

ALEXANDRA CONSUELO DE PLÁCIDO E SILVA BARTOSZECK

**EVOLUÇÃO DA RELAÇÃO HIPSOMÉTRICA E DA DISTRIBUIÇÃO
DIAMÉTRICA EM FUNÇÃO DOS FATORES IDADE, SÍTIO E
DENSIDADE INICIAL EM BRACATINGAIS DA
REGIÃO METROPOLITANA DE CURITIBA**

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

Orientador: Prof. Dr. Sebastião do Amaral Machado

CURITIBA
2000



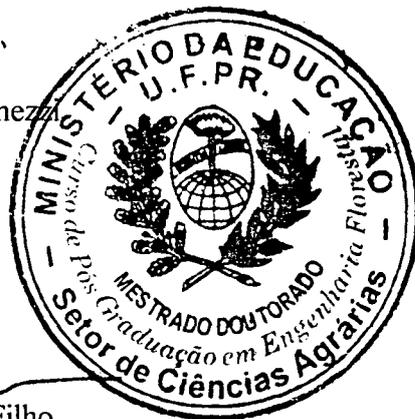
PARECER DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO Nº 298

Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, reuniram-se para realizar a arguição da Dissertação de Mestrado, apresentada pela candidata **ALEXANDRA CONSUELO DE PLÁCIDO E SILVA BARTOSZECK**, sob o título “EVOLUÇÃO DA RELAÇÃO HIPSOMÉTRICA E DA DISTRIBUIÇÃO DIAMÉTRICA EM FUNÇÃO DOS FATORES IDADE, SÍTIO E DENSIDADE INICIAL EM BRAGATINGAIS DA REGIÃO METROPOLITANA DE CURITIBA”, para obtenção do grau de **Mestre** em Ciências Florestais, no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal do Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná, Área de Concentração **MANEJO FLORESTAL**.

Após haver analisado o referido trabalho e argüido a candidata são de parecer pela “**APROVAÇÃO**” da Dissertação.

Curitiba, 19 de maio de 2000

Pesq. Dr. Antônio Aparecido Carpanezi
Primeiro Examinador
EMBRAPA/CNPFloresta



Prof. Dr. Afonso Aguiar Filho
Segundo Examinador
UFPR

Prof. Dr. Sebastião do Amaral Machado
Orientador e Presidente da Banca
UFPR

“Não, não haverá para os ecossistemas aniquilados

Dia seguinte

O ranúnculo da esperança não brota

No dia seguinte

A vida harmoniosa não se restaura

No dia seguinte

O vazio da noite, o vazio de tudo

Será o dia seguinte.”

(Carlos Drummond de Andrade)

AGRADECIMENTOS

Agradeço:

À Universidade Federal do Paraná, ao Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal e à CAPES, pelo suporte financeiro.

Ao Prof. Dr. Sebastião do Amaral Machado, pela orientação, dedicação e, acima de tudo, por ter acreditado em mim.

Ao Prof. Dr. Afonso Figueiredo Filho e ao pesquisador Dr. Edilson Batista de Oliveira pela coorientação, pelas correções, valiosas sugestões e pela amizade.

Ao pesquisador Antônio Carpanezzi, em nome da EMBRAPA-CNPFFlorestas e à COPEL - Divisão do Meio Ambiente pela cessão dos dados utilizados nesta pesquisa.

Aos produtores de bracatinga, especialmente Sr. Daniel Rosenente, Sr. Felício Costa Curta, Sr. Benjamin Scremin e Sr. Antônio Trevisan, pois sem eles este trabalho não poderia ser elaborado.

Ao Prof. Dr. Julio Eduardo Arce, pelas horas cedidas com sua ajuda e opiniões.

Ao Prof. M.Sc. Adalberto Miura por sua constante ajuda e amizade sempre presente.

Às bibliotecárias e demais funcionários da Biblioteca do Setor de Ciências Agrárias e da Biblioteca da EMBRAPA, que com muita paciência ajudaram na busca das referências bibliográficas.

Aos funcionários da Coordenação da Pós-Graduação, Reinaldo e Eliane, que foram sempre muito prestativos.

Aos colegas de turma, Walquíria, Tânia, Ana Maria, Ana Elizabete, Jeferson, Sérgio, Admir, que de alguma forma contribuíram e compartilharam comigo a experiência do mestrado.

Àqueles que, direta ou indiretamente, contribuíram para a execução deste trabalho.

Aos meus pais, por tudo.

A Deus....

