ajuste sem casca. Esta estatística foi apresentada apenas como uma complementação das análises, porém ela não foi usada no "ranking" para a comparação entre os modelos testados.

TABELA 2.4 - COEFICIENTES E ESTATÍSTICAS PARA O TRATAMENTO A (IDADE 3 ANOS) COM CASCA.

Modelo	$\beta_0$	$\beta_1$	$\beta_2$	$\beta_3$	$\beta_4$	$\beta_5$	$R^2_{aj.}$	$S_{yx}$	$S_{yx\%}$	F
1	0,007410	-0,003484	0,000731				0,9399	0,00456	8,55	344,80
2	0,001710	0,000035					0,9715	0,00314	5,88	1.503,14
3		0,000036					0,9485	0,00315	5,91	1.485,86
4	-10,014430	0,971996					0,9735	0,05670	5,87	1.618,88
5	-0,011369	0,002266	-0,000064	0,000033			0,9707	0,00318	5,97	487,41
6	0,033634	-0,003531	-0,004484	0,000088	0,000013	0,000627	0,9694	0,00325	6,10	279,87
7	0,000181	2,401413					0,9423	0,00442	8,28	698,52
8	-8,635853	2,408244					0,9459	0,08105	8,47	770,31
9	-9,897060	1,997082	0,876713				0,9732	0,05700	5,92	801,24

TABELA 2.5 - COEFICIENTES E ESTATÍSTICAS PARA O TRATAMENTO A (IDADE 3 ANOS) SEM CASCA.

Modelo	$\beta_0$	$\beta_1$	$\beta_2$	$\beta_3$	$\beta_4$	$\beta_5$	$R^2_{aj.}$	$S_{yx}$	$S_{yx\%}$	F
1	0,004265	-0,002599	0,000596				0,9347	0,00398	8,99	315,88
2	0,001078	0,000030					0,9695	0,00272	6,15	1.398,05
3		0,000030					0,9469	0,00271	6,13	1.404,40
4	-10,270220	0,981347					0,9712	0,05974	6,14	1.486,17
5	-0,012178	0,002436	-0,000100	0,000029			0,9685	0,00276	6,24	451,95
6	0,131820	-0,022944	-0,011938	0,000998	-0,000062	0,002095	0,9673	0,00282	6,37	261,04
7	0,000146	2,413240					0,9372	0,00386	8,72	874,91
8	-8,864169	2,425348					0,9389	0,08710	8,92	676,54
9	-10,236397	1,977992	0,953889				0,9706	0,06042	6,21	726,53

### 2.3.1 ORDENAMENTO DOS MODELOS

Depois de analisados os comportamentos das estatísticas  $R^2_{aj.}$  e  $S_{yx}\%$ , confeccionou-se um "ranking", onde são apresentadas as pontuações dos índices de ajuste e precisão utilizados para a escolha do modelo que apresentou o melhor desempenho médio em todos os tratamentos.

Este "ranking" consistiu em atribuir valores de 1 a 9, tanto para o  $S_{yx}\%$  como para o  $R^2_{aj.}$ . Valores 1 foram atribuídos para o modelo de melhor ajuste e valores 9 para o de pior ajuste, para cada um dos tratamentos com e sem casca.

Observa-se na Tabela 2.6, para os ajustes com casca, que os modelos 1, 7, 8 e 3, de acordo com o ranqueamento, obtiveram as melhores pontuações. Os modelos 4, 9, 6 e 5 obtiveram os menores somatórios e conseqüentemente, em primeira análise, se caracterizam pela eficiência na estimativa do volume em média, para todos os tratamentos em questão.

Para os tratamentos sem casca (Tabela 2.7), os modelos 1, 8, 7 e 3, obtiveram as melhores pontuações. Os modelos 9, 4, 6 e 5 obtiveram os menores somatórios, fato que os caracteriza, em primeira análise, pela eficiência na estimativa do volume em média, para todos os tratamentos em questão.

Observando-se os "rankings" dos modelos, verificou-se que o modelo de Meyer (nº 6) e o modelo de Stoate (nº 5) foram os melhores quanto ao  $S_{yx}\%$ , tanto para o volume com casca quanto para o volume sem casca. Seguindo na pontuação os modelos de Spurr logaritimizado (nº 4) e o modelo de Spurr (nº2), para os tratamentos com casca. Para os modelos sem casca seguem na pontuação os modelos de Spurr (nº 2) e os modelos de Schumacher - Hall (nº 9) e de Spurr não centrado para média (nº 3).

Quanto aos valores de  $R^2_{aj.}$  o modelo Schumacher - Hall (nº 9) foi o melhor. Seguindo na pontuação o modelo de Spurr logaritimizado (nº 4) e os

modelos de Stoate (nº 5) e de Meyer (nº 6), foram as melhores tanto para o volume com casca como para o volume sem casca.

Baseando-se no ranqueamento inicialmente recomenda-se o uso da equação de Spurr logaritimizada (nº 4) para a estimativa de volumes para todos os tratamentos com casca e o modelo de Schumacher - Hall para a estimativa de volumes para todos os tratamentos sem casca.

Outro aspecto a considerar é sobre os modelos de simples entrada, tais como os de número 1, 7 e 8. Tanto para os tratamentos mais novos como para os tratamentos mais velhos, os  $R^2_{aj.}$  e os  $S_{yx}\%$  estão entre os piores. Então a medida em que os povoamentos vão se tornando mais velhos, tanto os  $R^2_{aj.}$  como os  $S_{yx}\%$  para essas três equações permanecem pouco alterados; portanto as equações cuja variável independente é apenas o DAP não são adequadas neste caso, para a estimativa de volumes, como se pode observar pelos resultados expostos nas Tabelas 2.11A a 2.20A do Anexo A.

TABELA 2.6 - RANKING DAS EQUAÇÕES DE VOLUME COM CASCA, TESTADAS QUANTO AO  $S_{YX}\%$  E AO  $R^2_{AJ.}$ 

Equação	Estatística	Tratamentos						$\Sigma$	Total
		A	B	C	D	E	F		
1	$R^2_{aj.}$	9	6	8	8	6	8	45	90
	$S_{vX\%}$	9	5	8	8	7	8	45	
2	$R^2_{aj.}$	3	5	5	6	5	6	30	53
	$S_{vX\%}$	2	4	3	5	5	4	23	
3	$R^2_{aj.}$	6	9	9	9	9	9	51	82
	$S_{vX\%}$	3	7	4	6	6	5	31	
4	$R^2_{aj.}$	1	4	2	1	2	2	12	32
	$S_{vX\%}$	1	6	5	3	4	1	20	
5	$R^2_{aj.}$	4	3	3	5	4	3	22	36
	$S_{vX\%}$	5	2	1	2	2	2	14	
6	$R^2_{aj.}$	5	1	4	4	3	4	21	35
	$S_{vX\%}$	6	1	2	1	1	3	14	
7	$R^2_{aj.}$	8	8	7	7	8	7	45	90
	$S_{vX\%}$	7	8	7	7	9	7	45	
8	$R^2_{aj.}$	7	7	6	3	7	5	35	87
	$S_{vX\%}$	8	9	9	9	8	9	52	
9	$R^2_{aj.}$	2	2	1	2	1	1	9	35
	$S_{vX\%}$	4	3	6	4	3	6	26	

TABELA 2.7 - RANKING DAS EQUAÇÕES DE VOLUME SEM CASCA, TESTADAS QUANTO AO  $S_{YX}\%$  E AO  $R^2_{AJ.}$ 

Equação	Estatística	Tratamentos						$\Sigma$	Total
		A	B	C	D	E	F		
1	$R^2_{aj.}$	9	6	8	9	7	8	47	93
	$S_{vX\%}$	9	5	8	8	8	8	46	
2	$R^2_{aj.}$	3	5	3	6	5	6	28	50
	$S_{vX\%}$	3	4	2	5	4	4	22	
3	$R^2_{aj.}$	6	9	9	8	9	9	50	75
	$S_{vX\%}$	1	6	1	6	6	5	25	
4	$R^2_{aj.}$	1	2	2	2	2	1	10	36
	$S_{vX\%}$	2	7	5	4	5	3	26	
5	$R^2_{aj.}$	4	4	4	5	4	4	25	40
	$S_{vX\%}$	5	2	3	2	2	1	15	
6	$R^2_{aj.}$	5	3	5	4	3	5	25	40
	$S_{vX\%}$	6	1	4	1	1	2	15	
7	$R^2_{aj.}$	8	7	7	7	6	7	42	85
	$S_{vX\%}$	7	8	7	7	7	7	43	
8	$R^2_{aj.}$	7	8	6	3	8	3	35	88
	$S_{vX\%}$	8	9	9	9	9	9	53	
9	$R^2_{aj.}$	2	1	1	1	1	2	8	33
	$S_{vX\%}$	4	3	6	3	3	6	25	

### 2.3.2 ANÁLISE DE RESÍDUOS

Nenhuma equação estimativa deve ser usada antes de se proceder a uma análise gráfica de resíduos, mesmo que os índices de ajuste ( $R^2$ ) e de precisão ( $S_{yx}$ ) sejam julgados satisfatórios (DRAPER & SMITH, 1966). Esta análise embora visual, é que realmente vai indicar se a estimativa é boa ao longo de toda a linha de regressão, se não há tendenciosidades em nenhum de seus segmentos e se a equação utilizada para as estimativas é realmente apropriada para tal fim.

Para estas análises foram construídos gráficos de análise de resíduos para as quatro equações ajustadas, melhores colocadas no ranqueamento, para cada um dos seis tratamentos com e sem casca. As Figuras 2.1 e 2.2 mostram as distribuições gráficas de resíduos, respectivamente para a equação 4 (Modelo de Spurr) e para a equação 9 (Modelo de Schumacher - Hall) para todos os tratamentos.

A Figura 2.1 corresponde à análise gráfica para a equação de Spurr (4) com casca, primeira colocada no “ranking” para estimativas de volumes individuais com casca, mostra uma boa distribuição dos resíduos para todos os tratamentos. A Figura 2.2 corresponde a análise gráfica para a equação de Schumacher - Hall (9) sem casca, primeira colocada no “ranking”, para estimativas de volumes individuais sem casca, mostra uma boa distribuição dos resíduos para todos os tratamentos. Portanto, estas equações são recomendadas para estimativas de volume com e sem casca, respectivamente, em média, para todos os tratamentos, uma vez que apresentaram estatísticas de ajuste e precisão satisfatórias (“ranking”) e estão livres de tendenciosidades ao longo de toda a linha de regressão.

Salientando-se que as análises realizadas para equações de Schumacher - Hall (nº 9) e de Spurr logaritimizada (nº 4), Figuras 2.3 e 2.4, segundas colocadas no ranqueamento para as estimativas volumétricas de todos os tratamentos com casca e sem casca respectivamente, mostraram a

inexistência de tendências, caracterizando, portanto uma segunda alternativa para as estimativas volumétricas de árvores com e sem casca.

Observando-se os gráficos de resíduos para as diferentes equações nos diferentes tratamentos, para esses quatro modelos, com e sem casca, de um modo geral esta análise mostrou a existência de tendenciosidade para os modelos 6 e 5, terceiro e quarto colocados no ranking respectivamente.

A análise gráfica de resíduos mostra que a distribuição dos resíduos, para a equação 6 (Figuras 2.5A e 2.6A do Anexo A), com e sem casca, apresenta tendências notadamente na menor classe de diâmetro (árvores com menores dimensões) dos tratamentos D (6,5 anos) e F (9,0 anos), subestimando os volumes das árvores pertencentes a menor classe diamétrica. Portanto, esta equação deve ser rejeitada para estimativas volumétricas, em média, para todos os tratamentos, uma vez que apresentam tendenciosidades ao longo de toda a linha de regressão.

A análise gráfica de resíduos mostra que a distribuição dos resíduos, para a equação 5 (Figuras 2.7A e 2.8A do Anexo A), com e sem casca, foi ruim para a maior parte dos casos, apresentando tendências notadamente na menor classe de diâmetro (árvores com menores dimensões) dos tratamentos B (4,5 anos), D (6,5 anos), E (7,5 anos) e F (9,0 anos), subestimando os volumes das árvores pertencentes a menor classe diamétrica, para estes quatro tratamentos. Portanto estas equações devem ser rejeitadas para estimativas volumétricas, para todos os tratamentos, uma vez que apresentam tendenciosidades ao longo de toda a linha de regressão.

FIGURA 2.1 - GRÁFICO DE DISPERSÃO DE RESÍDUOS EM % EM FUNÇÃO DOS VOLUMES ESTIMADOS PELA EQUAÇÃO 4 (SPURR), COM CASCA.

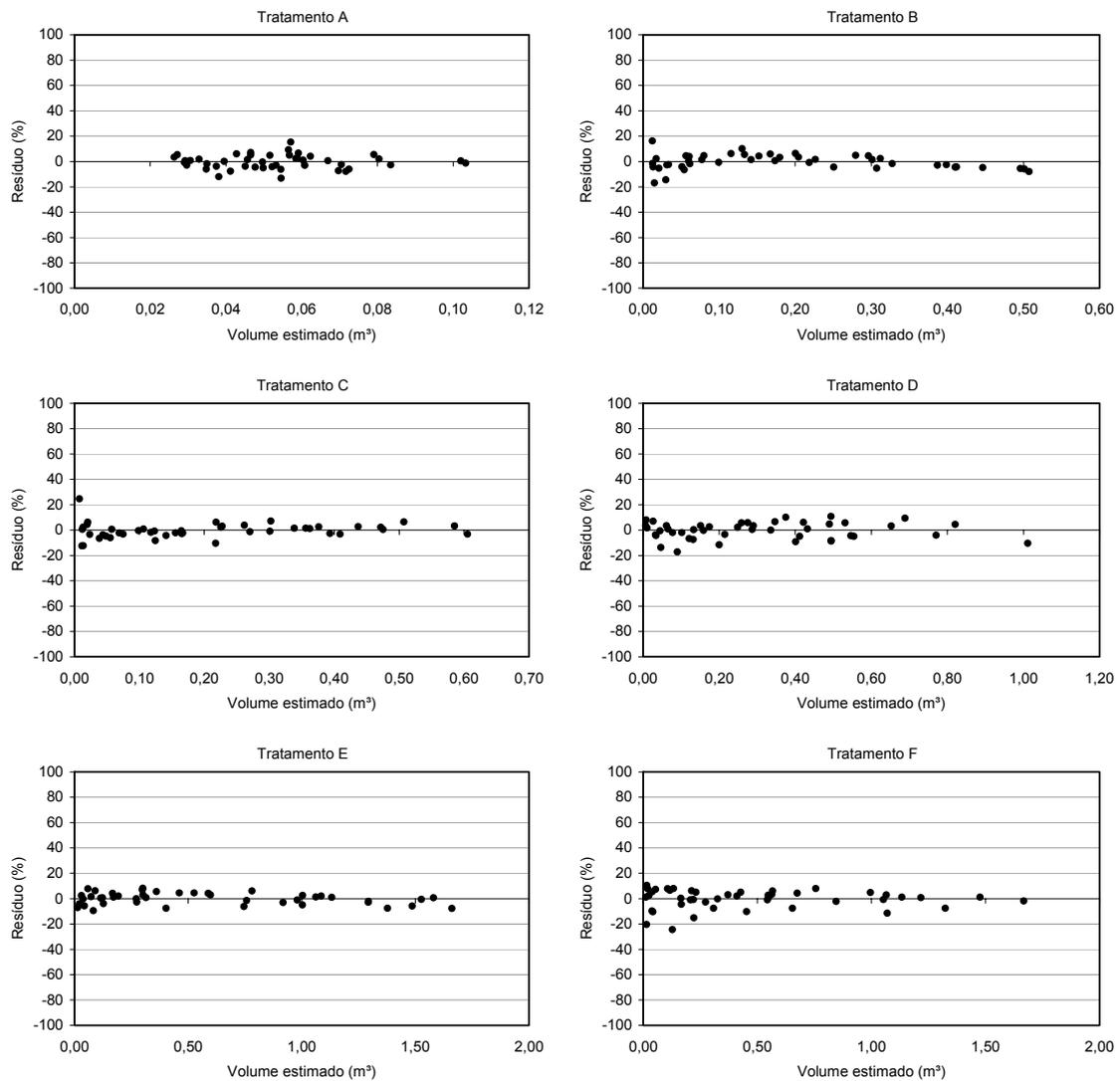


FIGURA 2.2 - GRÁFICO DE DISPERSÃO DE RESÍDUOS EM % EM FUNÇÃO DOS VOLUMES ESTIMADOS PELA EQUAÇÃO 9 (SCHUMACHER - HALL), SEM CASCA.

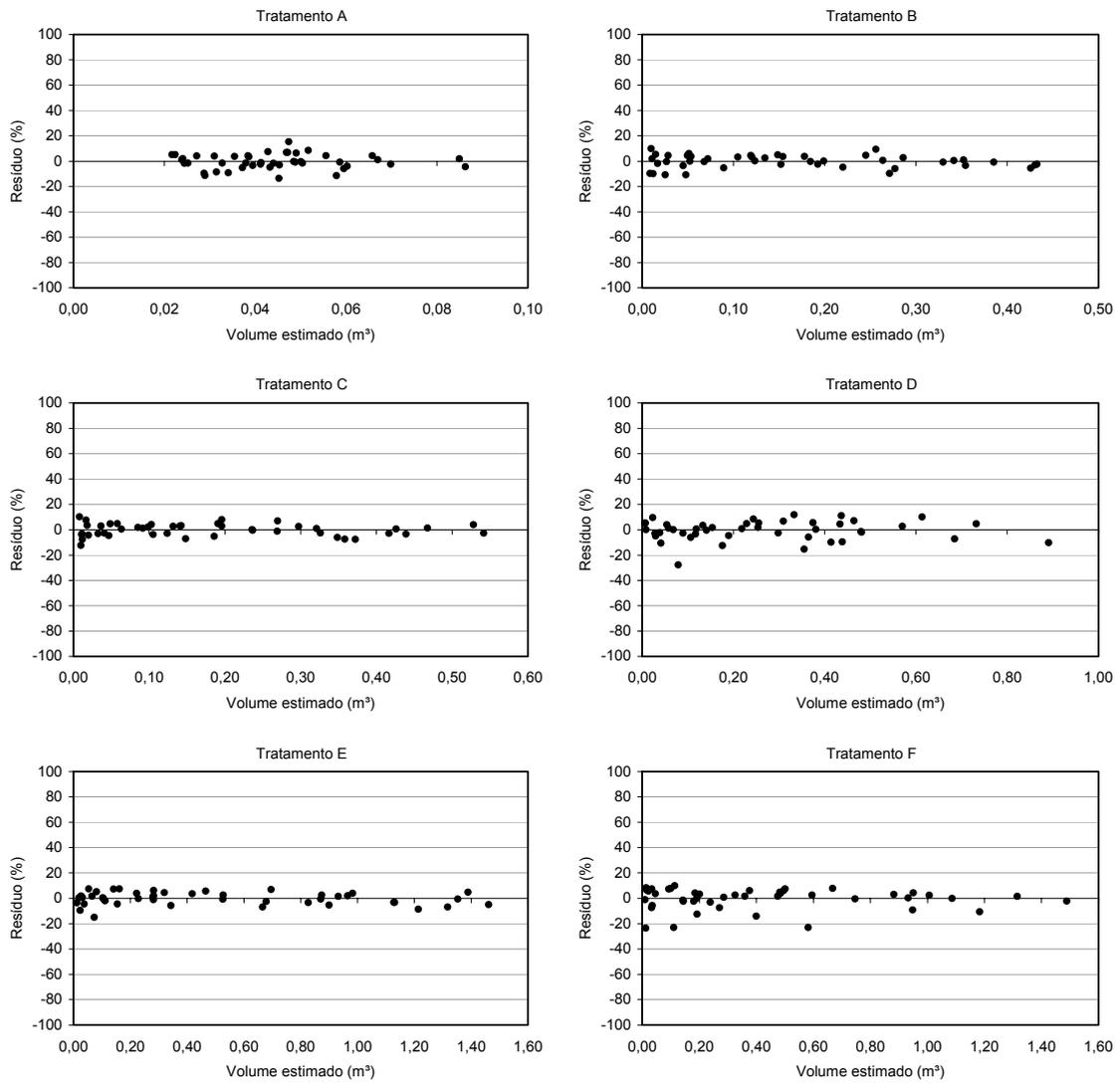


FIGURA 2.3 - GRÁFICO DE DISPERSÃO DE RESÍDUOS EM % EM FUNÇÃO DOS VOLUMES ESTIMADOS PELA EQUAÇÃO 9 (SCHUMACHER - HALL), COM CASCA.

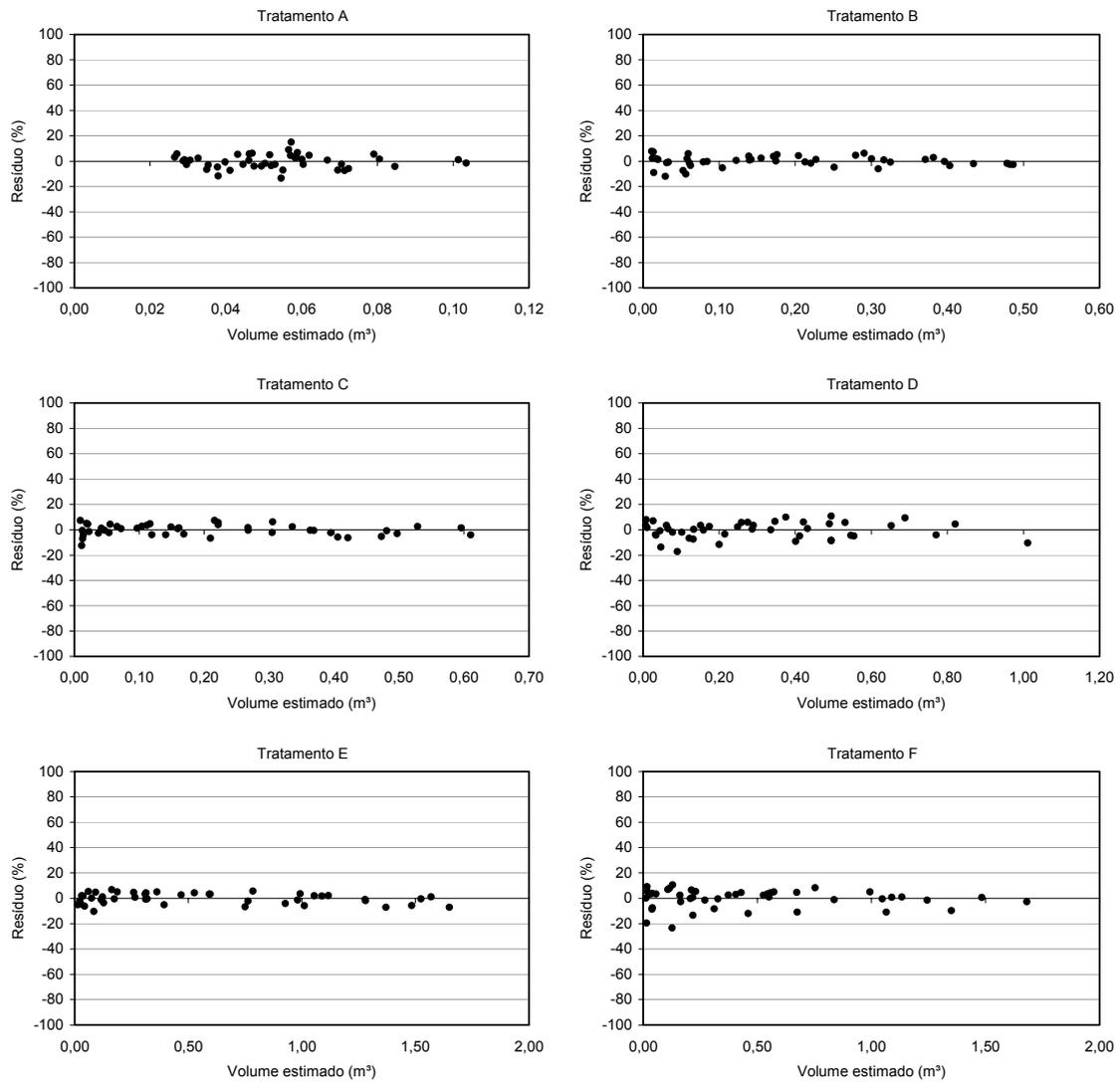
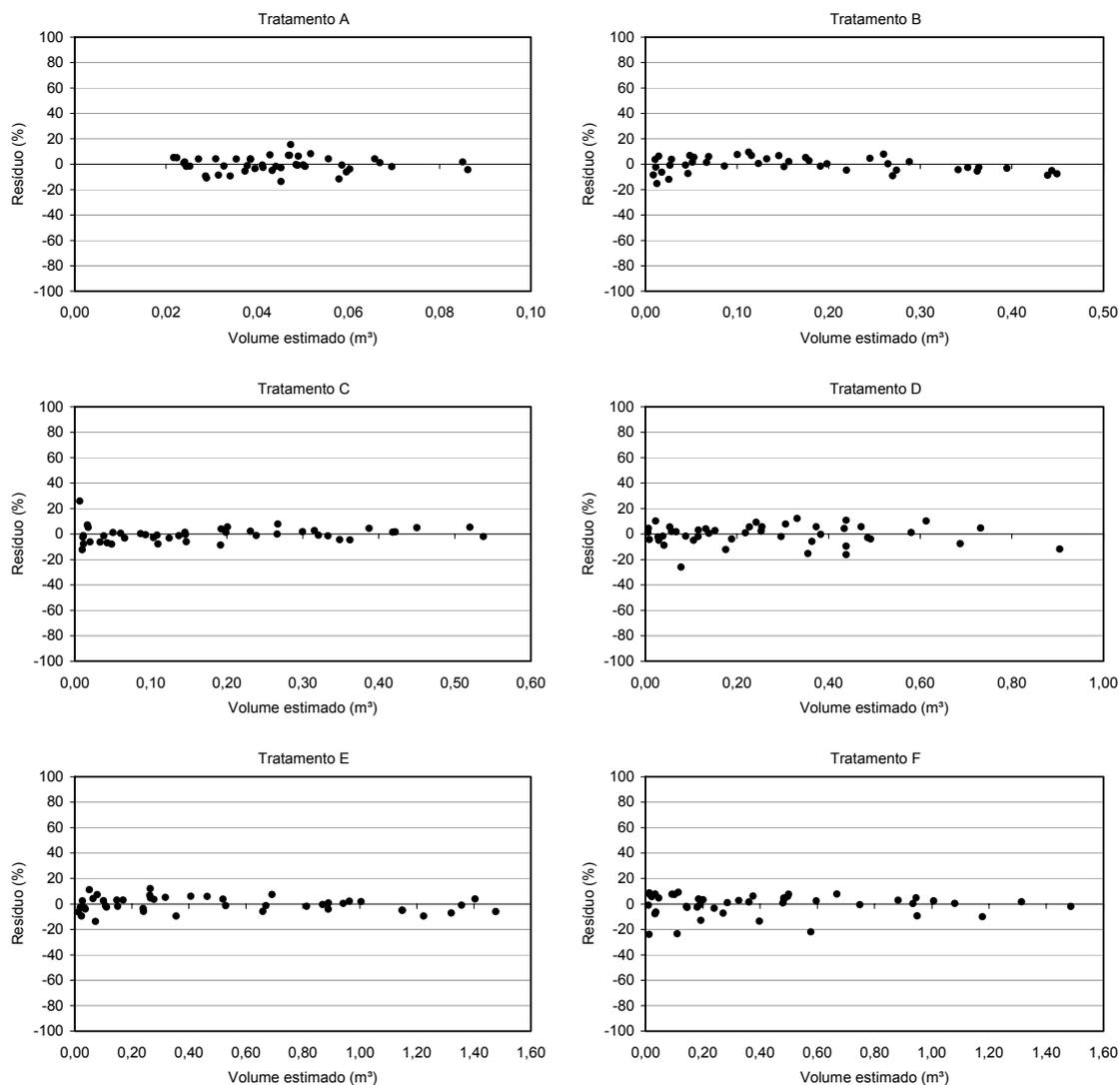


FIGURA 2.4 - GRÁFICO DE DISPERSÃO DE RESÍDUOS EM % EM FUNÇÃO DOS VOLUMES ESTIMADOS PELA EQUAÇÃO 4 (SPURR), SEM CASCA.



### 2.3.3 VALIDAÇÃO DO MELHOR MODELO

Após o ranqueamento (análise das estatísticas de ajuste e precisão) e da análise gráfica de resíduos as equações 4 (Spurr) e 9 (Schumacher - Hall), foram selecionadas como as melhores para as estimativas volumétricas médias de todos os tratamentos de *Eucalyptus grandis* com e sem casca, respectivamente.

As equações resultantes de cada tratamento (Tabela 2.8), foram submetidas ao teste de validação de  $\chi^2$ , comparando-se volumes observados e

estimados de árvores de amostras independentes do banco de dados utilizado nos ajustes, com e sem casca.

TABELA 2.8 - EQUAÇÕES OBTIDAS PARA CADA TRATAMENTO SUBMETIDAS AO TESTE DE VALIDAÇÃO ( $\chi^2$ ).

Tratamento	Com (C) ou Sem (S) casca	Coeficientes		
		$\beta_0$	$\beta_1$	$\beta_2$
A	C	-10,014430	0,971996	
A	S	-10,236397	1,977992	0,953889
B	C	-9,966714	0,968068	
B	S	-10,844231	1,737860	1,379306
C	C	-9,939262	0,964719	
C	S	-9,601311	2,175787	0,605147
D	C	-9,791697	0,941303	
D	S	-10,298614	1,834634	1,106038
E	C	-9,803100	0,953481	
E	S	-10,446274	1,729803	1,268475
F	C	-10,013124	0,974258	
F	S	-10,145816	1,993580	0,934104

Os resultados obtidos pelo cálculo do  $\chi^2$ , bem como seus valores tabelados para os níveis de 1 e 5% de probabilidade e sua significância, para todas as equações testadas, estão apresentados nas Tabelas 2.9 e 2.10.

TABELA 2.9 - VALORES DE QUI - QUADRADO CALCULADO E TABELADO, OBTIDOS PARA AS EQUAÇÕES TESTADAS PARA OS 6 TRATAMENTOS COM CASCA.

Tratamento	Graus de Liberdade	Qui-quadrado		
		Calculado	Tabelado	
			0,05	0,01
A	10	0,0031	18,3070	23,2093
B	49	0,0178	66,3387	74,9194
C	54	0,0249	72,1532	81,0688
D	88	0,0531	110,8980	121,7672
E	53	0,6503	70,9934	79,8434
F	59	0,1605	77,9305	87,1658

TABELA 2.10 - VALORES DE QUI - QUADRADO CALCULADO E TABELADO, OBTIDOS PARA AS EQUAÇÕES TESTADAS PARA OS 6 TRATAMENTOS SEM CASCA.

Tratamento	Graus de Liberdade	Qui-quadrado		
		Calculado	Tabelado	
			0,05	0,01
<b>A</b>	10	0,0025	18,3070	23,2093
<b>B</b>	49	0,0138	66,3387	74,9194
<b>C</b>	54	0,0342	72,1532	81,0688
<b>D</b>	88	0,0499	110,8980	121,7672
<b>E</b>	53	0,4844	70,9934	79,8434
<b>F</b>	59	0,1813	77,9305	87,1658

Confrontando-se os valores de  $\chi^2$  calculados para cada uma das equações, para cada um dos tratamentos com e sem casca, com os respectivos valores tabelados ao nível de probabilidade de 1 e 5%, verificou-se que nenhuma destas equações estimou volumes estatisticamente diferentes, a 1% de probabilidade, dos observados. Portanto, as equações obtidas a partir dos modelos de Spurr e de Schumacher - Hall, são válidas para estimativas volumétricas para todos os tratamentos, com e sem casca, testados neste estudo.

## 2.4 CONCLUSÕES

- Através do ranqueamento dos modelos tradicionais ajustados e da análise gráfica de resíduos para cada um dos tratamentos, com e sem casca, concluiu-se que o modelo 4 (Spurr logaritmo) e o modelo 9 (Schumacher - Hall), apresentaram em média, o melhor desempenho para estimar o volume total com e sem casca, respectivamente.

- Os volumes estimados pelas equações obtidas através do ajuste dos modelos de Spurr e de Schumacher - Hall, quando comparados aos volumes observados para cada um dos tratamentos com e sem casca não apresentaram diferenças estatísticas ao nível de 1% de probabilidade ao serem submetidas ao teste de  $\chi^2$ , sendo estas equações válidas para estimativas volumétricas de árvores *Eucalyptus grandis*, nas diferentes idades analisadas.

- Para os ajustes com e sem casca, os modelos de Hohenadl, Spurr, Berkhout e Husch, de acordo com o ranqueamento obtiveram as maiores pontuações. Sendo que os modelos de simples entrada de Hohenadl, Berkhout e Husch, obtiveram os piores  $R^2_{aj.}$  e  $S_{yx}\%$  tanto para os tratamentos mais novos como para os tratamentos mais velhos.

- Os dados, com e sem casca, provenientes da idade de 3 anos proporcionaram os piores ajustes, resultando nos menores valores de  $R^2_{aj.}$ , confirmando a baixa correlação entre a variável dependente e as variáveis independentes, também apresentaram os valores de  $S_{yx}\%$  médios mais elevados quando comparados com as demais idades.

- Os dados provenientes da idade 4,5 anos proporcionaram os melhores ajustes, tanto com casca como sem casca, resultando nos mais baixos valores de  $S_{yx}\%$  e valores de  $R^2_{aj.}$  entre os mais elevados, demonstrando que na idade 4,5 anos, foram obtidas as melhores estimativas volumétricas médias, dentre todas as demais idades.

## 2.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BARTOSZECK, A.C.P.S. **Evolução da relação hipsométrica e da distribuição diamétrica em função dos fatores idade, sítio e densidade inicial em bracatingais nativos da região metropolitana de Curitiba.** Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 2000. 83p. (Dissertação - Mestrado em Engenharia Florestal).

DRAPER, N.; SMITH, H. **Applied regression analysis.** New York: John Wiley & sons, 1966.497p.

DRESS, P.E. **Statistical and mathematic application in the construction and adjustment of standart cubic-foot volume tables.** Scholl of Forestry, Pennsylvania Sta. Univ., 1959. 69 p. (Tese de Mestrado).

GOLDING, D.L. & HALL, O.F. **A Test of precision of cubic-foot tree volume equation on Aspen, Jack Pine and White Spruce.** For. Chron., 37 (2): 123-132. 1961.

GOLFARI, L.; CASER, R.L.; MOURA, V.P.G. **Zoneamento ecológico esquemático para reflorestamento no Brasil.** Belo Horizonte: Centro de Pesquisa Florestal da Região do Cerrado, 1978. 66p.

PAULA NETO, F. de. **Tabela volumétrica com e sem casca para *Eucaliptus saligna*.** Viçosa. Rev. Árvore. SIF, 1 (1): 31-53, 1977.

SIQUEIRA, J.D.P. **Tabelas de volume para povoamentos nativos de *Araucaria angustifolia* (Bert) O, Ktze, no sul do Brasil.** Curitiba, Setor de Ciências Agrárias. Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, 1977. 163p. (Tese de Mestrado).

VEIGA, J.A.A. **Comparações de equações de volume para *Eucalyptus saligna* Smith I - Equações aritméticas não formais.** Curitiba, Revista Floresta, v. 4, nº 1, p. 81-94, 1972.

## CAPÍTULO 3

### ESTUDO DE MODELOS POLINOMIAIS QUE DESCREVEM O PERFIL DO FUSTE PARA DIFERENTES IDADES EM PLANTAÇÕES DE *Eucalyptus grandis* HILL EX-MAIDEN

#### RESUMO

O presente trabalho objetivou selecionar entre três modelos de afilamento o de melhor ajuste e precisão para estimativa do diâmetro ao longo dos fustes das árvores. Os dados utilizados, pertencentes a Duraflora S. A. de Agudos – SP, compõe-se de 589 árvores de *Eucalyptus grandis* Hill ex - Maiden distribuídas em 6 tratamentos com idades variando de 3 a 9 anos. Foram medidos diâmetros ao longo do fuste de todas as árvores, na altura de 0,1m, 1,3m e daí a cada 1m, 2m ou 2,5m, de acordo com o tratamento, até um diâmetro mínimo de 3cm e também a altura total. Em seguida foram ajustados os modelos: Polinomial do 2º grau, Polinomial do 5º grau e Polinômio de Potências Fracionárias. A seleção do melhor modelo foi baseada nas estatísticas de ajuste (coeficiente de determinação ( $R^2_{aj.}$ )), precisão (erro padrão da estimativa em percentagem ( $S_{yx}\%$ )) e posterior análise gráfica de resíduos e dos perfis estimados para detectar o modelo que proporcionou estimativas mais acuradas de diâmetro a diferentes alturas com e sem casca. Analisando-se os resultados concluiu-se que o melhor modelo para expressar, em média, os diâmetros ao longo das seções das árvores de *Eucalyptus grandis* Hill ex - Maiden, e que melhor descreve o perfil destas, foi o de Potência Fracionária.

Palavras - chave: Funções de Afilamento, ajuste de modelos, *Eucalyptus grandis*.

## ABSTRACT

The present research work aimed to select among three taper models the one of better adjustment and precision for estimate of the diameters along the stem the trees. The used data, belonging to Duraflora S. A. in Agudos - SP, is composed of 589 trees of *Eucalyptus grandis* Hill ex - Maiden distributed in 6 treatments with ages varying from 3 to 9 years. They were measured diameters along the stem of all the trees, at heights of 0,1m, 1,3m and at each 1m, 2m or 2,5m, in agreement with the treatment, until a minimum diameter of 3cm and also the total height. After the models Polinomial of the 2nd degree, Polinomial of the 5th degree and Polynomial of Fractional Power were adjusted. The selection of the best model was based on the adjustment statistics (determination coefficient ( $R^2_{aj.}$ )), precision (standart error of estimate in percent ( $Sy_x\%$ )) and posterior graphic analysis of residuals and of the estimated profiles to detect the model that provided estimates most accurated diameters at different heights with and without bark. After analyzing the results it was concluded that the best model to express, on the average, the diameters along the sections of the trees of *Eucalyptus grandis* Hill ex - Maiden, and that best describes the profile of these, is Fractional Power model.

Key words: Taper equations, adjustment of models, *Eucalyptus grandis*.

### 3.1 INTRODUÇÃO

Com a crescente valoração dos recursos florestais em face da diminuição da oferta de matéria prima com estas características, as florestas, principalmente, dos gêneros *Pinus* e *Eucalyptus* têm sido manejadas de forma a se obter no final da rotação: madeira para laminação, para serraria de vários tipos, para celulose e para energia/processo, de acordo com as demandas existentes em cada região, visando a obtenção da máxima valoração do recurso floresta.

A utilização de equações de afilamento é um dos métodos mais difundidos e utilizados para obtenção dos multiprodutos da madeira. Estas por integração resultam na estimativa do volume total e/ou comercial para diversos fins, ou seja, permite estimar o sortimento da madeira, possibilitando ainda a descrição do perfil do tronco ao longo da árvore.

A avaliação de sortimentos de florestas de produção é uma das ferramentas mais importantes no planejamento da utilização dos recursos florestais (planejamento da produção) e na avaliação do manejo empregado, permitindo quantificar e qualificar o estoque, classificando de acordo com as dimensões e qualidades, a matéria-prima.

Assim, este trabalho teve como objetivo testar diferentes modelos para descrever o perfil do tronco (estimativas de diâmetros a diferentes alturas) para árvores de *Eucalyptus grandis* Hill ex – Maiden e verificar o efeito da idade no desempenho das equações de afilamento.

## 3.2 MATERIAIS E MÉTODOS

### 3.2.1 CARACTERIZAÇÃO E LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

Os dados para desenvolver este estudo foram obtidos em plantios de *Eucalyptus grandis* Hill ex - Maiden, pertencentes à empresa Duraflora S.A., situada na região sudoeste do estado de São Paulo, no município de Agudos.

Conforme GOLFARI, CASER E MOURA (1978) esta região apresenta, como características básicas, a periodicidade de chuvas com invernos secos com deficiência hídrica. A precipitação anual está entre 1100 e 1400 mm. As geadas ocorrem com pouca frequência com temperatura média entre 16 e 19°C. O tipo de clima é submontano ou subtropical moderado úmido. O tipo de vegetação é Floresta Ombrófila Pluvial e campos submontanos e a altitude é de aproximadamente 900 metros.

### 3.2.2 COLETA DE DADOS

Foram obtidos os diâmetros à altura do peito e as respectivas alturas de 589 árvores, distribuídas em seis classes de idade (Tratamentos), que formaram o banco de dados utilizado neste estudo.

A especificação dos tratamentos implementados na área, suas respectivas idades e número de árvores cubadas podem ser observados na Tabela 3.1.

TABELA 3.1 - ESPECIFICAÇÃO DOS TRATAMENTOS

Tratamento	Idade (anos)	Número de Árvores Cubadas
A	3,0	56
B	4,5	95
C	6,1	100
D	6,5	134
E	7,5	99
F	9,0	105

Foram selecionadas 45 árvores por tratamento e dentro destes por classes de diâmetro, visando atingir o objetivo principal deste estudo que é a comparação de médias entre os diferentes métodos de estimativa de volume. As árvores não utilizadas, nesse primeiro momento, formaram um segundo banco de dados utilizado para a validação do melhor modelo volumétrico selecionado (Capítulo 2).

### 3.2.3 FUNÇÕES DE AFILAMENTO UTILIZADAS

As funções testadas foram os modelos de Prodan, Schöpfer e Peters (1971), o modelo baseado na função parabólica de Kozak *et al.* (1969), e o modelo de potência fracionária de Hradetzky (1976).

A seguir serão listadas as funções que foram ajustadas, apresentando a forma de trabalho das mesmas.

#### 3.2.3.1 Polinômio de 5º grau ou modelo de Prodan, Schöpfer e Peters (1971)

$$\frac{d_i}{DAP} = b_0 + b_1 \left( \frac{h_i}{h} \right) + b_2 \left( \frac{h_i}{h} \right)^2 + b_3 \left( \frac{h_i}{h} \right)^3 + b_4 \left( \frac{h_i}{h} \right)^4 + b_5 \left( \frac{h_i}{h} \right)^5 + e_i$$

onde:

$d_i$  = Diâmetro do fuste medido a uma altura  $h_i$  (cm);

$DAP$  = Diâmetro a 1,30 m de altura (cm);

$h_i$  = Altura medida ao longo do fuste (m);

$h$  = Altura total (m);

$b_i$  = Parâmetros do modelo a serem estimados;

$e_i$  = Erro de estimativa.

Passando-se o DAP para o lado direito da equação, tem-se:

$$d_i = DAP * \left( b_0 + b_1 \left( \frac{h_i}{h} \right) + b_2 \left( \frac{h_i}{h} \right)^2 + b_3 \left( \frac{h_i}{h} \right)^3 + b_4 \left( \frac{h_i}{h} \right)^4 + b_5 \left( \frac{h_i}{h} \right)^5 \right) + e_i$$

Pode-se então simplificar a expressão definindo:

$$x_i = \left( \frac{h_i}{h} \right)$$

Assim tem-se:

$$d_i = DAP \cdot (b_0 + b_1 x_i + b_2 x_i^2 + b_3 x_i^3 + b_4 x_i^4 + b_5 x_i^5) + \varepsilon_i$$

O volume de cada árvore foi obtido pela integral de:

$$v = K \int_{h_1}^{h_2} d_i \delta h$$

$$v = K \cdot DAP^2 \int_{h_1}^{h_2} (b_0 + b_1 x_i + b_2 x_i^2 + b_3 x_i^3 + b_4 x_i^4 + b_5 x_i^5)^2 + \varepsilon_i$$

onde:

$$K = \pi/40000$$

Portanto, antes de proceder à integração torna-se necessário elevar ao quadrado a expressão entre parênteses, definindo uma função de volume na seguinte forma:

$$v = K \cdot DAP^2 \left[ b_0^2 x_i + (b_0 b_1 x_i^2) + \left( \frac{2}{3} b_0 b_2 + \frac{1}{3} b_1^2 \right) x_i^3 + \left( \frac{1}{2} b_0 b_3 + \frac{1}{2} b_1 b_2 \right) x_i^4 + \right. \\ \left( \frac{2}{5} b_0 b_4 + \frac{2}{5} b_1 b_3 + \frac{1}{5} b_2^2 \right) x_i^5 + \left( \frac{1}{3} b_0 b_5 + \frac{1}{3} b_1 b_4 + \frac{1}{3} b_2 b_3 \right) x_i^6 + \\ \left( \frac{2}{7} b_1 b_5 + \frac{2}{7} b_2 b_4 + \frac{1}{7} b_3^2 \right) x_i^7 + \left( \frac{1}{4} b_2 b_5 + \frac{1}{4} b_3 b_4 \right) x_i^8 + \left( \frac{2}{9} b_3 b_5 + \frac{1}{9} b_4^2 \right) x_i^9 + \\ \left. \frac{1}{5} b_4 b_5 x_i^{10} + \frac{1}{11} b_5^2 x_i^{11} \right]_{h_1}^{h_2}$$

Quando h2 for igual à altura total e h1 for igual a zero, o volume total da árvore é obtido, tal como é utilizada uma equação de volume.

### 3.2.3.2 Polinômio de 2º grau ou modelo de Kozak *et al.* (1969)

$$\frac{di}{DAP} = \sqrt{b_0 + b_1 \left( \frac{h_i}{h} \right) + b_2 \left( \frac{h_i}{h} \right)^2} + \varepsilon_i$$

O volume de cada árvore foi obtido pela integral do modelo de Kozak, Munro & Smith:

$$v = K \cdot DAP^2 \left( b_0 (h_2 - h_1) + \frac{b_1 (h_2^2 - h_1^2)}{2h} + \frac{b_2 (h_2^3 - h_1^3)}{3h^2} \right)$$

### 3.2.3.3 Polinômio de potência fracionária ou modelo de Hradetzky (1976)

SCHOEPFER e PRODAN (1971) constataram que o polinômio de 5º grau, embora represente bem o perfil da árvore como um todo, não o representa tão bem na porção inferior, já que há mais irregularidade da forma e sinuosidade na base da árvore, que nas partes superiores. HRADEZKY (1976) sugeriu a utilização de potências inteiras para representar a base da árvore, em conjunto com as potências fracionárias para representar a porção superior do tronco.

$$\frac{di}{DAP} = b_0 + b_1 \left( \frac{h_i^{p1}}{h^{p1}} \right) + b_2 \left( \frac{h_i^{p2}}{h^{p2}} \right) + \dots + b_n \left( \frac{h_i^{pn}}{h^{pn}} \right) + \varepsilon_i$$

As potências que foram testadas para fins de construir o modelo pelo procedimento de “Stepwise” foram: 0,00001; 0,00005; 0,0001; 0,0002; 0,0004; 0,0006; 0,0007; 0,0009; 0,004; 0,005; 0,006; 0,007; 0,008; 0,009; 0,01; 0,02; 0,03; 0,04; 0,05; 0,06; 0,07; 0,08; 0,09; 0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5; 0,6; 0,7; 0,8; 0,9; 1; 2; 3; 4; 5; 10; 15; 20; 25; 30; 35; 40; 45; 50; 55; 60; 65; 70; 75; 85; 90 e 95.

Para ilustrar como o volume pode ser obtido por este procedimento utiliza-se como exemplo a expressão apresentada a seguir:

$$\frac{di}{DAP} = b_0 + b_1^{0,005} + b_2^{0,8} + b_3^2 + b_4^{25} + \varepsilon_i$$

onde:

$d_i$ ,  $DAP$ ,  $x_i$ ,  $b_i$  e  $e_i$ , já foram definidos anteriormente.

O volume pode então ser obtido da integral:

$$v = K \int_{h_1}^{h_2} d_i \delta h$$

$$v = K \cdot DAP^2 \int_{h_1}^{h_2} \left( b_0 + b_1 x_1^{0.005} + b_2 x_2^{0.8} + b_3 x_3^2 + b_4 x_4^{25} \right)^2 \delta h$$

A integral do modelo assume a forma:

$$v = K \cdot DAP^2 \left[ b_0^2 x_i + 2b_0 b_1 \left( \frac{x_i^{1.005}}{1.005} \right) + 2b_0 b_2 \left( \frac{x_i^{1.08}}{1.08} \right) + b_1^2 \left( \frac{x_i^{1.01}}{1.01} \right) + 2b_0 b_3 \left( \frac{x_i^3}{3} \right) + \right. \\ \left. 2b_1 b_2 \left( \frac{x_i^{1.805}}{1.805} \right) + 2b_0 b_4 \left( \frac{x_i^{26}}{26} \right) + 2b_1 b_3 \left( \frac{x_i^{3.005}}{3.005} \right) + b_2^2 \left( \frac{x_i^{2.6}}{2.6} \right) + 2b_1 b_4 \left( \frac{x_i^{26.005}}{26.005} \right) + \right. \\ \left. 2b_2 b_3 \left( \frac{x_i^{3.8}}{3.8} \right) + 2b_2 b_4 \left( \frac{x_i^{26.8}}{26.8} \right) + b_3^2 \left( \frac{x_i^5}{5} \right) + 2b_3 b_4 \left( \frac{x_i^{28}}{28} \right) + b_4^2 \left( \frac{x_i^{51}}{51} \right) \right]_{h_1}^{h_2}$$

Quando  $h_2$  for igual à altura total e  $h_1$  for igual a zero, o volume total da árvore é obtido, tal como é utilizada uma equação de volume.

É importante salientar que a forma da integral obtida varia de acordo com a alteração dos expoentes selecionados.

### 3.2.4 SELEÇÃO DO MELHOR MODELO

A seleção do melhor modelo foi baseada nos seguintes critérios estatísticos de escolha: coeficiente de determinação ajustado, erro padrão da estimativa em percentagem, além da análise gráfica de resíduos.

O coeficiente de determinação ( $R^2$ ) expressa a quantidade de variação da variável dependente que é explicada pelas variáveis independentes. Quanto mais próximo de um for o valor do  $R^2$ , melhor terá sido o ajuste. Aqui foram utilizados os valores de  $R^2$  ajustados, obtidos diretamente do programa

utilizado, pois, devido a este ajuste, são comparáveis entre si, em todos modelos, quaisquer que sejam o número de variáveis independentes.

O erro padrão da estimativa ( $S_{yx}$ ) é uma estatística que mede a dispersão média entre os valores observados e estimados ao longo da linha de regressão, sendo que, quanto mais baixo for o valor do  $S_{yx}$ , melhor terá sido o ajuste. Para melhor visualizar a magnitude foram utilizados os valores de  $S_{yx}$  em percentagem ( $S_{yx}\%$ ). Para os modelos onde a variável dependente sofreu transformação é necessário ressaltar que deve-se recalculá-las em função da variável de interesse, neste caso o  $d_i$ .

Este recálculo foi feito da seguinte maneira:

- Erro padrão da estimativa

$$S_{yx} \text{ recalculado} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (d_i - \hat{d}_i)^2}{(n - p)}}$$

em que:

$S_{yx} \text{ recalculado}$  = erro padrão da estimativa em  $m^3$ ;

$v_i$  = volume observado ( $m^3$ );

$\hat{v}_i$  = volume estimado pelos modelos ( $m^3$ );

$n$  = número de dados;

$p$  = número de parâmetros estimados pelo modelo em questão.