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS	viii
LISTA DE FIGURAS	xiv
RESUMO	xviii
ABSTRACT	xix

APRESENTAÇÃO

A BRACATINGA

(*Mimosa scabrella* Bentham)

1 INTRODUÇÃO	1
1.1 OBJETIVOS	3
1.1.1 Objetivo geral	3
1.1.2 Objetivos específicos	3
2 A BRACATINGA	3
2.1 TAXONOMIA	4
2.2 CARACTERIZAÇÃO BOTÂNICA	5
2.3 ÁREA DE DISPERSÃO	6
2.4 CLIMA	8
2.5 SOLOS	9
2.6 OBSERVAÇÕES ECOLÓGICAS	10
2.7 EMPREGOS	12
2.7.1 Lenha	12
2.7.2 Carvão	14
2.7.3 Apicultura	14
2.7.4 Celulose	15
2.7.5 Recuperação de Solos e Áreas Degradadas	15
2.7.6 Forragem	16
2.7.7 Associação com Outros Cultivos	17
2.7.8 Outros Usos	17
2.8 O SISTEMA TRADICIONAL DA BRACATINGA	18
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	23

CAPÍTULO 1

EVOLUÇÃO DA RELAÇÃO HIPSOMÉTRICA EM FUNÇÃO DOS FATORES IDADE, SÍTIO E DENSIDADE INICIAL EM BRACATINGAIS DA REGIÃO METROPOLITANA DE CURITIBA

1 INTRODUÇÃO.....	29
2 REVISÃO DE LITERATURA.....	31
2.1 MODELOS QUE DEFINEM A RELAÇÃO HIPSOMÉTRICA.....	31
2.2 FATORES QUE AFETAM A RELAÇÃO HIPSOMÉTRICA.....	37
2.2.1 Idade.....	37
2.2.2 Sítio.....	40
2.2.3 Densidade inicial.....	42
2.3 COMPARAÇÃO ENTRE AS LINHAS DE REGRESSÃO.....	44
3 MATERIAIS E MÉTODOS.....	46
3.1 MATERIAIS.....	46
3.1.1 Localização e Caracterização da Área de Estudo.....	46
3.1.2 Implantação do experimento.....	49
3.1.2.1 Parcelas permanentes.....	49
3.1.2.2 Parcelas temporárias.....	51
3.1.3 Classificação de sítio.....	52
3.1.4 Base de dados.....	54
3.2 MÉTODOS.....	54
3.2.1 Modelos testados.....	54
3.2.2 Seleção de modelos pelo processo <i>Stepwise</i>	56
3.2.3 Escolha do melhor modelo de ajuste.....	57
3.2.2 Análise dos efeitos de alguns fatores na relação hipsométrica.....	59
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	60
4.1 PARCELAS PERMANENTES.....	60
4.2 PARCELAS TEMPORÁRIAS.....	67
4.2.1 Modelos Genéricos.....	68
4.2.1.1 Correlação linear simples.....	69

4.2.1.2 Método <i>Stepwise</i>	70
4.5 ANÁLISE DO FATOR IDADE NA RELAÇÃO HIPSOMÉTRICA.....	76
4.6 ANÁLISE DO FATOR SÍTIO NA RELAÇÃO HIPSOMÉTRICA.....	83
4.7 ANÁLISE DO FATOR DENSIDADE NA RELAÇÃO HIPSOMÉTRICA.....	88
5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	94
ANEXOS	95
ANEXO 1 - ESTATÍSTICAS DESCRITIVAS	96
ANEXO 2 - ESTIMATIVAS DOS COEFICIENTES DOS MODELOS DE RELAÇÃO HIPSOMÉTRICA	100
ANEXO 3 - ESTATÍSTICAS DE AJUSTE PARA AS PARCELAS PERMANENTES.....	104
ANEXO 4 - ESTATÍSTICAS DE AJUSTE PARA AS PARCELAS TEMPORÁRIAS	104
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	112

CAPÍTULO 2

EVOLUÇÃO DA DISTRIBUIÇÃO DIAMÉTRICA EM FUNÇÃO DOS FATORES IDADE, SÍTIO E DENSIDADE INICIAL EM BRACATINGAIS DA REGIÃO METROPOLITANA DE CURITIBA