- Coeficiente de determinação

$$R^2_{\text{corrigido}} = \left[ 1 - \left( \frac{SQ_{\text{resíduo}}}{SQ_{\text{total}}} \right) \right]$$

onde:

$R^2_{\text{corrigido}}$  = Coeficiente de determinação corrigido para o  $d$ ;

$SQ_{\text{resíduo}}$  = Soma de quadrados dos resíduos;

$SQ_{\text{total}}$  = Soma de quadrados totais.

Apesar dos estimadores de ajuste serem bons indicadores para a escolha do melhor modelo, é indispensável à análise gráfica de resíduos para a escolha em questão, pois permite detectar se há ou não tendenciosidade na estimativa da variável dependente ao longo da linha de regressão, se os resíduos são independentes e se há homogeneidade na variância. De acordo com DRAPER e SMITH (1966) o uso dos resíduos na forma relativa (percentagem), em função da variável dependente estimada, é o mais adequado para se ter uma melhor noção da dimensão das sub e super estimativas do valor real e a comparação entre os diversos modelos ajustados. Como esta avaliação é subjetiva utiliza-se em conjunto com as estatísticas citadas anteriormente.

Para facilitar a escolha do melhor modelo, foi feito um ranqueamento entre os modelos testados, para os 6 tratamentos analisados. Segundo BARTOSZECK (2000) o objetivo deste “ranking”, é saber qual modelo teve a melhor performance nos 6 tratamentos.

Analisando-se as estatísticas de precisão pertencentes a cada modelo para cada um dos tratamentos individuais, foi atribuída nota 1 ao modelo que apresentou maior acuracidade quanto ao  $R^2$  e ao  $S_{yx}\%$  corrigidos, nota 2 àquele que se apresentou em segundo lugar, e nota 3 à terceira. Após esta classificação individual, foi feita uma soma desta pontuação, para a mesma função em todos os tratamentos, uma a uma. Na classificação geral, a equação que recebeu o menor valor, após a análise gráfica de resíduos (se não tendenciosa), será a equação recomendada como a mais adequada para o uso.

### 3.3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A Tabela 3.2 apresenta a caracterização de cada um dos tratamentos implementados nos plantios de *Eucalyptus grandis* – Hill ex - Maiden.

TABELA 3.2 - CARACTERIZAÇÃO DOS TRATAMENTOS.

Trat	DAP (cm)			Altura Total (m)			Volume (m <sup>3</sup> )		
	Mínimo	Média	Máximo	Mínimo	Média	Máximo	Mínimo	Média	Máximo
A	8,00	10,5	14,00	10,50	12,71	15,60	0,02728	0,05334	0,10249
B	4,70	13,8	23,70	10,60	20,90	27,20	0,01235	0,18633	0,47391
C	5,00	14,0	24,00	7,00	21,73	30,70	0,01009	0,20592	0,60454
D	4,30	17,8	34,40	8,92	22,03	29,20	0,00740	0,30140	0,91630
E	5,40	20,4	35,90	11,50	27,42	38,50	0,01323	0,56737	1,58850
F	5,00	19,2	37,00	12,30	25,72	35,80	0,01196	0,47537	1,63797

A Tabela 3.3 apresenta os expoentes selecionados através do procedimento de “stepwise”, para cada um dos 6 tratamentos com e sem casca.

TABELA 3.3 - EXPOENTES UTILIZADOS NO AJUSTE DO MODELO DA POTÊNCIA FRACIONÁRIA PARA CADA UM DOS TRATAMENTOS.

Tratamento	com (C) ou sem (S) casca	Expoentes			
		p1	p2	p3	p4
A	C	0,8	0,00001	3	
A	S	0,9	55	0,00001	
B	C	1	10	0,00001	5
B	S	1	10	0,00001	3
C	C	1	15	0,00001	10
C	S	1	10	0,00001	2
D	C	0,9	15	0,00001	5
D	S	1	10	0,00001	5
E	C	1	10	0,00001	4
E	S	1	10	0,00001	2
F	C	1	10	0,00001	15
F	S	1	10	0,00001	3

Analisando-se a Tabela 3.3 constatou-se que o expoente 0,00001 está presente em todos os modelos construídos, juntamente com os expoentes 0,8 e 0,9. Estas potências fracionárias são responsáveis pela maior precisão das estimativas na parte superior dos fustes (ponta das árvores). As potências de ordem unitária 1, 2, 3, 4 e 5, são responsáveis pela melhor performance nas estimativas da porção intermediária dos fustes. E as potências da ordem das

dezenas 10, 15 e 55 são responsáveis pelo melhor desempenho na porção inferior dos fustes.

A Tabela 3.4 apresenta os coeficientes obtidos através dos ajustes dos polinômios do 5º grau (modelo 1), Kozak (modelo 2) e Hradetzky (modelo 3). A Tabela 3.5 apresenta as estatísticas de ajuste e precisão recalculadas para a variável de interesse (di), resultantes do ajuste destes polinômios.

TABELA 3.4 - COEFICIENTES OBTIDOS ATRAVÉS DOS AJUSTES DOS POLINÔMIOS DO 5º GRAU (MODELO 1), KOZAK (MODELO 2) E HRADETZKY (MODELO 3).

Trat.	C ou S casca	Modelo	Coeficientes					
			$\beta_0$	$\beta_1$	$\beta_2$	$\beta_3$	$\beta_4$	$\beta_5$
A	C	1	1,311554	-4,924263	26,951959	-80,693712	106,901905	-49,547450
A	C	2	1,550724	-3,706578	2,170746			
A	C	3	1,741,091725	-0,786933	-1,739,983361	-0,321385		
A	S	1	1,137818	-3,464152	18,295745	-55,434233	73,660041	-34,195224
A	S	2	1,198434	-2,574826	1,384700			
A	S	3	1,157,156958	-0,775344	-0,227362	-1,156,154252		
B	C	1	1,164446	-2,825843	10,632938	-23,892989	24,310918	-9,390658
B	C	2	1,211498	-2,104039	0,929845			
B	C	3	1,438,809049	-0,721500	-0,073047	-1,437,806426	-0,207788	
B	S	1	1,046723	-2,022273	7,137033	-16,628265	17,257328	-6,791369
B	S	2	1,016458	-1,654232	0,651242			
B	S	3	954,468805	-0,632271	-0,110339	-953,528698	-0,197344	
C	C	1	1,173987	-3,150680	12,570662	-28,938359	30,296563	-11,954773
C	C	2	1,207023	-2,131683	0,976258			
C	C	3	1,578,490966	-0,735876	0,128537	-1,577,495300	-0,388420	
C	S	1	1,037419	-1,935084	6,997373	-17,033887	18,494991	-7,562459
C	S	2	1,001303	-1,583353	0,597074			
C	S	3	1,048299	-0,640207	-0,184678	-0,085755	-0,138146	
D	C	1	1,179648	-3,469224	12,639766	-26,361407	25,485841	-9,477153
D	C	2	1,243151	-2,492874	1,300822			
D	C	3	1,798,567439	-0,682598	-0,048591	-1,797,605234	-0,231581	
D	S	1	1,052992	-2,418310	8,090019	-17,008272	16,435979	-6,154672
D	S	2	1,026073	-1,890839	0,888427			
D	S	3	1,253,920396	-0,665573	-0,040653	-1,253,018286	-0,196603	
E	C	1	1,150060	-3,021177	12,132408	-27,539261	28,259086	-10,985626
E	C	2	1,151234	-1,904378	0,791621			
E	C	3	1,611,856267	-0,651054	-0,163498	-1,610,884187	-0,157948	
E	S	1	1,037293	-2,178694	8,490685	-19,982872	20,795354	-8,165900
E	S	2	0,978642	-1,491510	0,520745			
E	S	3	1,243,877918	-0,440755	-0,154532	-1,242,974946	-0,309115	
F	C	1	1,170271	-3,266715	12,784947	-28,011708	28,039051	-10,721474
F	C	2	1,174822	-2,033610	0,908974			
F	C	3	1,829,171826	-0,684627	-0,612852	-1,828,201502	0,327533	
F	S	1	1,029929	-2,067918	7,582345	-17,387182	17,836849	-6,998673
F	S	2	0,968691	-1,481662	0,523556			
F	S	3	1,151,468007	-0,548423	-0,125803	-1,150,560123	-0,235650	

TABELA 3.5 - ESTATÍSTICAS DE AJUSTE E PRECISÃO OBTIDAS ATRAVÉS DOS AJUSTES REALIZADOS PARA OS POLINÔMIOS DO 5º GRAU (MODELO 1), KOZAK (MODELO 2) E HRADEZKY (MODELO 3).

Trat.	C ou S casca	Modelo	Estatísticas				
			R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> <sub>aj.</sub>	S <sub>yx</sub>	S <sub>yx</sub> %	F
A	C	1	0,9893	0,9891	0,45865	5,15	4.323,2
A	C	2	0,9585	0,9582	0,94872	10,65	1.694,3
A	C	3	0,9894	0,9893	0,45512	5,11	6.582,8
A	S	1	0,9871	0,9868	0,44723	5,55	3.571,0
A	S	2	0,9712	0,9710	0,71763	8,90	2.371,0
A	S	3	0,9871	0,9869	0,44525	5,52	5.404,1
B	C	1	0,9918	0,9917	0,55029	5,37	11.911,6
B	C	2	0,9661	0,9660	1,03606	10,10	6.196,3
B	C	3	0,9926	0,9925	0,52430	5,11	15.722,9
B	S	1	0,9930	0,9930	0,45962	4,80	14.602,4
B	S	2	0,9821	0,9821	0,70609	7,37	11.616,0
B	S	3	0,9936	0,9936	0,44081	4,60	19.026,6
C	C	1	0,9947	0,9947	0,43177	4,14	21.073,1
C	C	2	0,9629	0,9628	1,10608	10,60	5.910,6
C	C	3	0,9957	0,9957	0,39148	3,75	30.714,1
C	S	1	0,9953	0,9953	0,37272	3,81	24.365,3
C	S	2	0,9853	0,9853	0,65906	6,74	14.637,7
C	S	3	0,9959	0,9959	0,34694	3,55	33.652,5
D	C	1	0,9886	0,9884	0,87710	7,81	5.938,8
D	C	2	0,9388	0,9385	1,97884	17,63	2.143,8
D	C	3	0,9890	0,9889	0,85877	7,65	7.433,3
D	S	1	0,9884	0,9882	0,81477	7,76	5.894,5
D	S	2	0,9633	0,9631	1,43438	13,67	8.541,9
D	S	3	0,9888	0,9887	0,79873	7,61	7.359,6
E	C	1	0,9925	0,9925	0,85744	5,78	15.892,1
E	C	2	0,9728	0,9727	1,44321	9,73	10.571,0
E	C	3	0,9929	0,9929	0,83312	5,62	20.146,9
E	S	1	0,9922	0,9922	0,79393	5,66	16.576,6
E	S	2	0,9855	0,9854	1,01865	7,26	19.360,8
E	S	3	0,9928	0,9927	0,76505	5,45	21.376,9
F	C	1	0,9908	0,9907	0,81817	5,81	14.919,8
F	C	2	0,9631	0,9630	1,58918	11,28	7.403,7
F	C	3	0,9924	0,9924	0,74154	5,26	21.753,0
F	S	1	0,9904	0,9903	0,76262	5,78	14.812,2
F	S	2	0,9821	0,9820	1,04297	7,90	15.128,4
F	S	3	0,9915	0,9915	0,71484	5,42	20.196,3

Observa-se que para o tratamento A, com casca, de um modo geral os três modelos testados apresentaram desempenho aceitável, com valores de R<sup>2</sup><sub>aj.</sub> variando de 0,9582 a 0,9893, para os modelos 2 e 3, respectivamente. O comportamento para o mesmo tratamento sem casca teve valores de R<sup>2</sup><sub>aj.</sub> variando entre 0,9710 e 0,9869, para os modelos 2 e 3 respectivamente.

Com relação ao erro padrão da estimativa, para este tratamento, os modelos apresentaram valores aceitáveis sempre inferiores a 11%, variando entre 5,11% (modelo 3) e 10,65% (modelo 2), para os ajustes com casca. Para os ajustes sem casca, estes valores mostraram-se sempre inferiores a 9%, variando entre 5,52% (modelo 3) e 8,90% (modelo 2).

Nos tratamentos B, C, D, E e F os três modelos testados apresentaram resultados semelhantes aos obtidos para o tratamento A, tanto com como sem casca, portanto aceitáveis, com valores gerais de  $R^2_{aj.}$  variando de 0,9385 (modelo 2 do tratamento D) a 0,9957 (modelo 3 do tratamento C), para o ajuste com casca e variando de 0,9631 (modelo 2 do tratamento D) a 0,9915 (modelo 3 do tratamento F), para o ajuste sem casca. Ressalta-se que o modelo 2 (Kozak) apresentou sempre os menores valores e o modelo 3 (Hradetzky) apresentou sempre os valores mais elevados de  $R^2_{aj.}$  para todos os tratamentos tanto com como sem casca.

Com relação ao  $S_{yx}\%$ , os resultados obtidos para os modelos 1 e 3 mostraram-se aceitáveis, para todos os tratamentos, com valores variando de 3,75% (modelo 3 do tratamento C) a 7,82% (modelo 1 do tratamento D), para os ajustes com casca e variando entre 3,55% (modelo 3 do tratamento C) e 7,72% (modelo 1 do tratamento D), para os ajustes sem casca.

Os resultados obtidos pelos ajustes do modelo 2 mostraram-se aceitáveis para os tratamentos A, B, C, E e F, com valores entre 9,73% (tratamento E) e 11,28% (tratamento F) para os ajustes com casca e com valores entre 6,74% (tratamento C) e 8,90% (tratamento A), para os ajustes sem casca.

Os ajustes deste modelo para o tratamento D, com valores de 17,63% para o ajuste com casca e 13,67% para o ajuste sem casca, mostraram-se inaceitáveis para estimativas da variável em questão ( $d_i$ ).

Os resultados de teste F, obtidos nos ajustes com e sem casca, demonstraram-se aceitáveis variando entre 1694,3 (modelo 2 do tratamento A) e 30.714,1 (modelo 3 do tratamento C), para o ajuste com casca e variando entre 2.371,0 (modelo 2 do tratamento A) e 33.652,5 (modelo 3 do tratamento C) para o ajuste sem casca. Os valores de F foram apresentados somente como uma complementação das análises, porém não utilizados no “ranking” para a comparação entre os modelos testados.

### 3.3.1 ORDENAMENTO DOS MODELOS

Depois de analisados os valores das estatísticas  $R^2_{aj.}$  e  $S_{yx}\%$ , foi realizado um ordenamento (“Ranking”), conforme Tabelas 3.6 e 3.7, onde são apresentadas as pontuações dos índices de ajuste e precisão utilizados para a escolha do modelo, que em média, teve o melhor desempenho para a estimativa dos diâmetros a diferentes alturas, para todos os tratamentos com e sem casca.

Este procedimento consistiu em atribuir valores de 1 a 3, tanto para o  $S_{yx}\%$  como para o  $R^2_{aj.}$ . Valores 1 foram atribuídos para o modelo de melhor ajuste e valores 3 para o de pior ajuste, para cada um dos tratamentos com e sem casca.

Observando-se o “ranking” dos modelos, para os ajustes com e sem casca, constantes nas Tabelas 3.6 e 3.7 respectivamente, verificou-se que o Polinômio da Potência Fracionária (nº 3) foi o melhor quanto ao  $S_{yx}\%$ , seguindo na pontuação o Polinômio do 5º grau (nº 1), e o Polinômio de Kozak (nº 2), tanto para as estimativas com casca quanto para as estimativas sem casca.

Observa-se nas Tabelas 3.6 e 3.7, que o modelo 2, de acordo com o ranqueamento, obteve a maior pontuação, fato que o descarta da possibilidade de uso; o modelo 3 obteve o menor somatório e conseqüentemente se caracteriza pela eficiência na estimativa dos diâmetros a diferentes alturas em média, para todos os tratamentos em questão. Salientando-se que o modelo 1 apesar da segunda colocação, não deve ser descartado antes de se proceder à análise gráfica de resíduos, pois apresentou valores estatísticos muito próximos às do Polinômio da Potência Fracionária.

Como a estatística  $S_{yx}$  é mais apropriada do que o  $R^2$  para a seleção de equações de regressão (DRAPER & SMITH, 1966), inicialmente recomenda-se o uso do Polinômio da Potência Fracionária para a estimativa dos diâmetros a diferentes alturas com e sem casca.

TABELA 3.6 - RANKING DAS FUNÇÕES DE AFILAMENTO TESTADAS QUANTO AO  $S_{YX}$  % E AO  $R^2_{AJ}$ , PARA OS 6 TRATAMENTOS COM CASCA.

Equações	Estatística	Tratamentos						$\Sigma$	Total	Colocação
		A	B	C	D	E	F			
1	$R^2_{aj.}$	2	2	2	2	2	2	12	24	2°
	$S_{yx}\%$	2	2	2	2	2	2	12		
2	$R^2_{aj.}$	3	3	3	3	3	3	18	36	3°
	$S_{yx}\%$	3	3	3	3	3	3	18		
3	$R^2_{aj.}$	1	1	1	1	1	1	6	12	1°
	$S_{yx}\%$	1	1	1	1	1	1	6		

TABELA 3.7 - RANKING DAS FUNÇÕES DE AFILAMENTO TESTADAS QUANTO AO  $S_{YX}$  % E AO  $R^2_{AJ}$ , PARA OS 6 TRATAMENTOS SEM CASCA.

Equações	Estatística	Tratamentos						$\Sigma$	Total	Colocação
		A	B	C	D	E	F			
1	$R^2_{aj.}$	2	2	2	2	2	2	12	24	2°
	$S_{yx}\%$	2	2	2	2	2	2	12		
2	$R^2_{aj.}$	3	3	3	3	3	3	18	36	3°
	$S_{yx}\%$	3	3	3	3	3	3	18		
3	$R^2_{aj.}$	1	1	1	1	1	1	6	12	1°
	$S_{yx}\%$	1	1	1	1	1	1	6		

### 3.3.2 ANÁLISE GRÁFICA DE RESÍDUOS

Nenhuma equação ajustada deve ser usada antes de se proceder a uma análise gráfica de resíduos, mesmo que os índices de ajuste ( $R^2$ ) e de precisão ( $S_{yx}$ ) sejam julgados satisfatórios (DRAPER & SMITH, 1966). Esta análise embora visual, é que realmente vai indicar se a estimativa é acurada ao longo de toda a linha de regressão, se não há tendenciosidades em nenhum de seus segmentos e se a equação utilizada para as estimativas é realmente apropriada para tal fim.

Por isso foram feitos gráficos de análise de resíduos, Figuras 3.1, 3.2, 3.3, 3.4, 3.5 e 3.6, para as três funções ajustadas para cada um dos seis tratamentos.

FIGURA 3.1 - GRÁFICO DE DISPERSÃO DE RESÍDUOS EM % EM FUNÇÃO DOS DIAMETROS A DIFERENTES ALTURAS ESTIMADOS PELA EQUAÇÃO 1 (POLINOMIO DO 5º GRAU), COM CASCA.

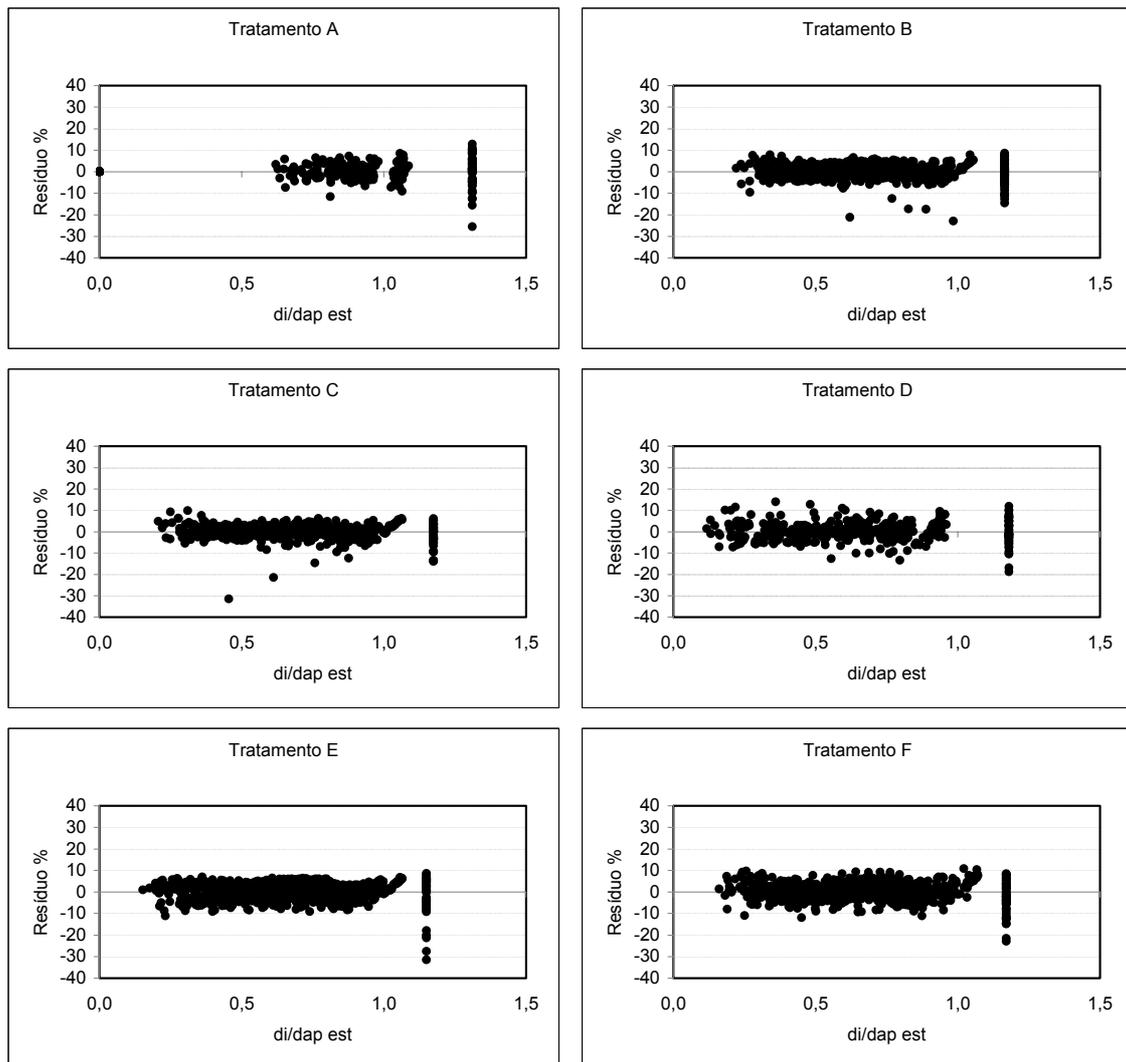


FIGURA 3.2 - GRÁFICO DE DISPERSÃO DE RESÍDUOS EM % EM FUNÇÃO DOS DIÂMETROS A DIFERENTES ALTURAS ESTIMADOS PELA EQUAÇÃO 2 (POLINOMIO DE KOZAK), COM CASCA.

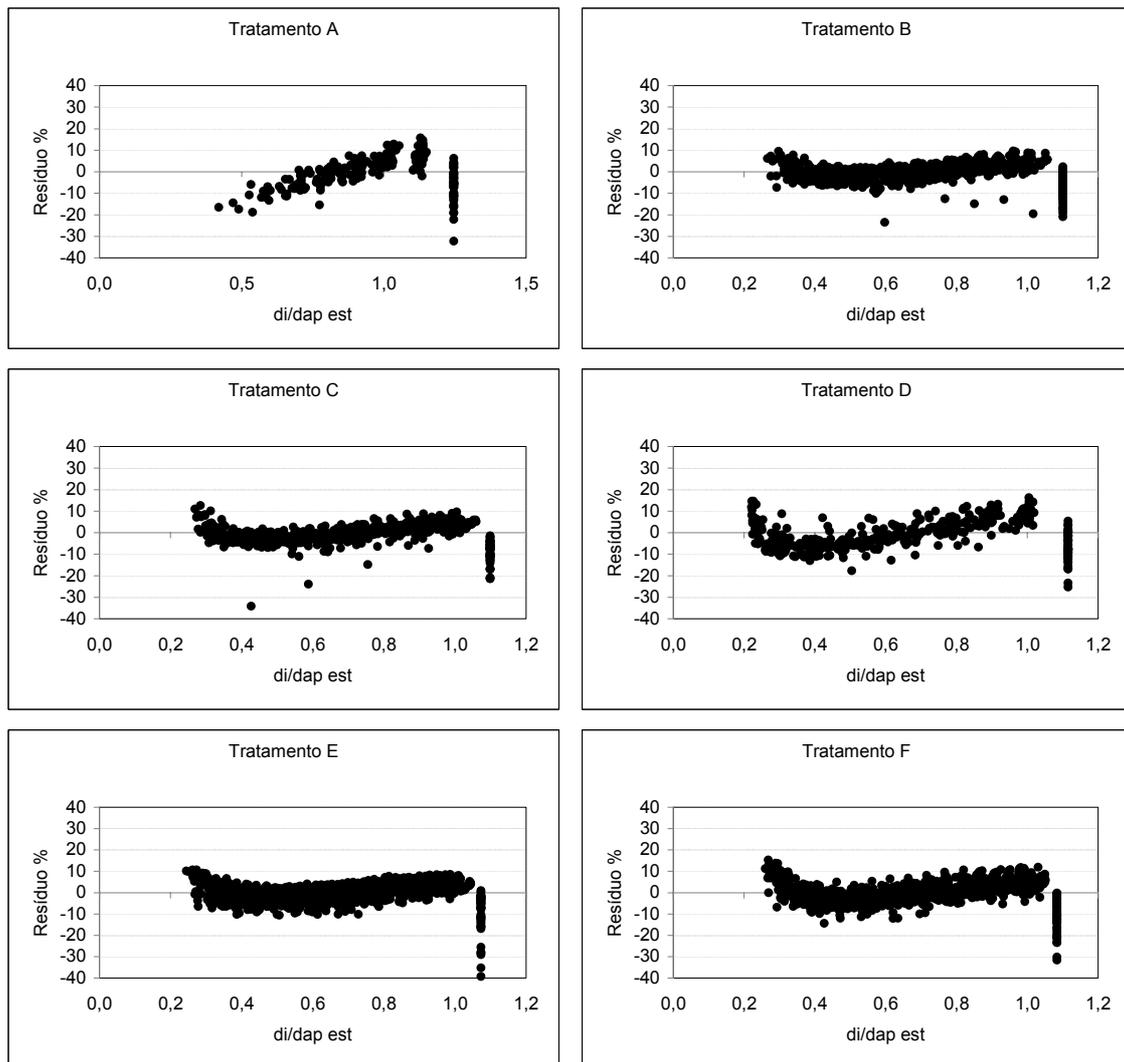


FIGURA 3.3 - GRÁFICO DE DISPERSÃO DE RESÍDUOS EM % EM FUNÇÃO DOS DIAMETROS A DIFERENTES ALTURAS ESTIMADOS PELA EQUAÇÃO 3 (POLINOMIO DE HRADETZKY), COM CASCA.

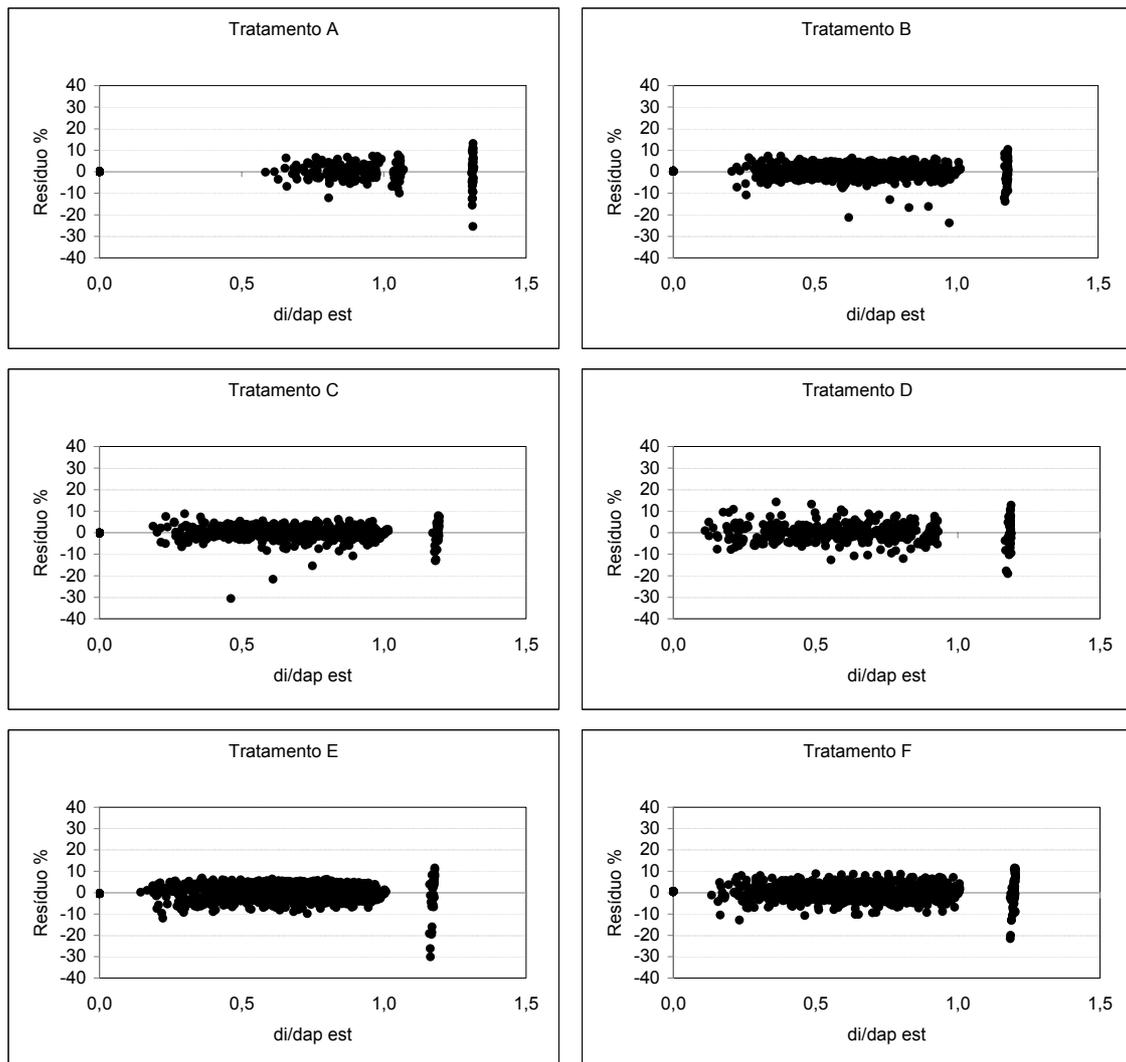


FIGURA 3.4 - GRÁFICO DE DISPERSÃO DE RESÍDUOS EM % EM FUNÇÃO DOS DIÂMETROS A DIFERENTES ALTURAS ESTIMADOS PELA EQUAÇÃO 1 (POLINOMIO DO 5º GRAU), SEM CASCA.

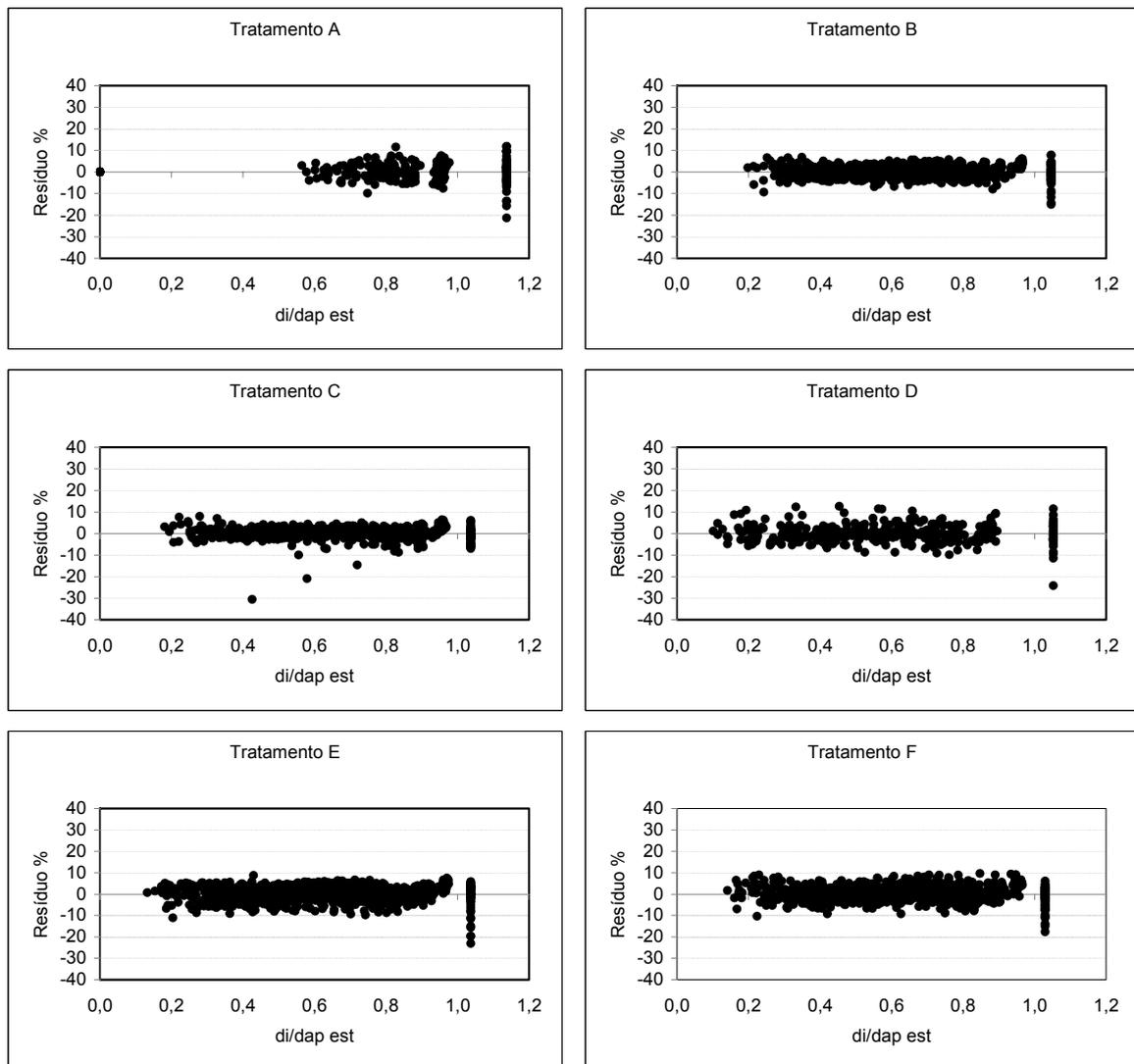


FIGURA 3.5 - GRÁFICO DE DISPERSÃO DE RESÍDUOS EM % EM FUNÇÃO DOS DIAMETROS A DIFERENTES ALTURAS ESTIMADOS PELA EQUAÇÃO 2 (POLINOMIO DE KOZAK), SEM CASCA.

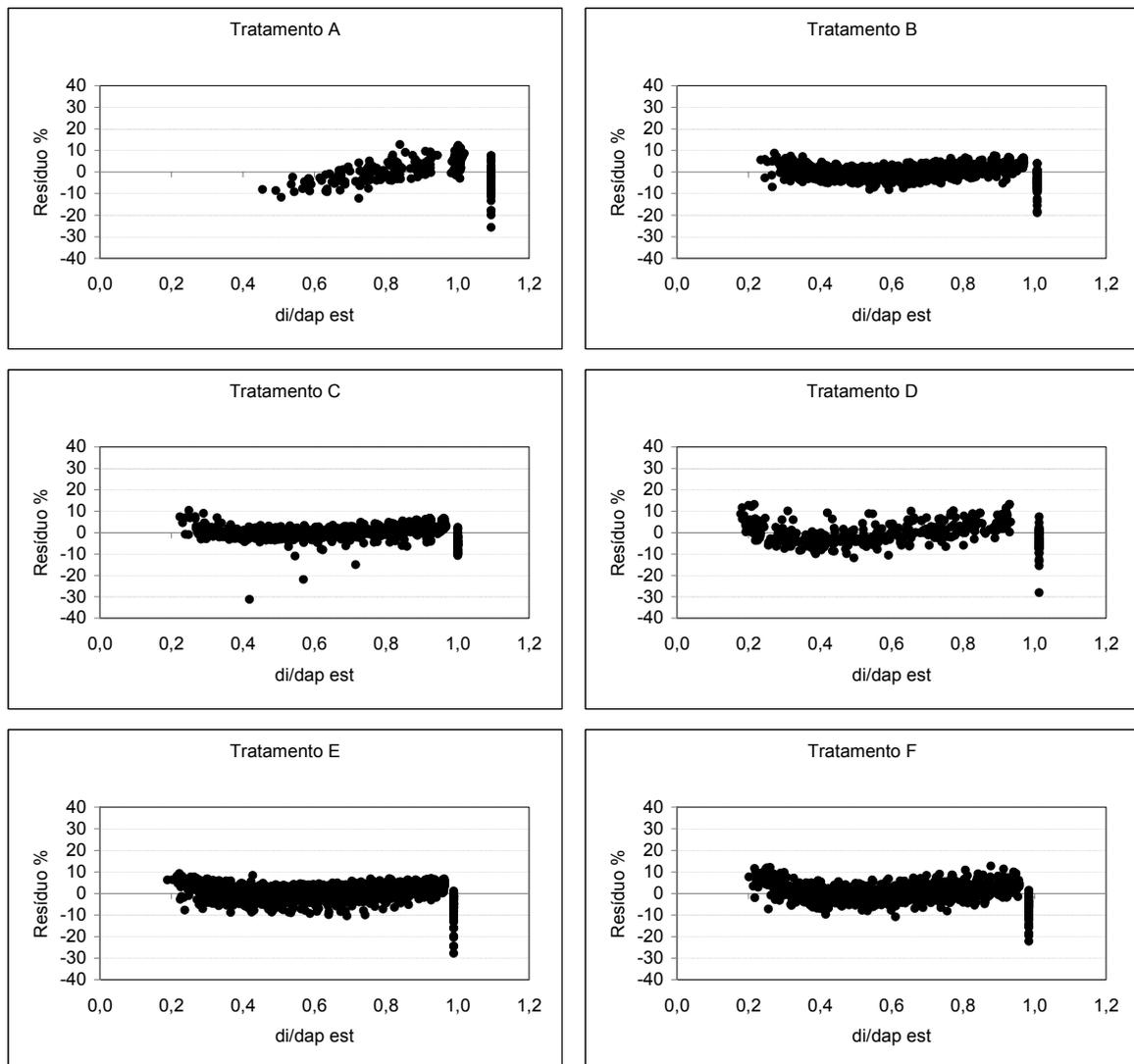
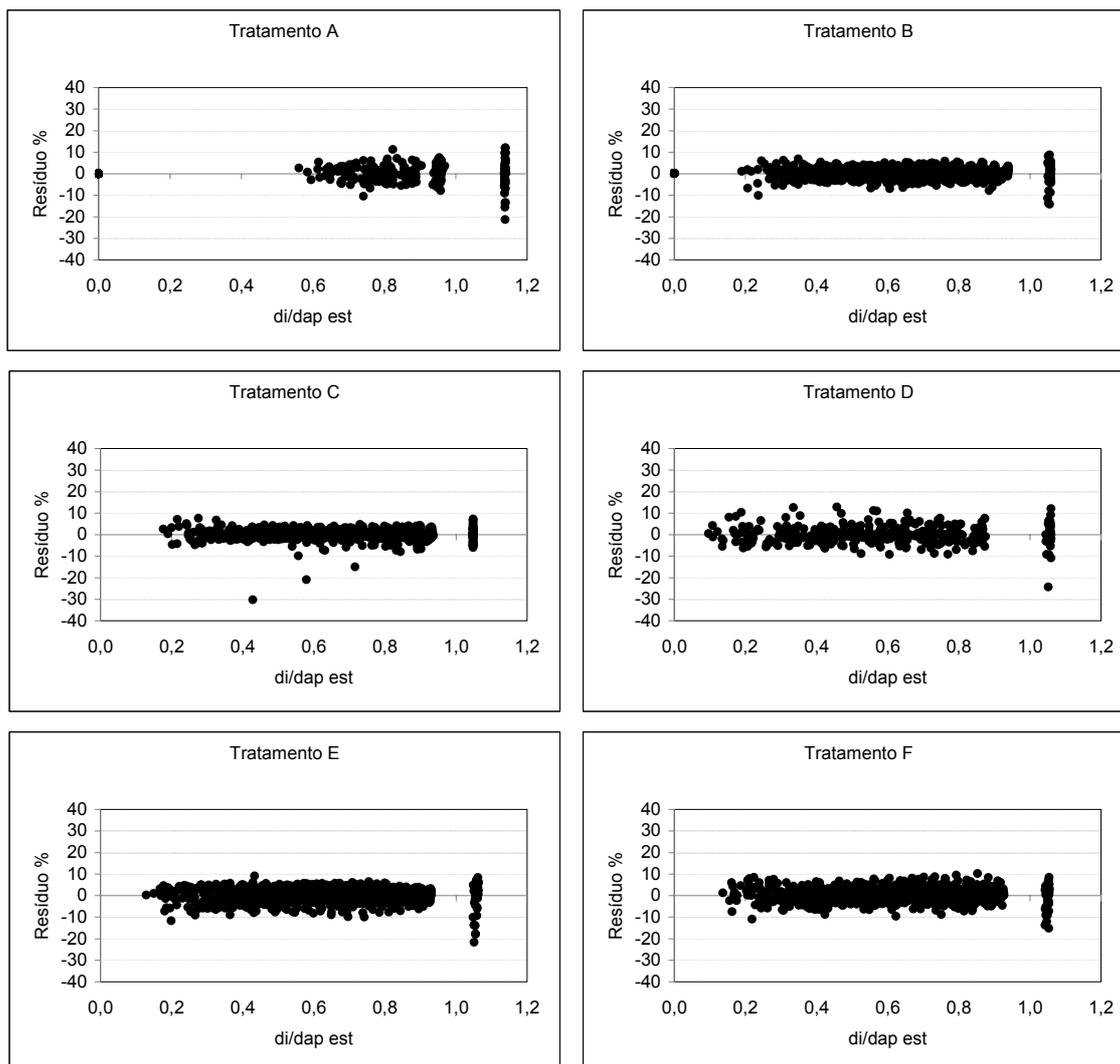


FIGURA 3.6 - GRÁFICO DE DISPERSÃO DE RESÍDUOS EM % EM FUNÇÃO DOS DIÂMETROS A DIFERENTES ALTURAS ESTIMADOS PELA EQUAÇÃO 3 (POLINOMIO DE HRADETSKY), SEM CASCA.



Observando-se os gráficos de resíduos para as diferentes equações nos diferentes tratamentos, com e sem casca, de um modo geral esta análise mostrou a inexistência de tendências nas estimativas oriundas das equações 3 e 1, primeira e segunda colocadas no ranking respectivamente, para todos os tratamentos com casca e sem casca, sendo o polinômio de Hradetzky recomendado para uso, não se descartando a possibilidade de utilização do polinômio do 5º grau.

Fato que não se verificou para a equação 2 (polinômio de Kozak), pois esta apresentou tendenciosidades para todos os tratamentos tanto com como sem casca, confirmando a sua inadequabilidade para as estimativas em

questão, como já detectado previamente através do ranqueamento, feito com as estatísticas de ajuste e precisão.

### 3.3.3 PERFIL MÉDIO DOS FUSTES

As Figuras 3.7 e 3.8 apresentam o perfil médio dos fustes estimados pelos três modelos de afilamento ajustados para os seis tratamentos com e sem casca respectivamente.

FIGURA 3.7 - PERFIL MÉDIO DOS FUSTES ESTIMADOS PELAS TRÊS FUNÇÕES DE AFILAMENTO TESTADAS (POLINOMIOS DO 5º GRAU, KOZAK E HRADEZKY), PARA OS 6 TRATAMENTOS COM CASCA.

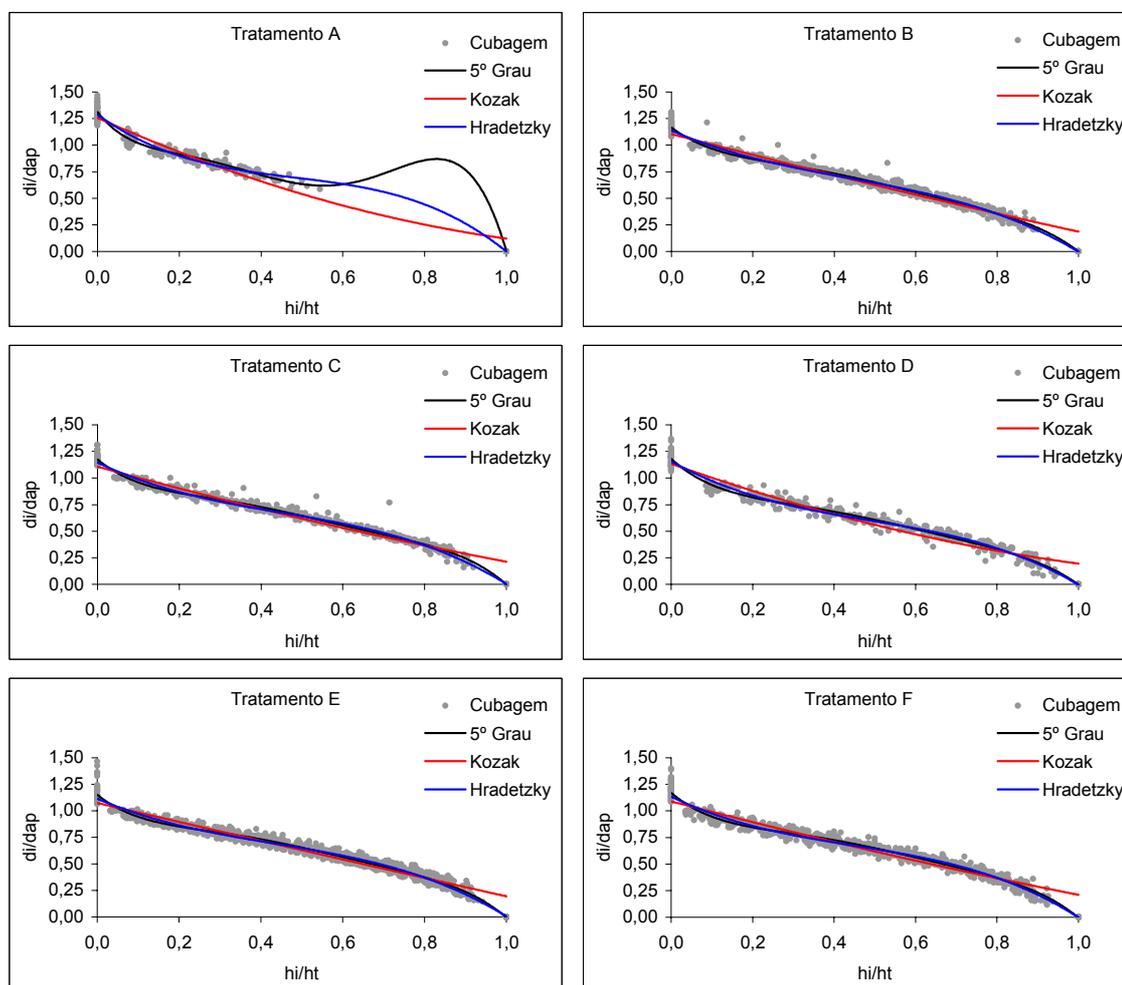
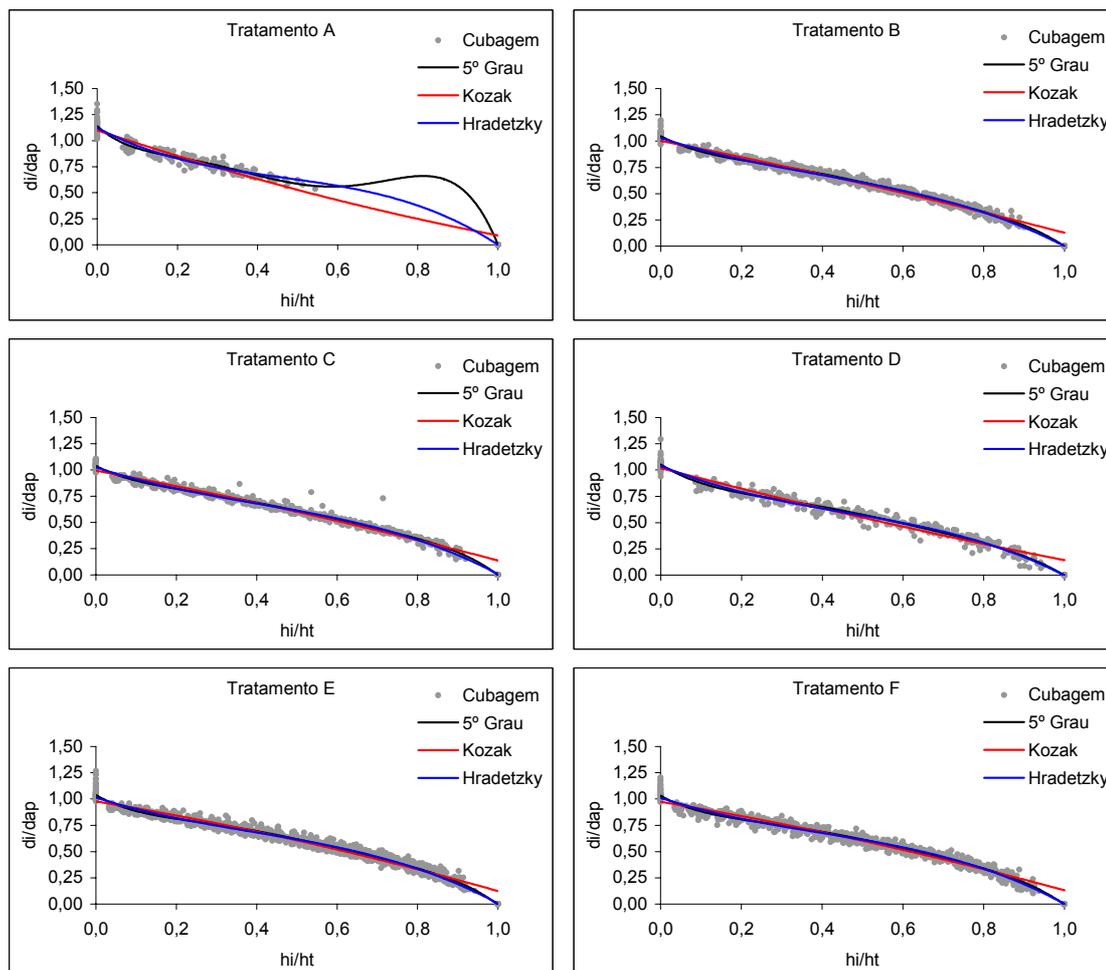


FIGURA 3.8 - PERFIL MÉDIO DOS FUSTES ESTIMADOS PELAS TRÊS FUNÇÕES DE AFILAMENTO TESTADAS (POLINÔMIOS DO 5º GRAU, KOZAK E HRADETZKY), PARA OS 6 TRATAMENTOS SEM CASCA.



A análise gráfica do perfil dos fustes estimados pelas equações confirma a superioridade do polinômio de potência fracionária, pois este não mostrou tendências na descrição do perfil dos fustes para nenhum dos tratamentos analisados com e sem casca.