1 INTRODUÇÃO.....	119
2 REVISÃO DE LITERATURA	121
2.1 DIÂMETRO	121
2.2 MODELOS QUE DEFINEM A DISTRIBUIÇÃO DIAMÉTRICA	121
2.3 FUNÇÃO DE DENSIDADE DE PROBABILIDADE.....	128
2.3.1 Formas das funções de densidade de probabilidade.....	130
2.4 FATORES QUE AFETAM A DISTRIBUIÇÃO DIAMÉTRICA	136
2.5 COMPARAÇÃO ENTRE AS DISTRIBUIÇÕES.....	137
2.6 SELEÇÃO DE MODELOS	138
3 MATERIAIS E MÉTODOS.....	139
3.1 MATERIAIS	139
3.2 MÉTODOS	139
3.2.1 Número e amplitude de classes diamétricas.....	139

3.2.2 Funções de distribuições diamétricas testadas.....	139
3.2.2.1 Função Normal	140
3.2.2.2 Função Lognormal.....	141
3.2.2.3 Função Gama.....	142
3.2.2.4 Função Beta	143
3.2.2.5 Função Weibull 2 parâmetros	144
3.2.2.6 Função Weibull 3 parâmetros	145
3.2.2.7 Função S_B de Johnson	146
3.2.3 Seleção dos modelos ajustados	148
3.2.4 Análise dos fatores sítio, idade e densidade	148
3.2.4.1 Assimetria e Curtose.....	149
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	151
4.1 CARACTERIZAÇÃO DOS DADOS DAS PARCELAS PERMANENTES.....	151
4.2 CARACTERIZAÇÃO DOS DADOS DAS PARCELAS TEMPORÁRIAS	158
4.3 AJUSTE DAS FUNÇÕES DE DENSIDADE PROBABILÍSTICA PARA AS PARCELAS PERMANENTES.....	159
4.4 AJUSTE DAS FUNÇÕES DE DENSIDADE PROBABILÍSTICA PARA AS PARCELAS TEMPORÁRIAS	167
4.5 ANÁLISE DO FATOR IDADE NA DISTRIBUIÇÃO DIAMÉTRICA	171
4.6 ANÁLISE DO FATOR DENSIDADE NA DISTRIBUIÇÃO DIAMÉTRICA	179
4.7 ANÁLISE DO FATOR SÍTIO NA DISTRIBUIÇÃO DIAMÉTRICA	184
4.4 PARCELAS TEMPORÁRIAS.....	189
5 CONCLUSÕES	192
ANEXOS	194
ANEXO 01 - ESTIMATIVAS DOS PARÂMETROS DAS FUNÇÕES DE DISTRIBUIÇÃO DIAMÉTRICA.....	195
ANEXO 02 - NÚMERO DE ÁRVORES ESTIMADAS POR HECTARE ATRAVÉS DA FUNÇÃO S_B E VALORES DO TESTE χ^2	200
ANEXO 03 - LIMITES DE D (TESTE DE KOLMOGOROV-SMIRNOV).....	208
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	209

LISTA DE TABELAS

APRESENTAÇÃO

TABELA 01 - ENQUADRAMENTO TAXONÔMICO DA BRACATINGA.....	4
---	---

CAPÍTULO 1

TABELA 01 - TRATAMENTOS DE DENSIDADE INICIAL.....	50
TABELA 02 - LOCALIZAÇÃO E IDENTIFICAÇÃO DOS BLOCOS DO EXPERIMENTO DE DENSIDADE INICIAL, DATAS E IDADES DE MEDIÇÃO DAS PARCELAS PERMANENTES.....	51
TABELA 03 - LIMITES INFERIOR (LI) E SUPERIOR (LS) DAS ALTURAS DOMINANTES AO LONGO DAS IDADES E DOS SÍTIOS.....	53
TABELA 04 - CLASSIFICAÇÃO DOS BLOCOS DO EXPERIMENTO PARA AS PARCELAS PERMANENTES.....	53
TABELA 05 - MODELOS TRADICIONAIS TESTADOS PARA A ESTIMATIVA DA ALTURA TOTAL.....	55
TABELA 06 - MODELOS GENÉRICOS TESTADOS PARA A ESTIMATIVA DA ALTURA TOTAL.....	56
TABELA 07 - SOMATÓRIO DA PONTUAÇÃO DAS EQUAÇÕES PARA OS DIFERENTES SÍTIOS, DENSIDADES E IDADES DE MEDIÇÃO PARA AS PARCELAS PERMANENTES, SEGUNDO AS ESTATÍSTICAS ÍNDICE DE SCHLAEGEL E ERRO PADRÃO DA ESTIMATIVA EM PORCENTAGEM.....	62
TABELA 08 - ESTATÍSTICAS DESCRITIVAS PARA AS TESTEMUNHAS DAS PARCELAS PERMANENTES EM CONJUNTO COM AS PARCELAS TEMPORÁRIAS.....	68
TABELA 09 - CORRELAÇÃO SIMPLES ENTRE AS VARIÁVEIS DEPENDENTES E INDEPENDENTES PARA O TOTAL DOS DADOS DAS PARCELAS TEMPORÁRIAS E DA COMBINAÇÃO DAS PARCELAS TEMPORÁRIAS COM AS TESTEMUNHAS DAS PARCELAS PERMANENTES.....	69
TABELA 10 - MODELOS GENÉRICOS UTILIZADOS PARA A ESTIMATIVA DA ALTURA TOTAL OBTIDOS PELO PROCESSO <i>STEPWISE</i>	71
TABELA 11 - ESTATÍSTICAS CORRESPONDENTES AOS MODELOS GENÉRICOS AJUSTADOS PARA AS PARCELAS TEMPORÁRIAS E PARCELAS TEMPORÁRIAS EM CONJUNTO COM AS TESTEMUNHAS DAS PERMANENTES.....	72
TABELA 12 - RESULTADOS DA ANÁLISE DE COVARIÂNCIA PARA TESTAR O EFEITO DA	