O polinômio do 5º Grau mostrou-se inadequado com tendenciosidade acentuada para estimativas do perfil dos fustes das árvores pertencentes ao tratamento A (com e sem casca), composto por árvores mais jovens e de pior forma (maior conicidade), apresentando tendências, principalmente na porção superior dos fustes, superestimando os diâmetros a partir de 50% da árvore; este fato também pode ser resultante do baixo número de diâmetros coletados

a partir da metade das árvores pelas dimensões diminutas ( $< 3\text{cm}$ ), e/ou pela ausência de expoentes fracionários no modelo.

Para os demais tratamentos este modelo apresentou estimativas acuradas, confirmando o resultado do ranqueamento, podendo ser utilizado para estimativas do perfil dos troncos destes tratamentos (B, C, D, E e F).

O Polinômio de Segundo Grau ou de Kozak, apresentou tendências, subestimando e/ou superestimando as estimativas diamétricas, para todos os tratamentos analisados, confirmando o resultado obtido no ordenamento e na análise gráfica dos resíduos, mostrando-se inadequado para estimativa dos diâmetros a diferentes alturas para a base de dados utilizada neste estudo.

### 3.4 CONCLUSÕES

- Através do ordenamento dos modelos tradicionais ajustados separadamente para cada um dos 6 tratamentos, da análise gráfica de resíduos e da análise do perfil dos fustes estimados, para os mesmos, com e sem casca, concluiu-se que o modelo de Hradetzky (1976), apresentou em média o melhor desempenho, para estimar diâmetros ao longo dos fustes, seguido do modelo Prodan, Schöepfer e Peters (1971) (Polinômio do 5º Grau).

- O polinômio do 5º Grau, apesar de segundo colocado no ranqueamento, apresentou tendenciosidade acentuada nas estimativas para o Tratamento A (com e sem casca), composto por árvores mais jovens e de pior forma (maior conicidade), devendo ser descartado de uso para estimativas diamétricas em povoamentos com estas características (3 anos).

- O modelo de Kozak et al. (1969) apresentou as piores estatísticas de ajuste e precisão, mostrando-se ineficiente para estimar o diâmetro com e sem casca em todas as idades, além de apresentar tendenciosidades ao longo de todo o perfil dos fustes, conforme detectado nas análises gráficas.

- Para o modelo de Hradetzky, a variação da idade entre os tratamentos não apresentou influência significativa, pois sua forma de construção permite que a função se adeque as características da base de dados.

### 3.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMATEIS, R. L.; BURKHART, H. E. Cubic-foot volume equations for loblolly pine trees in cutover site-prepared plantations. **Southern Journal of applied Forestry**, Washington, v. 11, nº 4, p. 190-192, nov. 1987.

ASSIS, A. L. **Avaliação de Modelos Polinomiais Segmentados e Não-segmentados na Estimativa de Diâmetros e Volumes Comerciais de *Pinus taeda***. Lavras. Universidade Federal de Lavras. 2000 (Dissertação – Mestrado em Engenharia Florestal)

BARTOSZECK, A.C.P.S. **Evolução da relação hipsométrica e da distribuição diamétrica em função dos fatores idade, sítio e densidade inicial em bracatingais nativos da região metropolitana de Curitiba**. Curitiba. Universidade Federal do Paraná, 2000. 83p. (Dissertação - Mestrado em Engenharia Florestal).

CLUTTER, J.L. **Development of taper functions from variable-top merchantable volume equations**. Forest Science, Washington, v. 26, nº 1, p. 117-120, 1980.

DRAPER, N; SMITH, H. **Applied regression analysis**. New York: John Wiley & Sons, 1966. 467p.

FISCHER, F. **Eficiência dos Modelos Polinomiais e das Razões de Volume na Estimativa Volumétrica dos Sortimentos e do Perfil do Fuste de *Pinus taeda***. Lavras: UFLA 1997. 167p. (Dissertação – Mestrado em Engenharia Florestal).

GOLFARI, L.; CASER, R.L.; MOURA, V.P.G. **Zoneamento ecológico esquemático para reflorestamento no Brasil**. Belo Horizonte: Centro de Pesquisa Florestal da Região do Cerrado, 1978. 66p.

HRADETZKY, J. **Analyse und interpretation statistischer abhangigkeiten. (Biometrische Beitrage zu aktuellen forschung projekten)**. Baden:

Württemberg Mitteilungen der FVA, 1976. 146p. (Abt. Biometric und Informatik, 21).

KOZAK, A.; MUNRO, D. P.; SMITH, J. H. G. **Taper functions and their application in forest inventory**. Forest Chronicle, Toronto, v. 45, n. 4, p. 278 – 283, 1969.

PRODAN, M. **Holzmesslehre**. Frankfurt am main J.D. Souerlanders Verlag, 1965. 644p.

ROSOT, M. A. D. **Estudo Comparativo de Métodos para Avaliação Volumétrica por Unidade de Área em Povoamentos de *Pinus taeda* L.** Curitiba: UFPR, 1989. 163p. (Dissertação - Mestrado em Engenharia Florestal).

## CAPÍTULO 4

### COMPARAÇÃO DE MÉTODOS DE ESTIMATIVA DE VOLUME PARA *Eucalyptus grandis* Hill ex-Maiden EM DIFERENTES IDADES

#### RESUMO

Esta pesquisa visa comparar os volumes obtidos pelos métodos de Smalian, fator de forma, equação de volume e função de afilamento. Os dados usados compõem-se de 589 árvores distribuídas em 6 diferentes idades (Tratamentos), pertencentes a Duraflora S. A. de Agudos - SP. As árvores foram cubadas e calculados os seus respectivos volumes reais com e sem casca, através do método de Smalian. Baseando-se nos fatores de forma médios obtidos (Capítulo 1), foram estimados os volumes individuais e posteriormente as médias por tratamento com e sem casca. Através de equações volumétricas, previamente ajustadas (Capítulo 2), foram estimados os volumes individuais e posteriormente calculadas as médias por tratamento com e sem casca. Também baseando-se na melhor equação de afilamento (Capítulo 3), foram calculados os volumes médios por tratamento. Depois de calculados e estimados os volumes individuais pelos diferentes métodos e obtidas as respectivas médias por tratamento com e sem casca, foram utilizados o Teste de Bartlett, Análise de Variância e Teste de Tukey para realizar a comparação de médias volumétricas por classe de idade, tendo os volumes médios obtidos através do método de Smalian como testemunha. A análise de variância mostrou a inexistência de diferenças significativas entre os métodos para os 6 tratamentos com e sem casca, ao nível de 95% de probabilidade, não sendo necessária à realização do teste de comparação de médias de Tukey, ou seja, os diferentes métodos utilizados apresentaram volumes estimados estatisticamente iguais ao volume real.

Palavras - Chave: Smalian, fatores de forma, equações de volume, função de afilamento, comparação de métodos.

## **ABSTRACT**

This research aimed to compare volumes obtained by the methods of Smalian, form factor, volume equation and taper equations. The used data base was composed of 589 trees distributed in 6 different ages (Treatments). The trees were cubed and calculated their respective observed volumes with and without bark, by using the Smalian formula. Then form factors were also calculated. Basing on these obtained average factors, they were calculated individual volumes and later on the means by treatment with and without bark. Through volume equations previously adjusted, they were calculated average volumes by treatment with and without bark. Basing on the best adjusted taper equation they were also estimated average volumes by treatment. The Test of Bartlett, Analysis of Variance and Test of Tukey were used to accomplish the comparison of average estimated volumes by treatment. The variance analysis showed that significant difference doesn't exist among the methods for the 6 treatments with and without bark, at the level of 95% of probability, therefore it is not necessary the accomplishment of the test of comparison of means of Tukey, that is, the different used methods presented estimated volumes statistically identical to observed volumes.

Key words: Smalian, form factors, volume equations, taper equations, comparison of methods.

## 4.1 INTRODUÇÃO

A existência de 6 tratamentos diferentes, nos quais se varia a idade em plantações de *Eucalyptus grandis* da companhia Duraflora, localizados no município de Agudos, em São Paulo, possibilitou a cubagem de árvores por tratamento, as quais forneceram conjuntos de dados apropriados para cálculo dos volumes reais, tanto com casca como sem casca para esta espécie.

A variável volume constitui uma das informações de maior importância para o conhecimento do potencial florestal disponível em uma região. O volume individual fornece um ponto de partida para avaliação do conteúdo lenhoso dos povoamentos florestais. O volume pode ser considerado uma das principais características para se avaliar o potencial de uma floresta. Para determinação de volumes individuais das árvores vários métodos foram e ainda estão sendo desenvolvidos.

O fator de forma é uma razão entre volumes, sendo utilizado para corrigir o volume do cilindro para o volume da árvore. O fator de forma é influenciado pela espécie, sítio, espaçamento, desbaste, idade, etc.

O volume de árvores tem sido estimado com certa facilidade e acuracidade empregando-se equações de volume, ajustadas quase sempre a partir de medições do diâmetro à altura do peito e da altura total (FIGUEIREDO FILHO et. al.(1993)).

Segundo AHRENS & HOLBERT (1981), citado por FISCHER (1997) uma função de afilamento ou "taper" é uma descrição matemática do perfil longitudinal de um tronco e seu volume pode ser obtido por integração dessa função e assim, em termos geométricos, o tronco é tratado como um sólido de revolução. Assim definido um modelo matemático do perfil do fuste, pode-se determinar o volume de madeira entre quaisquer pontos ao longo do tronco.

Nos Capítulos 1, 2 e 3 deste trabalho foram desenvolvidos fatores de forma, equações de volume e funções de afilamento para o mesmo conjunto de

dados. Os resultados obtidos nos três capítulos anteriores forneceram os subsídios necessários e suficientes para que se fizesse comparações entre os volumes estimados por estes métodos, tornando o método de Smalian como testemunha, ou seja, como meio de obtenção de volumes observados (reais).

## 4.2 MATERIAL E MÉTODOS

### 4.2.1 CARACTERIZAÇÃO E LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

Os dados para desenvolver este estudo, foram obtidos em plantios de *Eucalyptus grandis* Hill ex - Maiden, pertencentes à empresa Duraflora S.A., situada na região sudoeste do estado de São Paulo, no município de Agudos.

Conforme GOLFARI, CASER e MOURA (1978) esta região apresenta, como características básicas, a periodicidade de chuvas, invernos secos com deficiência hídrica, precipitação anual entre 1100 e 1400 mm, as geadas ocorrem com pouca frequência, a temperatura média está entre 16 e 19°C, o tipo de clima é submontano ou subtropical moderado úmido, o tipo de vegetação é floresta ombrófila pluvial e campos submontanos, e a altitude é de aproximadamente 900 metros.

### 4.2.2 COLETA DE DADOS

Foram tomados diâmetros, com e sem casca, ao longo dos fustes das árvores amostra abatidas, com intervalos de 1,00, 1,25 e 2,5 m variando de acordo com as idades, até um diâmetro mínimo de 3,0 cm. Simultaneamente foram também medidos os diâmetros à altura do peito, com casca, em centímetros, bem como a altura total (HT) em metros de 589 árvores, distribuídas por 6 tratamentos e dentro destes, por classe de diâmetro. A Tabela 4.1 especifica os tratamentos implementados nas plantações de *Eucalyptus grandis* da empresa Duraflora S.A.

TABELA 4.1 - ESPECIFICAÇÃO DOS TRATAMENTOS

Tratamento	Idade (anos)	Número de Árvores Cubadas
A	3,0	56
B	4,5	95
C	6,1	100
D	6,5	134
E	7,5	99
F	9,0	105

### 4.2.3 DETERMINAÇÃO DO VOLUME INDIVIDUAL

O cálculo dos volumes individuais com e sem casca de cada uma das 589 árvores foi realizado através da fórmula de Smalian, conforme já detalhado no Capítulo 1.

A média dos volumes individuais com e sem casca ao nível de tratamento constituiu-se no valor observado, usado como testemunha para a comparação entre os métodos de estimativa de volume que estão sendo comparados no presente capítulo. Estes volumes médios constam na Tabela 4.6.

### 4.2.4 OBTENÇÃO DOS FATORES DE FORMA

- Por classe de idade:

Com base nos resultados obtidos no Capítulo 1 deste trabalho, foram utilizados os fatores de forma absolutos médios para as estimativas volumétricas de todas as árvores com e sem casca, dentro do respectivo tratamento. Após esta etapa calculou-se o volume médio por tratamento, o qual constituiu-se um dos sete volumes a serem comparados.

- Para o total:

Os 6 tratamentos foram reunidos em dois grupos (com e sem casca), após o agrupamento foram calculados seus respectivos fatores de forma absolutos médios, estes servindo de base para o cálculo dos volumes individuais de todas as árvores e em seguida os volumes médios para cada tratamento. A Tabela 4.11A do Anexo A mostra os fatores de forma absolutos e naturais médios obtidos para o conjunto total de dados.

#### 4.2.5 OBTENÇÃO DA EQUAÇÃO DE VOLUME

- Por classe de idade:

Com base nos resultados obtidos no Capítulo 2 deste trabalho, onde foram testados nove modelos volumétricos para cada um dos 6 tratamentos, tanto para estimativas de volume com casca como sem casca e após intensivas análises concluiu-se que os modelos de Spurr logaritimizado e o modelo de Schumacher - Hall apresentaram, em média, os melhores desempenhos para estimar os volumes totais com e sem casca, respectivamente. Estes foram utilizados para o cômputo dos valores estimados para cada uma das árvores dos seis tratamentos com e sem casca, obtendo-se a posteriori as médias por tratamento.

- Para o total:

Com base nos resultados obtidos no Capítulo 2 deste trabalho, os modelos matemáticos de Spurr logarítmico e de Schumacher - Hall, melhores desempenhos para estimar os volumes totais com e sem casca, respectivamente, foram ajustados para o conjunto total de dados, tanto para estimativas de volume com casca como sem casca. Estes foram utilizados para o computo dos valores estimados para cada uma das árvores com e sem casca, obtendo-se a posteriori as médias por tratamento. A Tabela 4.12A do Anexo A mostra os coeficientes e estatísticas de ajuste e precisão, obtidos do ajuste dos modelos para o conjunto total de dados e a Figura 4.3A do Anexo A mostra as respectivas análises gráficas de resíduos.

#### 4.2.6 OBTENÇÃO DA FUNÇÃO DE AFILAMENTO

- Por classe de idade:

Com base nos resultados obtidos no Capítulo 3 deste trabalho, onde foram ajustadas as funções de afilamento de Kozak et al. (1969) ou

polinômio de segundo grau, Prodan, Schopfer e Peters (1971) ou polinômio do 5º grau e o polinômio de potências fracionárias de Hradetzky (1976), tanto com como sem casca ao nível de tratamento e através do ranqueamento dos modelos para cada um dos tratamentos e da análise de resíduos para os mesmos, concluiu-se com base nos dados usados que o modelo de Hradetzky (1976), apresentou, em média, o melhor desempenho para estimar o diâmetro ao longo dos fustes com e sem casca.

Após a definição do melhor modelo, procedeu-se a sua integração, para cada um dos modelos obtidos por tratamento, para a obtenção do volume total estimado por árvore ao nível de tratamento, permitindo assim a obtenção de volumes médios.

- Para o total:

Com base nos resultados obtidos no Capítulo 3 deste trabalho, o polinômio de potências fracionárias de Hradetzky (1976), melhor desempenho para estimativa dos diâmetros ao longo dos fustes das árvores tanto com como sem casca, foi ajustado para o conjunto total de dados obtendo-se modelos genéricos (com e sem casca), procedendo-se a sua integração para a obtenção dos volumes totais estimados por árvore tanto com como sem casca, permitindo assim a obtenção de volumes médios por tratamento. A Tabela 4.13A do Anexo A mostra os expoentes, coeficientes e estatísticas de ajuste e precisão, obtidos através do ajuste do Polinômio de Hradetzky para o conjunto total de dados, com e sem casca. As Figura 4.4A e 4.5A do Anexo A mostram a análise de resíduos e o perfil médio dos fustes estimados pela função de afilamento ajustada.

## 4.2.7 ANÁLISES ESTATÍSTICAS

### 4.2.7.1 Análise da Homogeneidade das Variâncias (Teste de Bartlett)

Segundo STELL & TORRIE (1960), citados por vários autores, tais como, ROSOT (1980), SILVA (1982), KOEHLER (1999), o teste de Bartlett é utilizado quando existem vários tratamentos em um experimento. Então o teste do qui-quadrado ( $\chi^2$ ) de Bartlett é feito para testar a homogeneidade de variâncias. É muito utilizado em análise de regressão e amostragem. Parte-se da hipótese de que as variâncias são homogêneas ( $H_0$ ), e se o resultado do teste confirmar esta hipótese, procede-se à análise de variância e posterior teste de comparação de médias.

O teste de  $\chi^2$  de Bartlett é expresso por:

$$\chi^2 = 2,3026 \cdot \left[ \left( \log \bar{S}^2 \cdot \sum GL \right) - \sum \left( GL - \log S_i^2 \right) \right]$$

onde:

2,3026 = constante;

$\bar{S}^2$  = médias das variâncias;

GL = graus de liberdade de cada tratamento; e

$S_i^2$  = Variância de cada tratamento.

O resultado obtido deve ser corrigido, dividindo-se por um fator de correção que é dado por:

$$C = 1 + \frac{1}{3(n-1)} \left( \frac{1}{GL} - \frac{1}{GL} \right)$$

onde:

C = fator de correção;

N = número de variâncias; e

GL = graus de liberdade.

Na sua forma natural de aplicação de fórmula, se usa logaritmo natural em vez de comum. Como o logaritmo natural de qualquer número é aproximadamente 2,3026 vezes o logaritmo comum, há necessidade de se colocar esta constante na equação.

O valor de  $\chi^2$  deve ser comparado com o valor tabelado a um determinado nível de probabilidade e graus de liberdade. Para haver homogeneidade entre as médias o valor calculado deve ser menor que o valor tabelado.

#### 4.2.7.2 Análise de Variância

Após a realização do teste de Bartlett e verificada a homogeneidade das variâncias, submete-se os dados à análise de variância; tal técnica utiliza a distribuição de  $F$  para identificação da existência ou inexistência de diferenças significativas entre os diferentes tratamentos.

Segundo Spiegel (1978), se a hipótese nula  $H_0$  não for verdadeira, isto é, se as médias dos tratamentos não forem iguais, pode ser que a variância entre os tratamentos seja maior que a variação total, com efeito tanto mais pronunciado quanto maior for a discrepância entre as médias. Por outro lado, pode-se esperar que a variância dentro dos tratamentos seja igual à variância total independente de as médias serem iguais, ou não. A estatística para testar a hipótese  $H_0$  é dada por:

$$F = \frac{\sigma_{entre}}{\sigma_{dentro}}$$

onde:

$\sigma_{entre}$  = variância entre os tratamentos; e

$\sigma_{dentro}$  = variância dentro dos tratamentos.

O valor  $F$  calculado deve ser comparado com o valor tabelado a um determinado nível de probabilidade e graus de liberdade. Se esta estatística for significativamente grande (valor calculado maior que valor tabelado), pode-se concluir que há diferença significativa entre as médias dos tratamentos e assim rejeitar  $H_0$ . Se o valor calculado for menor que o valor tabelado, pode-se concluir que não existe diferença significativa entre os tratamentos, aceitando  $H_0$ . Segundo Koehler (1999), isto não prova que não existem diferenças reais entre os tratamentos. Diferenças reais podem existir porém esta análise não foi sensível o suficiente para detectar tais diferenças no nível de probabilidade desejado.

#### 4.2.7.3 Teste de Tukey

Segundo KOEHLER (1999), este teste também chamado de diferença significativa honesta (HSD, do inglês “Honestly Significant Difference”), é um teste que utiliza um valor para julgar todas as diferenças entre médias, mas o experimento é usado como unidade para determinação do nível de significância do teste. É um procedimento de fácil utilização e leva em consideração o número de tratamentos no experimento.

O teste consiste no cálculo do valor comparador que é feito pela seguinte fórmula:

$$W = q_{\alpha} \sqrt{\frac{QM_{Erro}}{r}}$$

onde:

QM Erro = quadrado médio do erro da análise de variância;

$r$  = número de repetições das médias sendo comparadas; e

$q_{\alpha}$  = valor tabelado encontrado em função do número de médias sendo testadas e do grau de liberdade do erro experimental (GL erro).

Ordenam-se as médias do maior para o menor valor, faz-se a comparação das diferenças entre médias, duas a duas, com o valor

comparador ( $W$ ). Quando a diferença entre duas médias é menor ou igual ao valor calculado, as médias são consideradas estatisticamente iguais, quando é maior as médias são consideradas estatisticamente diferentes.

As comparações de formas gráficas para a sumarização dos resultados obtidos utilizam-se da convenção de que médias iguais são seguidas de letras iguais e médias diferentes são seguidas de letras diferentes.

As análises estatísticas foram realizadas na seqüência descrita anteriormente entre cada tratamento com e sem casca, sendo os processamentos realizados no programa StatGraphics 5.0.

### 4.3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A Tabela 4.2 apresenta a caracterização de cada um dos tratamentos implementados nos plantios de *Eucalyptus grandis* – Hill ex - Maiden.

TABELA 4.2 - CARACTERIZAÇÃO DOS REGIMES DE MANEJO

Trat	DAP (cm)			Altura Total (m)			Volume (m <sup>3</sup> )		
	Mínimo	Média	Máximo	Mínimo	Média	Máximo	Mínimo	Média	Máximo
A	8,00	10,5	14,00	10,50	12,71	15,60	0,02728	0,05334	0,10249
B	4,70	13,8	23,70	10,60	20,90	27,20	0,01235	0,18633	0,47391
C	5,00	14,0	24,00	7,00	21,73	30,70	0,01009	0,20592	0,60454
D	4,30	17,8	34,40	8,92	22,03	29,20	0,00740	0,30140	0,91630
E	5,40	20,4	35,90	11,50	27,42	38,50	0,01323	0,56737	1,58850
F	5,00	19,2	37,00	12,30	25,72	35,80	0,01196	0,47537	1,63797

A Tabela 4.3 mostra os fatores de forma médios utilizados para o cálculo dos volumes, para cada um dos tratamentos e para o banco de dados total, com e sem casca. Os fatores de forma, por tratamento, foram obtidos de acordo com os resultados estatísticos encontrados no Capítulo 1. Em ambos os casos optou-se pela utilização do fator de forma absoluto ( $f_{1,3}$ ), pela maior facilidade de obtenção.

TABELA 4.3 - FATORES DE FORMA ( $f_{1,3}$ ) MÉDIOS

Tratamento	Fator de Forma Médio	
	Com casca	Sem casca
A	0,4623	0,3821
B	0,4623	0,3995
C	0,4623	0,4075
D	0,4326	0,3821
E	0,4623	0,4075
F	0,4623	0,3995
Geral	0,4573	0,3964

A Tabela 4.4 mostra os coeficientes das equações de Spurr ( $\lambda_n v = \beta_0 + \beta_1 * \lambda_n d^2 h$ ) e de Schumacher-Hall ( $\lambda_n v = \beta_0 + \beta_1 * \lambda_n d + \beta_2 * \lambda_n h$ ), obtidos por tratamento e para o banco de dados geral, utilizados para as estimativas volumétricas, com e sem casca. As equações específicas para cada tratamento foram selecionadas baseando-se nos resultados obtidos no Capítulo 2.

TABELA 4.4 - COEFICIENTES DOS MODELOS VOLUMÉTRICOS SELECIONADOS

Tratamento	Coeficientes		
	$\beta_0$	$\beta_1$	$\beta_2$
Com casca			
A	-10,014430	0,971996	
B	-9,966714	0,968068	
C	-9,939262	0,964719	
D	-9,791697	0,941303	
E	-9,803100	0,953481	
F	-10,013124	0,974258	
Geral	-9,947333	0,965069	
Sem casca			
A	-10,236397	1,977992	0,953889
B	-10,844231	1,737860	1,379306
C	-9,601311	2,175787	0,605147
D	-10,298614	1,834634	1,106038
E	-10,446274	1,729803	1,268475
F	-10,145816	1,993580	0,934104
Geral	-10,391934	1,855759	1,130206

A Tabela 4.5 mostra, as funções de afilamento de Hradetzky obtidas por tratamento e para o banco de dados total utilizadas como base para as estimativas volumétricas para os 6 tratamentos, com e sem casca. A seleção das funções por tratamento foi baseada nos resultados obtidos no Capítulo 3.