IDADE APLICANDO O MODELO 10 PARA OS DADOS DO SÍTIO I, TESTEMUNHA E A COMBINAÇÃO DAS IDADES 3,9 E 4,8 ANOS.....	78
TABELA 13 - VALORES DO TESTE F ENCONTRADOS PARA A ANÁLISE DE COVARIÂNCIA ENVOLVENDO A COMBINAÇÃO DAS IDADES 3,9 E 4,8 ANOS, PARA O SÍTIO I E OS 4 TRATAMENTOS DE DENSIDADE INICIAL, PARA AVALIAÇÃO DO FATOR IDADE.....	78
TABELA 14 - VALORES DO TESTE F ENCONTRADOS PARA A ANÁLISE DE COVARIÂNCIA ENVOLVENDO A COMBINAÇÃO DAS 4 IDADES DE MEDIÇÃO PARA O SÍTIO II E OS 4 TRATAMENTOS DE DENSIDADE INICIAL, PARA AVALIAÇÃO DO FATOR IDADE.....	80
TABELA 15 - VALORES DO TESTE F ENCONTRADOS PARA A ANÁLISE DE COVARIÂNCIA ENVOLVENDO A COMBINAÇÃO DAS 4 IDADES DE MEDIÇÃO PARA O SÍTIO III E OS 4 TRATAMENTOS DE DENSIDADE INICIAL, PARA AVALIAÇÃO DO FATOR IDADE.....	81
TABELA 16 - VALORES DO TESTE F ENCONTRADOS PARA A ANÁLISE DE COVARIÂNCIA ENVOLVENDO A COMBINAÇÃO DOS 3 SÍTIOS NAS VÁRIAS IDADES DE MEDIÇÃO E OS 4 TRATAMENTOS DE DENSIDADE INICIAL, PARA AVALIAÇÃO DO EFEITO DO FATOR SÍTIO.....	87
TABELA 17 - VALORES DO TESTE F ENCONTRADOS PARA A ANÁLISE DE COVARIÂNCIA ENVOLVENDO A COMBINAÇÃO DOS 4 TRATAMENTOS DE DENSIDADE INICIAL PARA O SÍTIO I, IDADES 3,9 E 4,8 ANOS, PARA AVALIAÇÃO DO EFEITO DO FATOR DENSIDADE.....	89
TABELA 18 - VALORES DO TESTE F ENCONTRADOS PARA A ANÁLISE DE COVARIÂNCIA ENVOLVENDO A COMBINAÇÃO DOS 4 TRATAMENTOS DE DENSIDADE INICIAL PARA O SÍTIO II, IDADES 4,1 A 7,5 ANOS, PARA AVALIAÇÃO DO EFEITO DO FATOR DENSIDADE.....	91
TABELA 19 - VALORES DO TESTE F ENCONTRADOS PARA A ANÁLISE DE COVARIÂNCIA ENVOLVENDO A COMBINAÇÃO DOS 4 TRATAMENTOS DE DENSIDADE INICIAL PARA O SÍTIO III, IDADES 4,2 A 7,6 ANOS, PARA AVALIAÇÃO DO EFEITO DO FATOR DENSIDADE.....	92
TABELA 20 - ESTATÍSTICAS DESCRITIVAS DAS PARCELAS PERMANENTES	96
TABELA 21 - ESTATÍSTICAS DESCRITIVAS DAS PARCELAS TEMPORÁRIAS.....	99
TABELA 22 - ESTIMATIVAS DOS COEFICIENTES DOS MODELOS DE RELAÇÃO HIPSOMÉTRICA QUE MAIS SE DESTACARAM, PARA AS VÁRIAS COMBINAÇÕES DE SÍTIO, IDADE E DENSIDADE INICIAL DAS PARCELAS	