TABELA 4.5 - FUNÇÕES AFILAMENTO DE HRADEZKY POR TRATAMENTO

Tratamento	Função de Afilamento
Com casca	
A	$(\frac{d}{DAP}) = 1.741,09172 - 0,78693 \cdot (\frac{h}{h})^{0,8} - 1.739,98336 \cdot (\frac{h}{h})^{0,00001} - 0,32139 \cdot (\frac{h}{h})^3$
B	$(\frac{d}{DAP}) = 1.438,80905 - 0,72150 \cdot (\frac{h}{h})^1 - 0,07305 \cdot (\frac{h}{h})^{10} - 1.437,80643 \cdot (\frac{h}{h})^{0,00001} - 0,2779 \cdot (\frac{h}{h})^5$
C	$(\frac{d}{DAP}) = 1.578,49097 - 0,73558 \cdot (\frac{h}{h})^1 + 0,12854 \cdot (\frac{h}{h})^{15} - 1.577,49530 \cdot (\frac{h}{h})^{0,00001} - 0,38842 \cdot (\frac{h}{h})^{10}$
D	$(\frac{d}{DAP}) = 1.798,56744 - 0,68260 \cdot (\frac{h}{h})^{0,9} - 0,04859 \cdot (\frac{h}{h})^{15} - 1.797,60523 \cdot (\frac{h}{h})^{0,00001} - 0,23158 \cdot (\frac{h}{h})^5$
E	$(\frac{d}{DAP}) = 1.611,85627 - 0,65105 \cdot (\frac{h}{h})^1 - 0,16315 \cdot (\frac{h}{h})^{10} - 1.610,88419 \cdot (\frac{h}{h})^{0,00001} - 0,15795 \cdot (\frac{h}{h})^4$
F	$(\frac{d}{DAP}) = 1.829,17183 - 0,68463 \cdot (\frac{h}{h})^1 - 0,61285 \cdot (\frac{h}{h})^{10} - 1.828,20150 \cdot (\frac{h}{h})^{0,00001} + 0,32753 \cdot (\frac{h}{h})^{15}$
Geral	$(\frac{d}{DAP}) = 1.738,70605 - 0,73160 \cdot (\frac{h}{h})^1 + 0,22228 \cdot (\frac{h}{h})^{15} - 1.737,71451 \cdot (\frac{h}{h})^{0,00001} - 0,48211 \cdot (\frac{h}{h})^{10}$
Sem casca	
A	$(\frac{d}{DAP}) = 1.157,15696 - 0,77534 \cdot (\frac{h}{h})^{0,9} - 0,22736 \cdot (\frac{h}{h})^{55} - 1.156,15425 \cdot (\frac{h}{h})^{0,00001}$
B	$(\frac{d}{DAP}) = 954,46880 - 0,63227 \cdot (\frac{h}{h})^1 - 0,11034 \cdot (\frac{h}{h})^{10} - 953,52870 \cdot (\frac{h}{h})^{0,00001} - 0,19734 \cdot (\frac{h}{h})^3$
C	$(\frac{d}{DAP}) = 1,04830 - 0,64021 \cdot (\frac{h}{h})^1 - 0,18468 \cdot (\frac{h}{h})^{10} - 0,08575 \cdot (\frac{h}{h})^{0,00001} - 0,13815 \cdot (\frac{h}{h})^2$
D	$(\frac{d}{DAP}) = 1.253,92040 - 0,66557 \cdot (\frac{h}{h})^1 - 0,04065 \cdot (\frac{h}{h})^{15} - 1.253,01829 \cdot (\frac{h}{h})^{0,00001} - 0,19660 \cdot (\frac{h}{h})^5$
E	$(\frac{d}{DAP}) = 1.243,87792 - 0,44076 \cdot (\frac{h}{h})^1 - 0,15453 \cdot (\frac{h}{h})^{10} - 1.242,97495 \cdot (\frac{h}{h})^{0,00001} - 0,30911 \cdot (\frac{h}{h})^2$
F	$(\frac{d}{DAP}) = 1.151,46801 - 0,54842 \cdot (\frac{h}{h})^1 - 0,12580 \cdot (\frac{h}{h})^{10} - 1.150,56012 \cdot (\frac{h}{h})^{0,00001} - 0,23565 \cdot (\frac{h}{h})^3$
Geral	$(\frac{d}{DAP}) = 1,08380 - 0,37965 \cdot (\frac{h}{h})^1 - 0,14959 \cdot (\frac{h}{h})^{10} - 0,23992 \cdot (\frac{h}{h})^{0,20} - 0,31584 \cdot (\frac{h}{h})^2$

Para fins de comparação entre os métodos de estimativa volumétrica, confeccionou-se a Tabela 4.6 apresentando as médias volumétricas obtidas através da cubagem por Smalian, fatores de forma médios, equações de volume e funções de afilamento para todos os tratamentos com e sem casca.

TABELA 4.6 - VOLUMES MÉDIOS OBTIDOS PELOS DIFERENTES MÉTODOS DE AVALIAÇÃO

Tratamento	Volumes Médios Obtidos pelos 4 Métodos de Avaliação (m <sup>3</sup> )						
	Cubagem por Smalian	Fator de Forma por Tratamento	Fator de Forma Geral	Equação de Volume por Tratamento	Equação de Volume Geral	Função de Afilamento por Tratamento	Função de Afilamento Geral
Com casca							
A	0,05334	0,05308	0,05252	0,05326	0,05413	0,05392	0,05161
B	0,18633	0,19319	0,19112	0,18780	0,18642	0,18980	0,18782
C	0,20592	0,21156	0,20929	0,20435	0,20335	0,20651	0,20569
D	0,30140	0,31840	0,33661	0,30003	0,32176	0,29788	0,33081
E	0,56737	0,60208	0,59563	0,57199	0,55683	0,57954	0,58028
F	0,47537	0,49753	0,49220	0,47521	0,46320	0,47812	0,48372
Sem casca							
A	0,04424	0,04387	0,04551	0,04417	0,04437	0,04808	0,04542
B	0,16292	0,16691	0,16559	0,16344	0,16318	0,16576	0,16529
C	0,18205	0,18648	0,18138	0,18255	0,17944	0,18269	0,18101
D	0,26559	0,28123	0,29172	0,26415	0,27788	0,26522	0,29112
E	0,50247	0,53071	0,51620	0,50531	0,49824	0,50343	0,51066
F	0,42010	0,42994	0,42656	0,42016	0,41006	0,42254	0,42568

#### 4.3.1 TESTE DE HOMOGENEIDADE DE VARIÂNCIAS (TESTE DE BARTLETT)

Na Tabela 4.7 estão apresentados os resultados obtidos através da realização do Teste de Bartlett (valores de  $\chi^2$  e níveis de significância), entre os volumes obtidos pelos diferentes métodos.

TABELA 4.7 - VALORES DE  $\chi^2$  CALCULADOS E NÍVEIS DE SIGNIFICÂNCIA

Tratamento	Graus de Liberdade	$\chi^2$		Nível de Significância (%)	
		c/c	s/c	c/c	s/c
A	6	1,00040	1,00259	100,00	99,23
B	6	1,00182	1,00144	99,71	99,85
C	6	1,00097	1,00061	99,95	99,99
D	6	1,00727	1,00613	89,92	93,15
E	6	1,00349	1,00248	98,31	99,32
F	6	1,00207	1,00111	99,58	99,93

Como mostra a Tabela 4.7, os diferentes tratamentos com e sem casca, apresentaram valores de  $\chi^2$  não significantes ao nível de 95% de probabilidade, variando entre 1,00040 (A com casca) e 1,00727 (D com casca), valores estes inferiores a 12,5916 ( $\chi^2_{(6,0,05)}$  tabelado), o que caracteriza a homogeneidade de variâncias, fato que os condicionou à posterior Análise de Variância.

#### 4.3.2 ANÁLISE DE VARIÂNCIA

Para os diferentes métodos de obtenção de volume, realizou-se a análise de variância com o intuito de se verificar a existência ou não de diferenças significativas entre eles a um nível de 95% de probabilidade. Fez-se um delineamento em blocos ao acaso onde cada método foi considerado como um tratamento, com 45 repetições, e os 6 tratamentos (idades) foram considerados como blocos.

Nas Tabelas 4.8 e 4.9 estão apresentadas as Análises de variância, para os diferentes tratamentos com e sem casca respectivamente.

TABELA 4.8 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA TODOS OS TRATAMENTOS COM CASCA.

Tratamento	FV	GL	SQ	QM	F	Nível de Significância
A	Tratamento	6	0,00020	0,00003	0,09	0,99690
	Erro	308	0,10711	0,00035		
	Total	314	0,10730			
B	Tratamento	6	0,00176	0,00029	0,01	1,00000
	Erro	308	7,44607	0,02418		
	Total	314	7,44783			
C	Tratamento	6	0,00219	0,00037	0,01	1,00000
	Erro	308	9,53007	0,03094		
	Total	314	9,53226			
D	Tratamento	6	0,06641	0,01107	0,16	0,98780
	Erro	308	21,9106	0,07114		
	Total	314	21,9770			
E	Tratamento	6	0,06691	0,01115	0,04	0,99970
	Erro	308	86,52520	0,28093		
	Total	314	86,59211			
F	Tratamento	6	0,03582	0,00597	0,03	0,99990
	Erro	308	63,11940	0,20493		
	Total	314	63,15522			

TABELA 4.9 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA TODOS OS TRATAMENTOS, SEM CASCA

Tratamento	FV	GL	SQ	QM	F	Nível de Significância
A	Tratamento	6	0,00058	0,00010	0,38	0,89150
	Erro	308	0,07790	0,00025		
	Total	314	0,07848			
B	Tratamento	6	0,00064	0,00011	0,01	1,00000
	Erro	308	5,65591	0,01836		
	Total	314	5,65655			
C	Tratamento	6	0,00128	0,00021	0,01	1,00000
	Erro	308	7,47636	0,02427		
	Total	314	7,47764			
D	Tratamento	6	0,03907	0,00651	0,12	0,99410
	Erro	308	16,86260	0,05475		
	Total	314	16,90167			
E	Tratamento	6	0,03270	0,00545	0,02	0,99990
	Erro	308	67,45790	0,21902		
	Total	314	67,49060			
F	Tratamento	6	0,01112	0,00185	0,01	1,00000
	Erro	308	48,85490	0,15862		
	Total	314	48,86602			

Nas Tabelas 4.8 e 4.9 pode-se observar que os F calculados para todos os tratamentos foram menores que o valor de  $F_{(6,005)}$  tabelado (2,1280), portanto, apresentaram-se não significativas ao nível de 95% de probabilidade, confirmando a hipótese  $H_0$  (todos as médias são iguais).

#### 4.3.3 TESTE DE COMPARAÇÃO DE MÉDIAS (TUKEY)

Como as análises de variâncias entre os diferentes métodos para todos os tratamentos com e sem casca apresentaram valores de F calculados não significantes ao nível de significância de 95%, não se fez necessária à realização do teste de comparação de médias de Tukey, pois as médias volumétricas entre todos os métodos para todos os tratamentos são estatisticamente iguais.

Embora a igualdade estatística esteja comprovada, analisando-se mais detalhadamente os volumes médios para cada tratamento obtidos pelos diferentes métodos foi construída a Tabela 4.10 que apresenta as sub e superestimativas relativas, dos volumes estimados pelos diferentes métodos em função do volume de Smalian (real). As Figuras 4.1 e 4.2 mostram graficamente os resultados apresentados na Tabela 4.10.

TABELA 4.10 - DESVIOS RELATIVOS DOS DIFERENTES MÉTODOS EM FUNÇÃO DO VOLUME REAL

Tratamento	Desvio (%)					
	Fator de Forma por Tratamento	Fator de Forma Geral	Equação de Volume por Tratamento	Equação de Volume Geral	Função de Afilamento por Tratamento	Função de Afilamento Geral
Com casca						
A	-0,48	-1,55	-0,15	1,48	1,09	-3,24
B	3,68	2,57	0,79	0,05	1,86	0,80
C	2,74	1,64	-0,76	-1,25	0,29	-0,11
D	5,64	11,68	-0,45	6,76	-1,17	9,76
E	6,12	4,98	0,81	-1,86	2,15	2,28
F	4,66	3,54	-0,03	-2,56	0,58	1,76
<b>Média</b>	<b>3,73</b>	<b>3,81</b>	<b>0,03</b>	<b>0,44</b>	<b>0,80</b>	<b>1,87</b>
Sem casca						
A	-0,83	2,87	-0,16	0,27	8,68	2,65
B	2,44	1,64	0,32	0,16	1,74	1,45
C	2,43	-0,37	0,27	-1,43	0,35	-0,57
D	5,89	9,84	-0,54	4,63	-0,14	9,61
E	5,62	2,73	0,57	-0,84	0,19	1,63
F	2,34	1,54	0,02	-2,39	0,58	1,33
<b>Média</b>	<b>2,98</b>	<b>3,04</b>	<b>0,08</b>	<b>0,07</b>	<b>1,90</b>	<b>2,68</b>

FIGURA 4.1 - DESVIOS RELATIVOS DOS DIFERENTES MÉTODOS EM FUNÇÃO DO VOLUME REAL COM CASCA

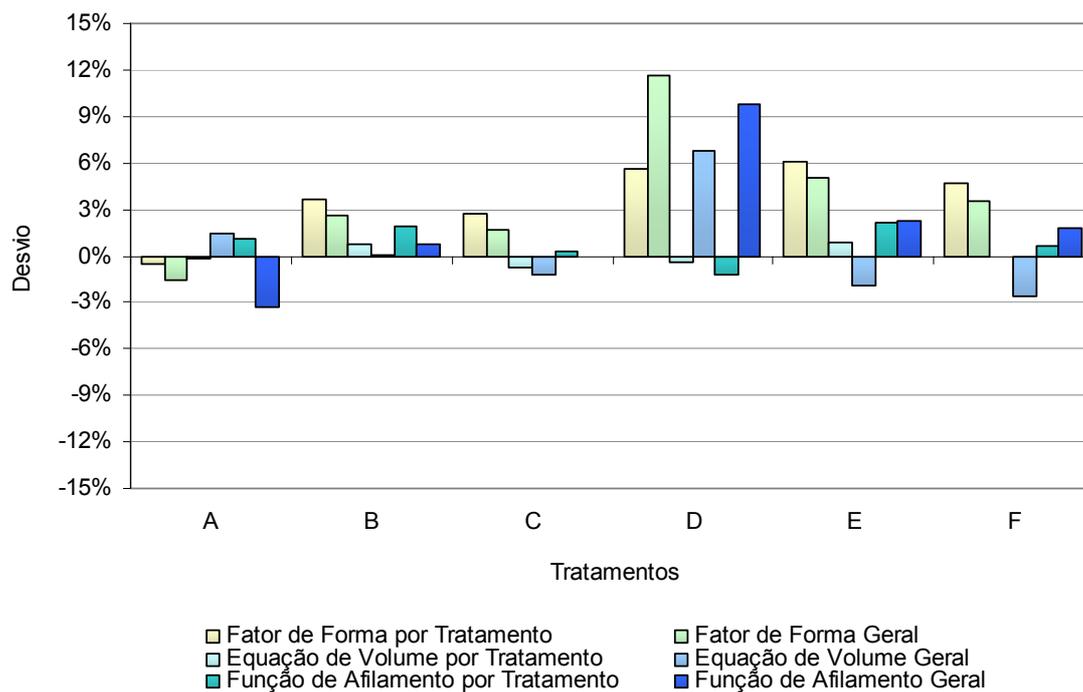
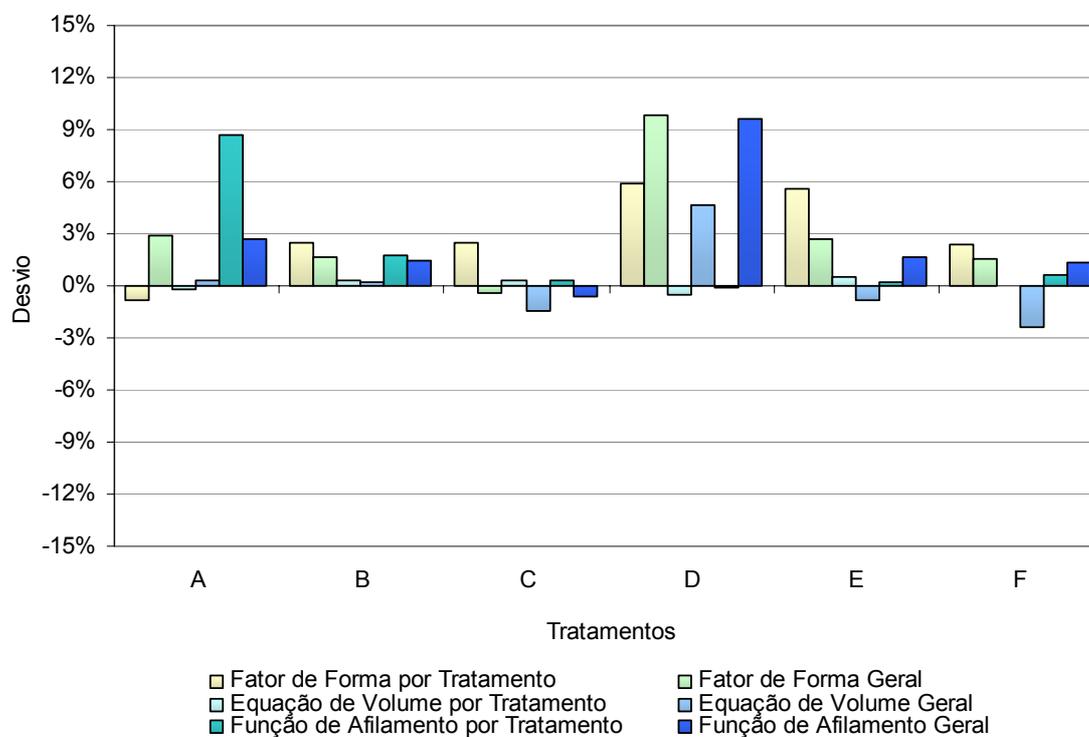


FIGURA 4.2 - DESVIOS RELATIVOS DOS DIFERENTES MÉTODOS EM FUNÇÃO DO VOLUME REAL SEM CASCA



Analisando-se a Tabela 4.10 verifica-se que para os tratamentos com casca os fatores de forma médios por classe de idade tendem a superestimar o volume médio em 3,73%, variando entre -0,48% (Tratamento A) e 6,12% (Tratamento E); para os tratamentos sem casca variando entre -0,83% (Tratamento A) e 5,89% (Tratamento D), em média 2,98%.

Os desvios resultantes para as estimativas realizadas com base no fator de forma médio geral, apresentaram comportamento semelhante aos volumes médios estimados obtidos com base nos fatores calculados por classe de idade, superestimando os volumes em 3,81%, variando entre -1,55% (Tratamento A) e 11,68% (Tratamento D), para os tratamentos com casca e para os diferentes tratamentos sem casca superestimando os volumes em 3,04%, variando entre -0,37% (Tratamento C) e 9,84% (Tratamento D).

As equações de volume por classe de idade tendem a superestimar o volume médio em 0,03% com casca, variando entre -0,76% (Tratamento C) e 0,81% (Tratamento E); para os tratamentos sem casca encontrou-se diferenças variando entre -0,54% (Tratamento D) e 0,57% (Tratamento E), em média 0,08%.

Os volumes estimados pelas equações de volume ajustadas para o conjunto total de dados, apresentaram comportamento semelhante aos estimados pelas equações por classe de idade, tendendo a superestimar o volume médio com casca em 0,44%, variando entre -0,76% (Tratamento C) e 0,81% (Tratamento E); para os tratamentos sem casca encontrou-se desvios variando entre -2,39% (Tratamento E) e 4,63% (Tratamento D), em média 0,07%, ligeiramente inferior ao desvio médio resultante das estimativas obtidas através de modelos por classe de idade.

As funções de afilamento, por classe de idade, tendem a superestimar o volume médio com casca em 0,80%, variando entre -1,17% (Tratamento D) e 2,15% (Tratamento E); para os tratamentos sem casca encontrou-se diferenças variando entre -0,14% (Tratamento D) e 8,68% (Tratamento A), em média 1,90%.

Os volumes estimados através das funções de afilamento ajustadas para o conjunto total de dados, apresentaram comportamento semelhante aos estimados pelas funções ajustadas por classe de idade, tendendo a superestimar o volume médio com casca em 1,87%, variando entre -3,24% (Tratamento A) e 9,76% (Tratamento D); para os tratamentos sem casca encontrou-se desvios variando entre -0,57% (Tratamento C) e 9,61% (Tratamento D), em média 2,68%, ligeiramente superior ao desvio médio resultante das estimativas obtidas através de funções por classe de idade.

#### 4.3.3.1 Comparação de Médias por Classe de Diâmetro

Com base na metodologia descrita para as comparações entre os diferentes métodos de estimativa por classe de idade (Tratamentos), o banco total de dados foi dividido em sete classes de diâmetro com intervalos de 4,97 cm (Tabela 4.14A do Anexo A), visando à realização da comparação entre os volumes médios estimados pelos diferentes métodos por classe diamétrica, com o objetivo de verificar se os volumes médios por classe obtidos pela fórmula de Smalian (Testemunha) são estatisticamente diferentes dos volumes médios estimados pelos três métodos de estimativa volumétrica analisados (Fatores de Forma, Equações de Volume e Funções de Afilamento), a 95% de probabilidade. As Tabelas 4.15A a 4.17A do Anexo A, mostram os resultados obtidos pelo Teste de Bartlett e pelas Análises de Variâncias, respectivamente.

Os resultados obtidos foram semelhantes aos encontrados nas comparações por classe de idade, ou seja, para cada uma das sete classes diamétricas os volumes médios obtidos pela fórmula de Smalian foram estatisticamente iguais aos volumes médios por classe obtidos pelos três diferentes métodos, para as estimativas com e sem casca, ao nível de 95% de probabilidade.

#### 4.4 CONCLUSÕES

- A análise de variância entre os 4 métodos de estimativa de volume para os 6 tratamentos (diferentes idades), com casca e sem casca, mostrou que não existe diferença significativa entre eles ao nível de 95 % de probabilidade, ou seja, o volume obtido através da fórmula de Smalian e os volumes estimados através de fatores de forma, equações de volume e funções de afilamento, são estatisticamente iguais.

- Para o banco de dados utilizado os tratamentos (idades) tiveram pouco influência na obtenção dos fatores de forma médios e em consequência nas estimativas de volume médias, ou seja, a subdivisão dos dados coletados em tratamentos para a obtenção dos fatores de forma é desnecessária..

- As equações de volume ajustadas por classe de idade apresentaram estimativas volumétricas médias pouco superiores a até inferiores às estimadas pelas equações gerais, ou seja, para o banco de dados utilizado, a subdivisão dos dados coletados em tratamentos para o ajuste de modelos volumétricos é desnecessária.

- As estimativas volumétricas obtidas através das funções de afilamento por classe de idade foram pouco superiores às médias obtidas pelas funções genéricas, ou seja, para o banco de dados utilizado, a subdivisão dos dados coletados em tratamentos para o ajuste de funções de afilamento é desnecessária.

- Para o banco de dados analisado, os volumes médios estimados por classe de diâmetro pelas diferentes metodologias adotadas não apresentaram diferença estatística com relação aos respectivos volumes médios calculados através da fórmula de Smalian.

#### 4.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMATEIS, R.L.; BURKHART, H.E. **Cubic-foot volume equations for loblolly pine trees in cutover site-prepared plantations.** Southern Journal of Applied Forestry, Washington, v. 11, n. 4, p. 190-192. 1987.

CLUTTER, J.L. **Development of taper functions from variable-top merchantable volume equations.** Forest Science, Washington, v. 26, n. 1, p. 117-120. 1980.

FISCHER, F. **Eficiência dos Modelos Polinomiais e das Razões de Volume na Estimativa Volumétrica dos Sortimentos e do Perfil do Fuste de *Pinus taeda*.** Lavras: UFLA, 167p. 1997. (Dissertação - Mestrado em Engenharia Florestal).

FIGUEIREDO FILHO, A.; OLIVEIRA, C.G.; MOURA, J.B.; CUNHA, U.S. **Conversão de equações de volume em equações de forma compatíveis para *Pinus elliottii*.** In: CONGRESSO FLORESTAL PANAMERICANO ( 1.: 1993: Curitiba) E CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO (7.: 1993: Curitiba). ANAIS. Curitiba: SBS/SBEF, v.2, p. 501-503. 1993.

GOLFARI, L.; CASER, R.L.; MOURA, V.P.G. **Zoneamento ecológico esquemático para reflorestamento no Brasil.** Belo Horizonte: Centro de Pesquisa Florestal da Região do Cerrado, 66p. 1978.

HRADETZKY, J. **Analyse und interpretation statistischer abränger keiten.** (Biometrische Beiträge zu aktuellem forschungs projekten). Baden: Württemberg Mitteilungen der FVA, 146p. 1976. (Abt. Biometric und Informatik, 21).

KOEHLER, H.S. **Estatística Experimental.** Universidade Federal do Paraná. Curitiba. 123p. 1999.

KOZAK, A.; MUNRO, D. P.; SMITH, J. H. G. **Taper functions and their application in forest inventory**. Forest Chronicle, Toronto, v. 45, nº 4, p. 278-283, 1969.

LOETSCH, F.; ZOHRER, F.; HALLER, K.E. **Forest Inventory**. München: BLV, v. 2. 469p. 1973.

MACHADO, S. A.; CONCEIÇÃO, M. B.; FIGUEIREDO, D. J. **Modelagem do volume individual para diferentes idades e regimes de desbaste em plantações de *Pinus oocarpa***. Revista Ciências Exatas e Naturais, v. 4, nº 2, p. 185-197. Jul/Dez 2002.

MACHADO, S. A.; CONCEIÇÃO, M. B.; URBANO, E. **Comportamento de Fatores de Forma em Plantações de *Pinus Oocarpa* com Diferentes Idades e Número de Desbastes**. In: CONGRESSO FLORESTAL, 8, 2003 , São Paulo. Anais... Divulgação meio digital.

MACHADO, S. A.; URBANO, E.; CONCEIÇÃO, M. B. **Comparação de Modelos de Afilamento que Descrevem o Perfil da Árvore para Diferentes Idades e Regimes de Desbaste em Plantações de *Pinus Oocarpa***. Curitiba, Relatório de pesquisa ao CNPq. 57p. 2003.

STEEL, R.G.D. & TORRIE, J. M. **Principles and procedures of statistics**. New York, McGrawHill, 481 p. 1960.

SPIEGEL, MURRAY R. **Probabilidade e estatística** – Coleção Schaum. McGraw-Hill do Brasil. São Paulo. 519p. 1978.

### III REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS CITADAS NO REFERENCIAL TEÓRICO

AHRENS, S.; HOLBERT, D. **Uma função para forma de tronco e volume de *Pinus taeda* L.** In: Boletim de pesquisa florestal, unidade regional de pesquisa florestal Centro-Sul, EMBRAPA, 03, p. 37-68,1981.

ASSIS, A. L. **Avaliação de modelos Polinomiais Segmentados e Não-segmentados na Estimativa de Diâmetros e Volumes Comerciais de *Pinus taeda*.** Curitiba. 189p. 2000. (Dissertação - Mestrado em Engenharia Florestal – U.F.LAVRAS).

ASSMAN, E.L. **The principles of Forest yield study.** New York, Pergamon Press. 506p. 1970.

BARTOSZECK, A.C.P.S. **Evolução da relação hipsométrica e da distribuição diamétrica em função dos fatores idade, sítio e densidade inicial em bracatingais nativos da região metropolitana de Curitiba.** Curitiba. 83p. 2000. (Dissertação - Mestrado em Engenharia Florestal - UFPR).

BEHRE, C. E. **Preliminary notes on studies of tree form.** J. For., 21: 507-511, 1923.

BEHRE, C. E. **Form-class taper curves and volume tables and their application.** J. Agri. Res, 25 (8): 673-743. 1927.

BENTHAM, G. **Flora Australiensis: a Description of the Plants of the Australian Territory.** Vol. 3 Myrtaceae to Compositae. 704 pp. 1867, Lovell Reeve & Co., London.

CAO, Q. V.; BURKHART, H. E.; MAX, T. A. **Evaluation of two methods for cubic-volume prediction of loblolly pine to any merchantable limit.** Forest Science, Washington, v. 26, n. 1, p. 71-80. 1980.

CAMPOS, J.C.C. **Estudo sobre o índice de sitio, tabelas de volume e produção para *Pinus elliottii* Engelm no Estado de São Paulo.** Brasil. Turrialba, I. I. C. A. 1970. (Tese de Mestrado).

CAMPOS, J. C. C.; RIBEIRO, J. C. **Avaliação de dois modelos de “taper” em árvores de *Pinus patula*.** Revista Árvore, Viçosa, v. 6, n.2, p.140-149, jul./dez. 1982.

CESAR, E.R.G.; SHIMIZU, J.Y. & ROMANELLI, R. **Varição entre procedências e progênies de *Pinus oocarpa* em Angatuba, SP.** Boletim de Pesquisa Florestal, Centro Nacional de Pesquisa Florestal, EMBRAPA, 17, p. 13-24. 1988.

CLUTTER, J. L. **Development of taper functions from variable-top merchantable volume equations.** Forest Science, Washington, v. 26, n. 1, p. 117-120. 1980.

CLUTTER, J. L.; FORTSON, J.C.; PIENAR, L.V.; BRISTER, G.H.; BAYLEY, R.L. **Timber management: A quantitative approach.** New York: John Wiley & Sons, 333p. 1983.

DEMAERSCHALK, J. P. **Converting volume equations to compatible taper equations.** Forest Science, Washington, v. 18, n. 3, p. 241-245. Sept. 1972.

DRAPER, N; SMITH, H. **Applied regression analysis.** New York: John Wiley & Sons, 467p. 1966.

DRESS, P. E. **Statistical and mathematic application in the construction and adjustment of standart cubic-foot volume tables.** Scholl of Forestry, Pennsylvania Sta. Univ., 69p. 1959. (Tese de Mestrado).

FISCHER, F. **Eficiência dos Modelos Polinomiais e das Razões de Volume na Estimativa Volumétrica dos Sortimentos e do Perfil do Fuste de *Pinus***

**taeda**. Lavras: UFLA. 167p. 1997. (Dissertação - Mestrado em Engenharia Florestal).

FIGUEIREDO FILHO, A.; OLIVEIRA, C.G.; MOURA, J.B.; CUNHA, U.S. **Conversão de equações de volume em equações de forma compatíveis para *Pinus elliottii***. In: CONGRESSO FLORESTAL PANAMERICANO (1.: 1993: Curitiba) E CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO (7.: 1993: Curitiba). ANAIS. Curitiba: SBS/SBEF, v.2, p. 501-503. 1993.

FREESE, F. **Testing accuracy**. For. Sci., 6 (2): 139-145, 1960.

GEORKIANTZ, S.R. & OLSEN, L.P. **Composite volume table for timber and their application in the Lake State**. Washington, D. C., U. S. D. A., 51p. (Technical Bull., 1104), 1965.

GOLDING, D.L. & HALL, O.F. **A Test of precision of cubic-foot tree volume equation on Aspen, Jack Pine and White Spruce**. For. Chron., 37 (2): p. 123-132., 1961.

GOLFARI, L.; CASER, R.L.; MOURA, V.P.G. **Zoneamento ecológico esquemático para reflorestamento no Brasil**. Belo Horizonte: Centro de Pesquisa Florestal da Região do Cerrado, 66p. 1978.

HILL, K.D. & JOHNSON, L.A.S. **Systematic studies in the eucalypts**. 7. A revision of the bloodwoods, genus *Corymbia* (Myrtaceae). Telopea 6(2-3):185-504. 1995.

HRADETZKY, J. **Analyse und interpretation statistischer abhänger keiten. (Biometrische Beiträge zu aktuellem forschungs projekten)**. Baden: Württemberg Mitteilungen der FVA, 146p., 1976. (Abt. Biometric und Informatik, 21).

IPEF. **Projeto Chave de Identificação de Espécies Florestais (CIEF)**. (disponível na internet <[www.ipef.br](http://www.ipef.br)> s.d.).

JORGE, L.A.B. **Equações de volume comercial com casca em floresta tropical pluvial no Norte do Espírito Santo**. In: CONGRESSO NACIONAL SOBRE ESSÊNCIAS NATIVAS, (1982: Campos do Jordão) Anais... São Paulo: Silvicultura, v.16, no 1, p. 456-467, 1982.

KOZAK, A.; MUNRO, D. P.; SMITH, J. H. G. **Taper functions and their application in forest inventory**. Forest Chronicle, Toronto, v. 45, n. 4, p. 278-283. 1969.

KOEHLER, H. S. **Estatística Experimental**. Universidade Federal do Paraná. Curitiba. 1999.

LOETSCH, F.; HALLER, K.E. **Forest Inventory**. München: BLV. v. 1, 436p. 1973.

LOETSCH, F.; ZOHRER, F.; HALLER, K.E. **Forest Inventory**. München: BLV. v.2, 469p. 1973.

LOETSCH, F.; ZOHRER, F.; HALLER, K.E. **Forest Inventory**. München: BLV. p. 2-369. 1975.

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..., APEF, v. 1, p. 89-104. 1991.

MACHADO, S.A. **Influência da idade na forma do fuste de *Araucaria angustifolia* em plantações no Brasil**. In: SEMINÁRIO SOBRE ATUALIDADES E PERSPECTIVAS FLORESTAIS: O uso de funções de forma de tronco em estudo de volumetria de espécies florestais, 5, Curitiba, 1982. Anais...Curitiba: EMBRAPA, p. 51-55. 1982. (Documento 9).

MACKAY, E. **Dasometria**. Madrid, Escuela Técnica de Ingeniero de Montes. 759p. 1964.

MATTE, L. **The taper of coniferous species with special reference to loblolly pine.** For. Chron., 25 (1): 21-31. 1949.

MAX, T. A.; BURKHART, H. E. **Segmented polynomial regression applied to taper equations.** Forest Science, Washington, v. 22 n. 3, p. 283-289, sept. 1976.

McTAGUE, J. P.; BATISTA, J. L.F.; STEINER, L. H. **Equações de volume total, volume comercial e forma de tronco para plantações de Eucalyptus nos Estados de São Paulo e Rio de Janeiro.** IPEF, Piracicaba, v. 41/42, p. 56-63. 1989.

MOSER, J.W. & BEERS, T.W. **Parameter estimation in non linear volume equation.** Journal For., 07 (12): p. 878-879. 1969.

MOURA, V.P.G. **Recursos Genéticos - O Gênero *Eucalyptus* foi reduzido em número de espécies e criado *Corymbia*.** (disponível na internet <[www.giacometti.org.br](http://www.giacometti.org.br)> s.d.).

MOURA, J.B. **Estudo da forma do fuste e comparação de métodos de estimativa volumétrica de espécies florestais da Amazônia brasileira.** Curitiba, Setor de Ciências Agrárias, U.F.P., 114p. 1994. (Tese - Mestrado em Ciências Florestais).

PAULA NETO, F. de. **Construction of standart volume table for *Eucalyptus saligna* in the Iron Region of Brazil.** Lafayette, Purdue University, 101p. 1975. (Tese Ph. D.).

PAULA NETO, F. de. **Tabela volumétrica com e sem casca para *Eucalyptus saligna*.** Viçosa. Rev. Árvore. SIF, 1 (1): 31-53, 1977.

PRODAN, M. **Holzmesselehre.** Frankfurt am mains J.D. Souerlanders Verlag, 644p. 1965.

ROSOT, N. C. **Estimativa do peso de madeira seca de *Pinus taeda* L. por ocasião do primeiro desbaste.** Curitiba: UFPR, 1980. (Dissertação - mestrado em Engenharia Florestal).

ROSOT, M. A. D. **Estudo Comparativo de Métodos para Avaliação Volumétrica por Unidade de Área em Povoamentos de *Pinus taeda* L.** Curitiba: UFPR. 163p. 1989. (Dissertação - Mestrado em Engenharia Florestal).

SCARPINELLI, G. D. **Reflorestamento no Brasil e o Protocolo de Quioto.** São Paulo: USP. 181p. 2002. (Dissertação – Mestrado em Energia).

SCHNEIDER, P.R.; FINGER, C.A.G.; KLEIN, J.E.M.; TOTTI, J.A. & BAZZO, J.L. **Forma de tronco e sortimento de madeira para *Eucalyptus grandis* Maiden, para o Estado do Rio Grande do Sul.** Ciência Florestal, v.6, n.1, p.79-88. 1996.

SCOLFORO, J.R.S. **Mensuração Florestal; Módulo 2; Volumetria.** Lavras: ESAL/FAEPE. 1993.

SCOLFORO, J.R.S. **Mensuração Florestal; Módulo 3; Relações Quantitativas, em Volume, Peso e a Relação Hipsométrica.** Lavras: ESAL/FAEPE. 1993.

SCOLFORO, J.R.S. **Técnica de regressão aplicada para estimar: volume, biomassa, relação hipsométrica e múltiplos produtos de madeira.** Lavras: ESAL/FAEPE. 292p 1997.

SCOLFORO, J. R. S.; RIOS, M. S.; OLIVEIRA, A. D.; MELLO, J. M. de; MAESTRI, R. **Acuracidade de equações de afilamento para representar o Perfil do fuste de *Pinus elliottii*.** Revista Cerne, v.4, n.1, p.100-122. 1998.

SILVA, J. A.A.; et al. **Estatística Experimental Aplicada à Ciência Florestal.** Universidade Federal do Pernambuco. Recife. 1982.

SILVA, J.A. **Seleção de parcelas amostrais aplicadas em povoamentos de *Pinus taeda* L. para fins biométricos.** Santa Maria, Universidade Federal. Curso de Pós-Graduação em Engenharia Rural. 69p. 1974. (Tese de Mestrado).

SILVA, J. A. **Funções de Forma dos Troncos de *Pinus taeda*, *Pinus excelsa*, *Abies alba* e *Pinus silvestre*.** In: SEMINÁRIO SOBRE ATUALIDADES E PERSPECTIVAS FLORESTAIS: O uso das funções de forma de tronco em estudo de volumetria de espécies florestais, 5, 1981, Curitiba (PR). ANAIS... Curitiba, p.29-45. 1982. (Documentos, 9).

SILVA, J.A.A.; MACHADO, S.A.; BORDERS, B.E.; BAYLEY, R.L. **Uma nova metodologia para construção de tabelas volumétricas.** In: CONGRESSO FLORESTAL PANAMERICANO (1.: 1993: Curitiba) E CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO (7.: 1993: Curitiba). ANAIS... Curitiba: SBS/SBEF, p.557-559, v.2. 1993.

SILVA, J.C. **Eucalipto - A Madeira do Futuro.** Revista da Madeira, 114p. Curitiba, set. 2001.

SIQUEIRA, J.D.P. **Tabelas de volume para povoamentos nativos de *Araucaria angustifolia* (Bert) O, Ktze, no sul do Brasil.** Curitiba, Setor de Ciências Agrárias. Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, 163p. 1977. (Tese de Mestrado).

SMITH, J.H.G., KER, J.W. & CSMANIA, Z. **Economics of Reforestation of *Douglas Fir*, *Western Hemlock* and *Western Red Cedar* in the Vancouver Forest District.** Vancouver, B. C. 1961. (For. Bull., 3).

SPURR, S.H. **Forest inventory.** New York: Ronald Press, 476p. 1952.

STEEL, R.G.D. & TORRIE, J. M. **Principles and procedures of statistics.** New York, McGraw Hill, 481p. 1960.

VEIGA, J.A.A. **Comparações de equações de volume para *Eucalyptus saligna* Smith I - Equações aritméticas não formais.** Curitiba, Revista Floresta, v. 4, nº 1, p. 81-94. 1972.

VEIGA, J.A.A. **Comparações de equações de volume para *Eucalyptus saligna* Smith II - Equações aritméticas formais.** Curitiba, Revista Floresta, v. 4, nº 1, p. 95-104. 1972.

VEIGA, J.A.A. **Comparações de equações de volume para *Eucalyptus saligna* Smith III - Equações logarítmicas formais e não formais.** Curitiba, Revista Floresta, v. 4, nº 3, p. 5-14. 1973.

YARED, J.A.G.; LEITE, H.G. & SILVA, R.R.F. **Volumetria e fator de forma de morototó (*Didymopanax morototonii* AUBL. DECNE. ET PLANCH.) sob diferentes espaçamentos.** In: Congresso Florestal Brasileiro, 7 e Congresso Florestal Pan-americano, 1, Curitiba. ANAIS..., vol.2, p. 570-573. 1993.

## **ANEXO A**

TABELA 2.11A - COEFICIENTES E ESTATÍSTICAS DOS 9 MODELOS VOLUMÉTRICOS TESTADOS PARA O TRATAMENTO B (IDADE 4,5 ANOS) COM CASCA.

Modelo	$\beta_0$	$\beta_1$	$\beta_2$	$\beta_3$	$\beta_4$	$\beta_5$	$R^2_{aj.}$	$S_{yx}$	$S_{yx\%}$	F
1	-0,034368	0,003226	0,000790				0,9943	0,01104	5,93	3.872,52
2	0,010755	0,000033					0,9949	0,01048	5,62	8.609,09
3		0,000034					0,9701	0,01246	6,69	6.075,18
4	-9,966714	0,968068					0,9972	0,05969	6,21	15.839,09
5	-0,039038	0,008404	-0,000381	0,000036			0,9978	0,00685	3,68	6.731,15
6	0,076681	-0,016941	-0,004666	0,000666	-0,000007	0,001052	0,9985	0,00560	3,01	6.041,14
7	0,000694	2,050429					0,9818	0,01960	10,52	3.673,59
8	-8,374403	2,457553					0,9879	0,12499	13,94	3.579,09
9	-10,783231	1,652453	1,478206				0,9985	0,04438	3,94	14.341,65

TABELA 2.12A - COEFICIENTES E ESTATÍSTICAS DOS 9 MODELOS VOLUMÉTRICOS TESTADOS PARA O TRATAMENTO B (IDADE 4,5 ANOS) SEM CASCA.

Modelo	$\beta_0$	$\beta_1$	$\beta_2$	$\beta_3$	$\beta_4$	$\beta_5$	$R^2_{aj.}$	$S_{yx}$	$S_{yx\%}$	F
1	-0,026283	0,001941	0,000729				0,9937	0,01026	6,30	3.497,02
2	0,008017	0,000029					0,9945	0,00960	5,89	8.000,05
3		0,000030					0,9703	0,01080	6,63	6.305,28
4	-10,230135	0,982861					0,9975	0,05844	7,03	17.297,92
5	-0,029422	0,006015	-0,000209	0,000029			0,9966	0,00760	4,67	4.256,36
6	0,044188	-0,009441	-0,003224	0,000420	0,000002	0,000671	0,9969	0,00727	4,46	2.792,25
7	0,000492	2,143229					0,9919	0,01155	7,09	9.071,62
8	-8,673896	2,517300					0,9905	0,11283	15,26	4.607,98
9	-10,844231	1,737860	1,379306				0,9980	0,05132	5,24	11.221,45

TABELA 2.13A - COEFICIENTES E ESTATÍSTICAS DOS 9 MODELOS VOLUMÉTRICOS TESTADOS PARA O TRATAMENTO C (IDADE 6,1 ANOS) COM CASCA.

Modelo	$\beta_0$	$\beta_1$	$\beta_2$	$\beta_3$	$\beta_4$	$\beta_5$	$R^2_{aj.}$	$S_{yx}$	$S_{yx\%}$	F
1	0,015924	-0,007096	0,001256				0,9931	0,01454	7,06	3.147,79
2	0,002856	0,000035					0,9970	0,00963	4,67	14.429,11
3		0,000035					0,9742	0,00970	4,71	14.214,40
4	-9,939262	0,964719					0,9974	0,06324	4,84	16.857,92
5	0,001093	-0,000988	0,000284	0,000026			0,9973	0,00903	4,38	5.470,59
6	0,012278	-0,002963	-0,000616	0,000343	0,000023	0,000103	0,9972	0,00924	4,49	3.133,45
7	0,000326	2,352283					0,9934	0,01398	6,79	11.611,83
8	-8,542923	2,534067					0,9959	0,07914	9,80	10.750,96
9	-9,378571	2,182736	0,568569				0,9988	0,04329	4,91	18.015,44

TABELA 2.14A - COEFICIENTES E ESTATÍSTICAS DOS 9 MODELOS VOLUMÉTRICOS TESTADOS PARA O TRATAMENTO C (IDADE 6,1 ANOS) SEM CASCA.

Modelo	$\beta_0$	$\beta_1$	$\beta_2$	$\beta_3$	$\beta_4$	$\beta_5$	$R^2_{aj.}$	$S_{yx}$	$S_{yx\%}$	F
1	0,018117	-0,007123	0,001145				0,9906	0,01508	8,28	2.316,17
2	0,001265	0,000031					0,9968	0,00874	4,80	13.868,78
3		0,000031					0,9742	0,00868	4,77	14.061,74
4	-10,119046	0,970947					0,9973	0,06490	5,17	16.216,98
5	0,002265	-0,000595	0,000106	0,000028			0,9968	0,00886	4,87	4.502,54
6	0,007494	-0,002380	0,000032	0,000176	0,000026	0,000046	0,9966	0,00908	4,99	2.571,86
7	0,000265	2,380838					0,9913	0,01432	7,87	8.370,08
8	-8,711902	2,549719					0,9953	0,08592	10,46	9.232,69
9	-9,601311	2,175787	0,605147				0,9984	0,04918	5,40	14.138,52

TABELA 2.15A - COEFICIENTES E ESTATÍSTICAS DOS 9 MODELOS VOLUMÉTRICOS TESTADOS PARA O TRATAMENTO D (IDADE 6,5 ANOS) COM CASCA.

Modelo	$\beta_0$	$\beta_1$	$\beta_2$	$\beta_3$	$\beta_4$	$\beta_5$	$R^2_{aj.}$	$S_{yx}$	$S_{yx\%}$	F
1	-0,028340	0,002142	0,000773				0,9641	0,04665	15,48	592,21
2	0,016565	0,000030					0,9852	0,02992	9,93	2.939,85
3		0,000031					0,9609	0,03150	10,45	2.646,62
4	-9,791697	0,941303					0,9973	0,06532	9,12	16.096,04
5	-0,047880	0,009043	-0,000395	0,000036			0,9884	0,02658	8,82	1.245,34
6	0,130319	-0,026365	-0,007062	0,000611	-0,000006	0,001458	0,9898	0,02487	8,25	855,30
7	0,000712	2,039735					0,9649	0,04565	15,15	2.445,02
8	-8,097779	2,314006					0,9909	0,11923	18,80	4.801,44
9	-9,792975	1,882261	0,942029				0,9972	0,06610	9,22	7.860,87

TABELA 2.16A - COEFICIENTES E ESTATÍSTICAS DOS 9 MODELOS VOLUMÉTRICOS TESTADOS PARA O TRATAMENTO D (IDADE 6,5 ANOS) SEM CASCA.

Modelo	$\beta_0$	$\beta_1$	$\beta_2$	$\beta_3$	$\beta_4$	$\beta_5$	$R^2_{aj.}$	$S_{yx}$	$S_{yx\%}$	F
1	-0,026939	0,002149	0,000674				0,9562	0,04562	17,18	480,80
2	0,014167	0,000027					0,9811	0,02992	11,27	2.289,65
3		0,000028					0,9570	0,03100	11,67	2.129,35
4	-10,030507	0,953456					0,9963	0,07712	10,79	11.847,40
5	-0,045896	0,008845	-0,000459	0,000035			0,9853	0,02642	9,95	983,45
6	0,118759	-0,024095	-0,006458	0,000479	-0,000004	0,001351	0,9868	0,02507	9,44	656,91
7	0,000635	2,036236					0,9572	0,04457	16,78	1.930,86
8	-8,308283	2,341546					0,9879	0,13928	21,04	3.602,65
9	-10,298614	1,834634	1,106038				0,9964	0,07629	10,13	6.054,19

TABELA 2.17A - COEFICIENTES E ESTATÍSTICAS DOS 9 MODELOS VOLUMÉTRICOS TESTADOS PARA O TRATAMENTO E (IDADE 7,5 ANOS) COM CASCA.

Modelo	$\beta_0$	$\beta_1$	$\beta_2$	$\beta_3$	$\beta_4$	$\beta_5$	$R^2_{aj.}$	$S_{yx}$	$S_{yx\%}$	F
1	0,031149	-0,011125	0,001522				0,9938	0,03938	6,94	3.510,70
2	0,029015	0,000032					0,9955	0,03329	5,87	9.842,75
3		0,000033					0,9713	0,03841	6,77	7.382,53
4	-9,803100	0,953481					0,9988	0,04639	5,82	36.423,88
5	-0,055661	0,008705	-0,000103	0,000030			0,9968	0,02835	5,00	4.530,79
6	0,067312	-0,027472	0,002168	0,001243	0,000000	0,000608	0,9973	0,02596	4,57	3.244,10
7	0,000653	2,154102					0,9816	0,06689	11,79	4.188,29
8	-8,333514	2,474567					0,9926	0,11509	9,34	5.880,88
9	-10,099746	1,786723	1,150967				0,9990	0,04309	5,65	21.107,59

TABELA 2.18A - COEFICIENTES E ESTATÍSTICAS DOS 9 MODELOS VOLUMÉTRICOS TESTADOS PARA O TRATAMENTO E (IDADE 7,5 ANOS) SEM CASCA.

Modelo	$\beta_0$	$\beta_1$	$\beta_2$	$\beta_3$	$\beta_4$	$\beta_5$	$R^2_{aj.}$	$S_{yx}$	$S_{yx\%}$	F
1	0,034450	-0,010888	0,001376				0,9911	0,04189	8,34	2.452,40
2	0,023430	0,000029					0,9945	0,03290	6,55	7.978,69
3		0,000030					0,9706	0,03624	7,21	6.566,38
4	-9,981538	0,959087					0,9982	0,05756	6,66	23.938,34
5	-0,058145	0,010263	-0,000357	0,000032			0,9954	0,03008	5,99	3.185,59
6	0,032940	-0,016436	0,001570	0,000636	0,000010	0,000450	0,9957	0,02929	5,83	2.016,55
7	0,000341	2,329077					0,9913	0,04090	8,14	10.096,09
8	-8,499718	2,487873					0,9909	0,12794	10,33	4.810,25
9	-10,446274	1,729803	1,268475				0,9986	0,05042	6,31	15.604,01

TABELA 2.19A - COEFICIENTES E ESTATÍSTICAS DOS 9 MODELOS VOLUMÉTRICOS TESTADOS PARA O TRATAMENTO F (IDADE 9 ANOS) COM CASCA.

Modelo	$\beta_0$	$\beta_1$	$\beta_2$	$\beta_3$	$\beta_4$	$\beta_5$	$R^2_{aj.}$	$S_{vx}$	$S_{vx\%}$	F
1	0,023663	-0,009418	0,001404				0,9876	0,04905	10,32	1.756,71
2	0,012554	0,000034					0,9948	0,03177	6,68	8.429,35
3		0,000034					0,9718	0,03259	6,86	8.008,51
4	-10,013124	0,974258					0,9971	0,07428	6,51	15.138,54
5	-0,028141	0,005068	-0,000169	0,000035			0,9950	0,03117	6,56	2.921,11
6	0,062041	-0,005321	-0,004811	0,000067	0,000024	0,000505	0,9950	0,03130	6,58	1.738,33
7	0,000424	2,283127					0,9878	0,04807	10,11	6.803,06
8	-8,320882	2,455783					0,9949	0,09809	12,66	8.663,38
9	-9,685578	2,049188	0,783495				0,9972	0,07337	7,20	7.759,23

TABELA 2.20A - COEFICIENTES E ESTATÍSTICAS DOS 9 MODELOS VOLUMÉTRICOS TESTADOS PARA O TRATAMENTO F (IDADE 9 ANOS) SEM CASCA.

Modelo	$\beta_0$	$\beta_1$	$\beta_2$	$\beta_3$	$\beta_4$	$\beta_5$	$R^2_{aj.}$	$S_{vx}$	$S_{vx\%}$	F
1	0,024257	-0,009052	0,001264				0,9829	0,05144	12,25	1.262,81
2	0,007977	0,000030					0,9930	0,03284	7,82	6.255,61
3		0,000030					0,9702	0,03293	7,84	6.219,77
4	-10,230978	0,983703					0,9967	0,08012	7,76	13.266,34
5	-0,030886	0,006368	-0,000410	0,000037			0,9934	0,03192	7,60	2.208,71
6	0,060652	-0,004593	-0,004753	-0,000155	0,000026	0,000516	0,9933	0,03207	7,63	1.313,51
7	0,000352	2,301867					0,9833	0,05022	11,95	4.820,43
8	-8,518788	2,478333					0,9935	0,11227	14,36	6.735,59
9	-10,145816	1,993580	0,934104				0,9966	0,08096	8,03	6.496,73

FIGURA 2.5A - GRÁFICO DE DISPERSÃO DE RESÍDUOS EM % EM FUNÇÃO DOS VOLUMESESTIMADOS PELA EQUAÇÃO 6 (MEYER), COM CASCA

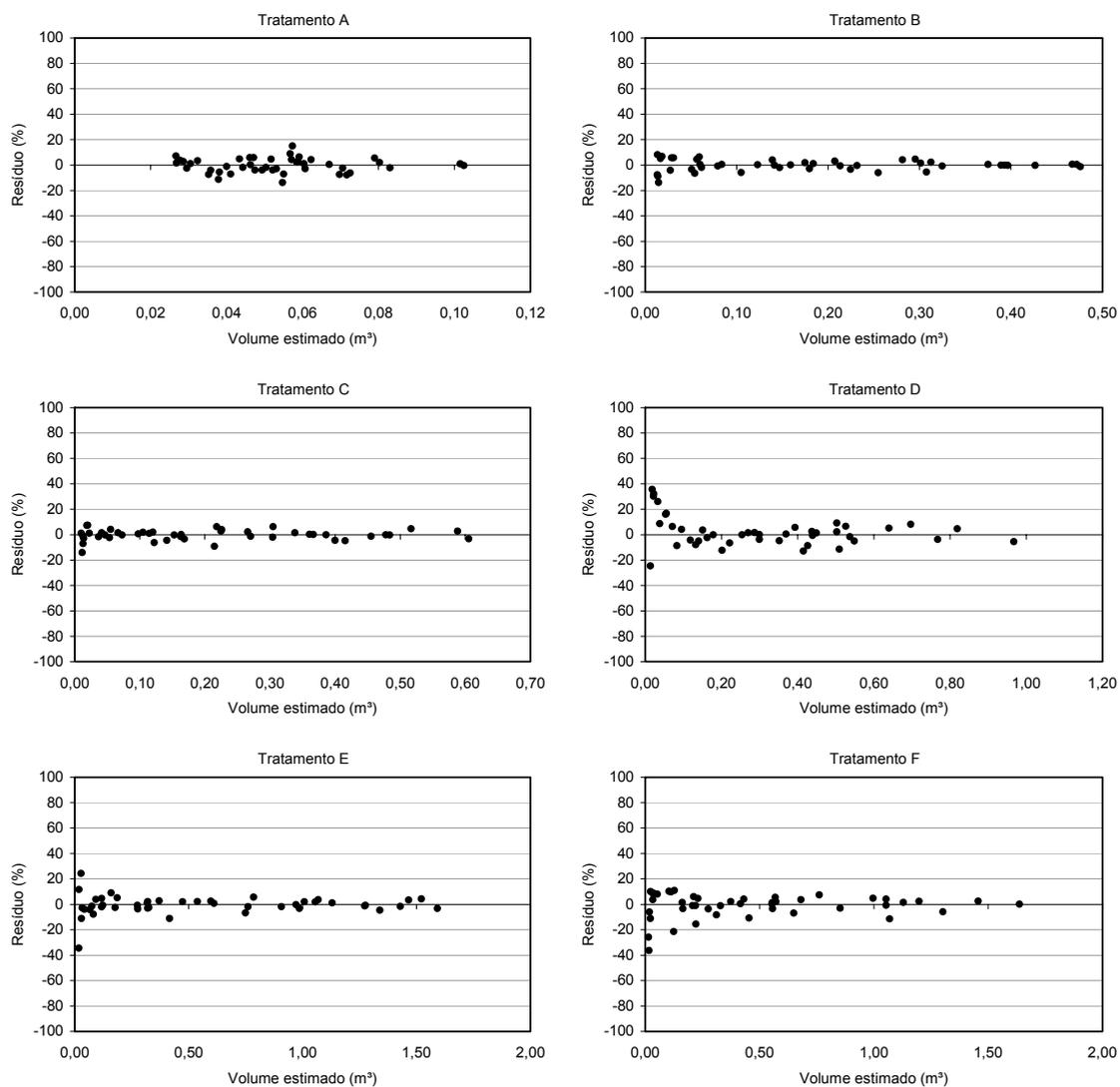


FIGURA 2.6A - GRÁFICO DE DISPERSÃO DE RESÍDUOS EM % EM FUNÇÃO DOS VOLUMES ESTIMADOS PELA EQUAÇÃO 6 (MEYER), SEM CASCA.

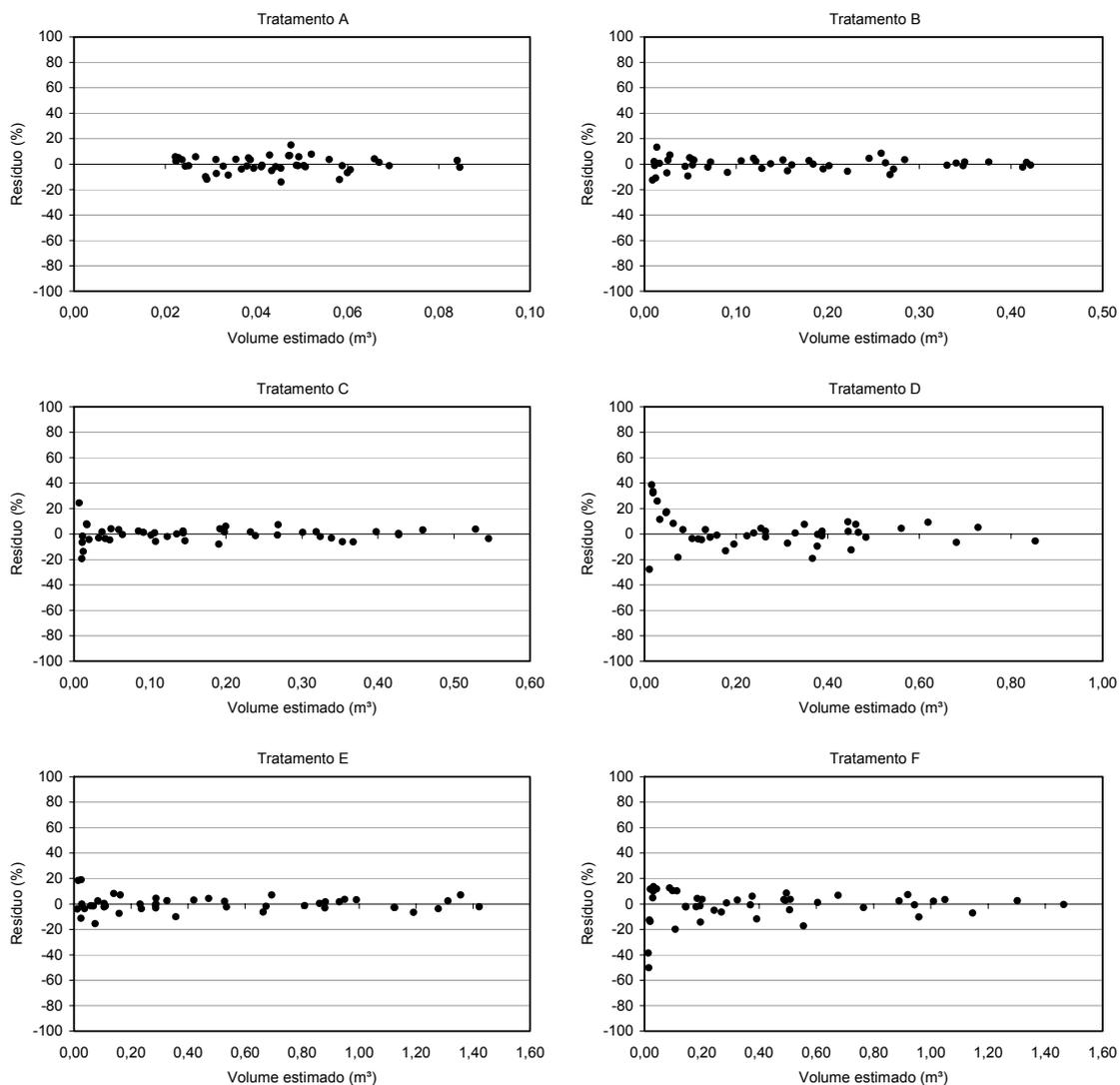


FIGURA 2.7A - GRÁFICO DE DISPERSÃO DE RESÍDUOS EM % EM FUNÇÃO DOS VOLUMES ESTIMADOS PELA EQUAÇÃO 5 (STOATE), COM CASCA.

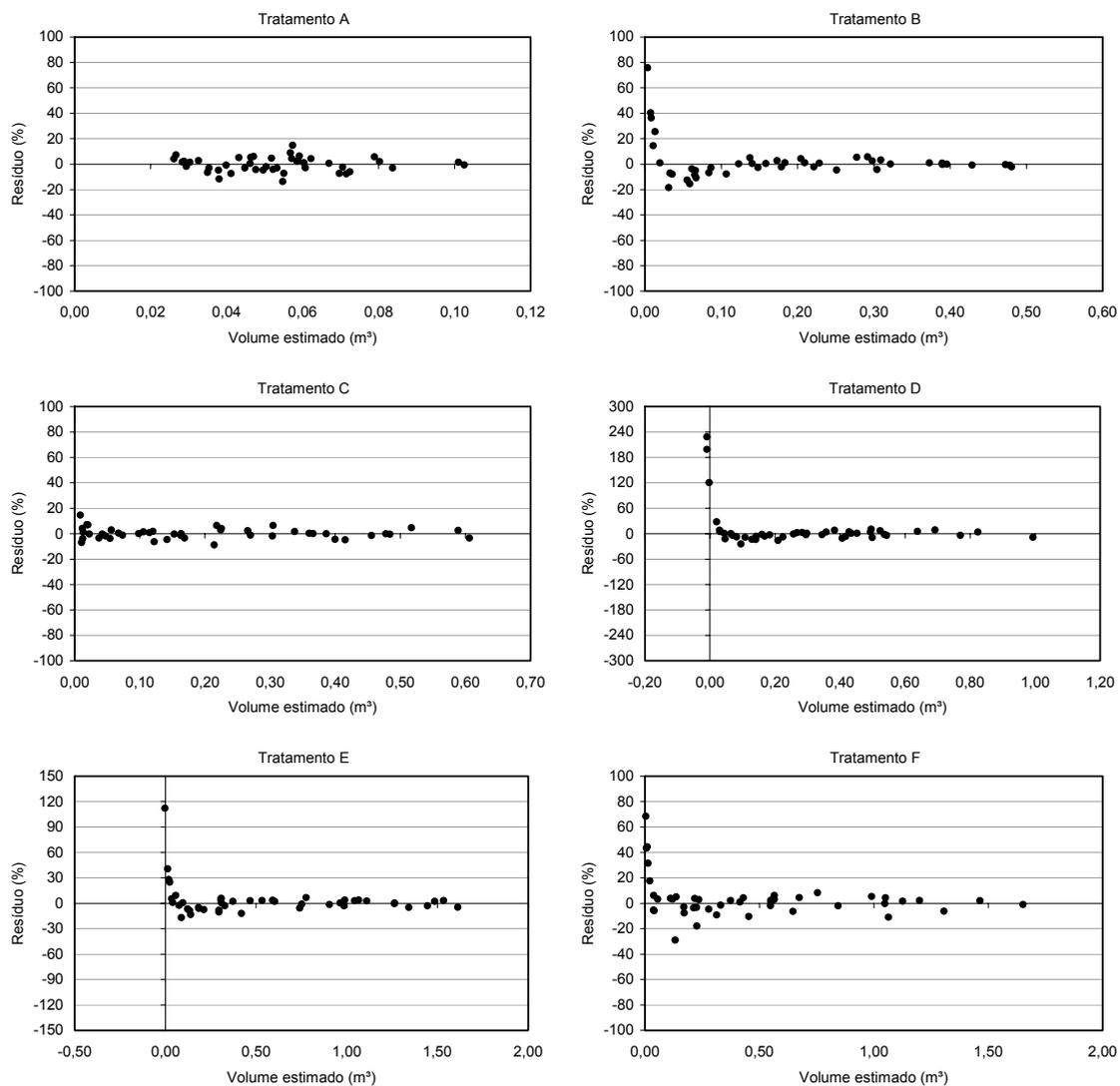


FIGURA 2.8A - GRÁFICO DE DISPERSÃO DE RESÍDUOS EM % EM FUNÇÃO DOS VOLUMES ESTIMADOS PELA EQUAÇÃO 5 (STOATE), SEM CASCA.

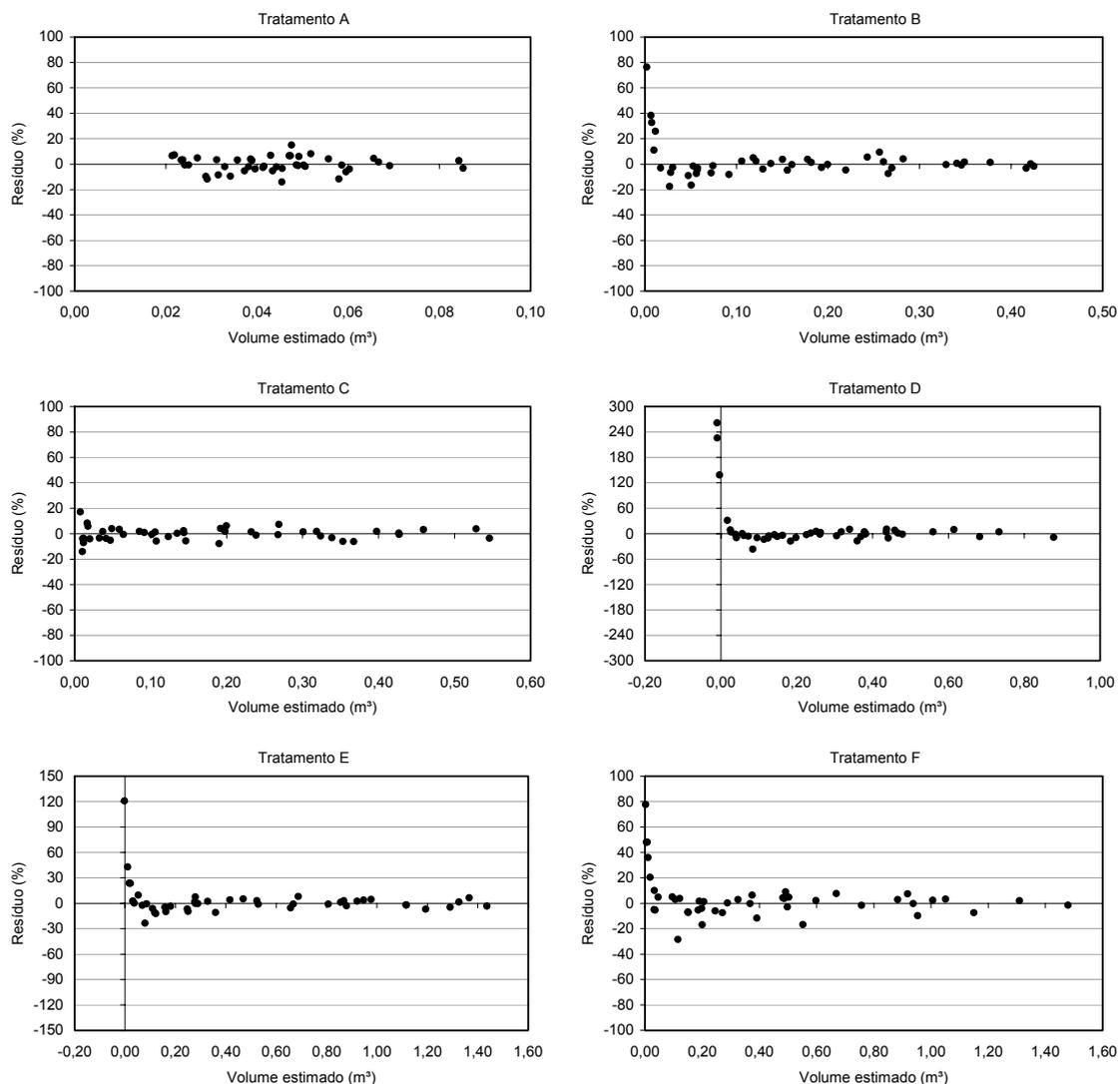


TABELA 4.11A. FATORES DE FORMA MÉDIOS PARA O CONJUNTO TOTAL DE DADOS

Dados	Fator de forma Médio	
	Absoluto	Natural
Com casca	0,4573	0,4946
Sem casca	0,3964	0,4716

TABELA 4.12A - COEFICIENTES E ESTATÍSTICAS PARA OS MODELOS DE SPURR LOGARÍTMICO E DE SCHUMACHER AJUSTADOS PARA O BANCO DE DADOS TOTAL.

	Equação de Volume Geral		
	Com casca	Sem casca	
Coeficientes	b0 =	-9,94733	-10,39193
	b1 =	0,96507	1,85576
	b2 =		1,13021
Estatísticas	Syx% =	8,80	9,10
	R <sup>2</sup> <sub>aj.</sub> =	0,9973	0,9970
	F =	98070,3	45350,2

FIGURA 4.3A - ANÁLISE GRÁFICA DE RESÍDUOS PARA OS MODELOS AJUSTADOS PARA O BANCO DE DADOS TOTAL, COM E SEM CASCA.

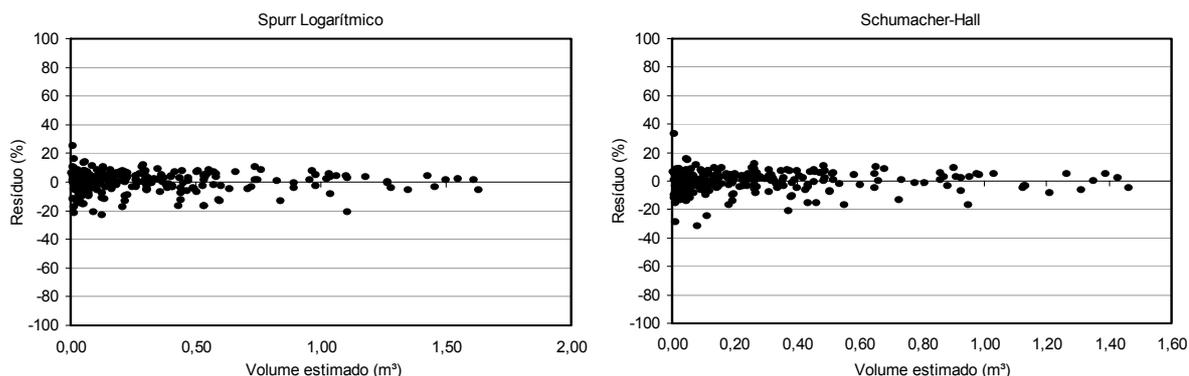


TABELA 4.13A - EXPOENTES, COEFICIENTES E ESTATÍSTICAS PARA A FUNÇÃO DE AFILAMENTO DE HRADEZKY AJUSTADA PARA O BANCO DE DADOS TOTAL.

Função de Afilamento Geral			
		Com casca	Sem casca
Expoentes		1; 15; 0,00001; e 10	1; 10; 0,2; e 2
Coeficientes	b0 =	1738,70605	1,08380
	b1 =	-0,73160	-0,37965
	b2 =	0,22228	-0,14959
	b3 =	-1737,71451	-0,23992
Estatísticas	b4 =	-0,48211	-0,31584
	Syx% =	6,34	5,79
	R <sup>2</sup> <sub>aj.</sub> =	0,9805	0,9832
	F =	49481,4	57614,2

FIGURA 4.4A - ANÁLISE GRÁFICA DE RESÍDUOS PARA A FUNÇÃO DE HRADEZKY AJUSTADA PARA O BANCO DE DADOS TOTAL, COM E SEM CASCA.

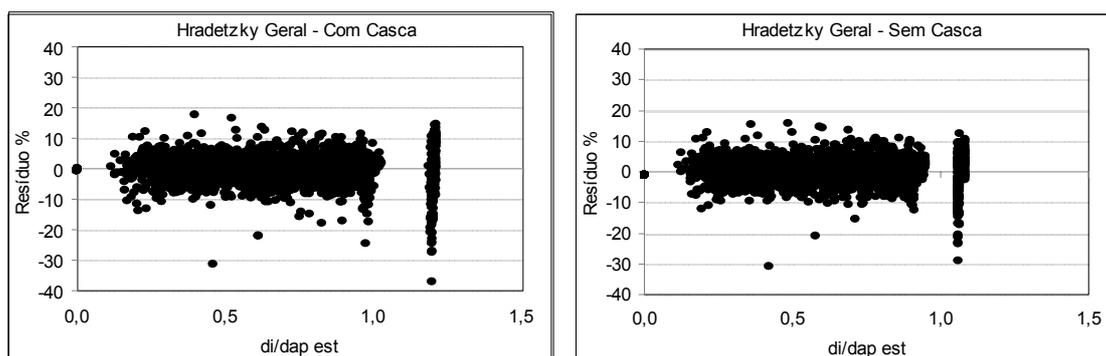


FIGURA 4.5A - PERFIL MÉDIO DOS FUSTES ESTIMADOS PELA FUNÇÃO DE HRADEZKY AJUSTADA PARA O BANCO DE DADOS TOTAL, COM E SEM CASCA.

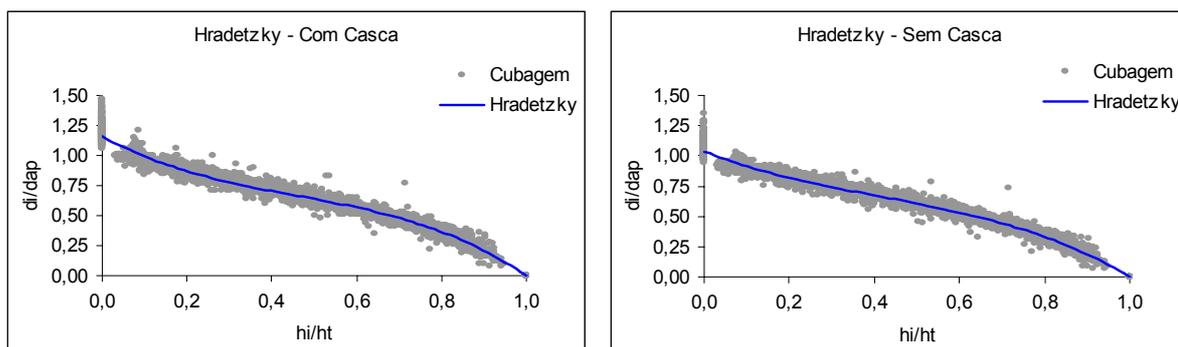


TABELA 4.14A - NÚMERO DE ÁRVORES POR CLASSE DIAMÉTRICA.

Nº	Classe	Número de árvores
	Intervalo	
1	< 4,7	4
2	4,7 - 9,3	110
3	9,4 - 14,0	160
4	14,1 - 18,7	88
5	18,8 - 23,4	84
6	23,5 - 28,0	40
7	> 28	54

TABELA 4.15A - VALORES DE  $\chi^2$  CALCULADOS E NÍVEIS DE SIGNIFICÂNCIA POR CLASSE DIAMÉTRICA.

Classe	Graus de Liberdade	$\chi^2$		Nível de Significância (%)	
		c/c	s/c	c/c	s/c
1	6	1,06822	1,03596	99,93	99,99
2	6	1,00055	1,00078	99,98	99,95
3	6	1,00056	1,00133	99,95	99,38
4	6	1,00164	1,00202	99,80	99,64
5	6	1,00349	1,00377	98,60	98,29
6	6	1,00706	1,00939	98,86	97,60
7	6	1,00525	1,00234	98,78	99,87

TABELA 4.16A - ANÁLISE DE VARIÂNCIA POR CLASSE DE DIÂMETRO COM CASCA.

Classe	FV	GL	SQ	QM	F	Nível de Significância
1	Tratamento	6	0,00001	0,00000	1,77	0,23560
	Erro	7	0,00001	0,00000		
	Total	13	0,00001			
2	Tratamento	6	0,00027	0,00005	0,24	0,96190
	Erro	378	0,07124	0,00019		
	Total	384	0,07151			
3	Tratamento	6	0,00055	0,00009	0,07	0,99890
	Erro	553	0,76984	0,00139		
	Total	559	0,77040			
4	Tratamento	6	0,00233	0,00039	0,15	0,98880
	Erro	301	0,7762	0,00258		
	Total	307	0,7785			
5	Tratamento	6	0,01846	0,00308	0,50	0,80680
	Erro	287	1,75921	0,00613		
	Total	293	1,77767			
6	Tratamento	6	0,03701	0,00617	0,40	0,87670
	Erro	133	2,04120	0,01535		
	Total	139	2,07821			
7	Tratamento	6	0,30968	0,05161	0,58	0,74690
	Erro	182	16,22740	0,08916		
	Total	188	16,53708			

TABELA 4.17A - ANÁLISE DE VARIÂNCIA POR CLASSE DE DIÂMETRO SEM CASCA.

Classe	FV	GL	SQ	QM	F	Nível de Significância
1	Tratamento	6	0,00000	0,00000	0,75	0,62710
	Erro	7	0,00000	0,00000		
	Total	13	0,00001			
2	Tratamento	6	0,00008	0,00001	0,10	0,99680
	Erro	378	0,0553	0,00015		
	Total	384	0,0554			
3	Tratamento	6	0,00007	0,00001	0,01	1,00000
	Erro	553	0,61243	0,00111		
	Total	559	0,6125			
4	Tratamento	6	0,00053	0,00009	0,04	0,99970
	Erro	301	0,6181	0,00205		
	Total	307	0,6187			
5	Tratamento	6	0,00807	0,00135	0,27	0,94860
	Erro	287	1,40562	0,00490		
	Total	293	1,41369			
6	Tratamento	6	0,02594	0,00432	0,34	0,91470
	Erro	133	1,69239	0,01272		
	Total	139	1,71833			
7	Tratamento	6	0,16327	0,02721	0,39	0,88690
	Erro	182	12,80820	0,07037		
	Total	188	12,97147			