PERMANENTES.....	100
TABELA 23 - ESTIMATIVAS DOS COEFICIENTES DOS MODELOS DE RELAÇÃO HIPSOMÉTRICA QUE MAIS SE DESTACARAM, PARA AS VÁRIAS COMBINAÇÕES DE SÍTIO E IDADE DAS PARCELAS TEMPORÁRIAS.....	102
TABELA 24 - ESTIMATIVAS DOS COEFICIENTES DOS MODELOS GENÉRICOS DE RELAÇÃO DE HIPSOMÉTRICA, PARA AS PARCELAS TEMPORÁRIAS E TEMPORÁRIAS EM CONJUNTO COM AS TESTEMUNHAS DAS PERMANENTES.....	103
TABELA 25 - ESTATÍSTICAS DE AJUSTE PARA OS DIVERSOS MODELOS DE RELAÇÃO HIPSOMÉTRICA TESTADOS PARA AS IDADES 3,9 E 4,8 ANOS, PARA OS 4 TRATAMENTOS DE DENSIDADE INICIAL NO SÍTIO I.....	104
TABELA 26 - ESTATÍSTICAS DE AJUSTE PARA OS DIVERSOS MODELOS DE RELAÇÃO HIPSOMÉTRICA TESTADOS PARA AS IDADES 4,1 E 5,0 ANOS, PARA OS 4 TRATAMENTOS DE DENSIDADE INICIAL NO SÍTIO II.....	105
TABELA 27 - ESTATÍSTICAS DE AJUSTE PARA OS DIVERSOS MODELOS DE RELAÇÃO HIPSOMÉTRICA TESTADOS PARA AS IDADES 6,3 E 7,5 ANOS, PARA OS 4 TRATAMENTOS DE DENSIDADE INICIAL NO SÍTIO II.....	106
TABELA 28 - ESTATÍSTICAS DE AJUSTE PARA OS DIVERSOS MODELOS DE RELAÇÃO HIPSOMÉTRICA TESTADOS PARA AS IDADES 4,2 E 5,4 ANOS, PARA OS 4 TRATAMENTOS DE DENSIDADE INICIAL NO SÍTIO III.....	107
TABELA 29 - ESTATÍSTICAS DE AJUSTE PARA OS DIVERSOS MODELOS DE RELAÇÃO HIPSOMÉTRICA TESTADOS PARA AS IDADES 6,3 E 7,6 ANOS, PARA OS 4 TRATAMENTOS DE DENSIDADE INICIAL NO SÍTIO III.....	108
TABELA 30 - ESTATÍSTICAS DE AJUSTE PARA OS DIVERSOS MODELOS DE RELAÇÃO HIPSOMÉTRICA TESTADOS PARA AS IDADES 3 A 6, 9 E 11 ANOS, SÍTIO I.....	109
TABELA 31 - ESTATÍSTICAS DE AJUSTE PARA OS DIVERSOS MODELOS DE RELAÇÃO HIPSOMÉTRICA TESTADOS PARA AS IDADES 3 A 9, 11, 12 E 18 ANOS, SÍTIO II.....	110
TABELA 32 - ESTATÍSTICAS DE AJUSTE PARA OS DIVERSOS MODELOS DE RELAÇÃO HIPSOMÉTRICA TESTADOS PARA AS IDADES 3 A 10, 12 E 13 ANOS, SÍTIO III.....	111

CAPÍTULO 2

TABELA 01 - ESTATÍSTICAS DESCRITIVAS DAS PARCELAS PERMANENTES	152
TABELA 02a - NÚMERO DE ÁRVORES/HA POR CLASSE DIAMÉTRICA PARA OS DIFERENTES SÍTIOS, IDADES E DENSIDADES DAS PARCELAS PERMANENTES	154
TABELA 02b - NÚMERO DE ÁRVORES/HA EM PORCENTAGEM POR CLASSE DIAMÉTRICA PARA OS DIFERENTES SÍTIOS, IDADES E DENSIDADES DAS PARCELAS PERMANENTES	156
TABELA 03 - ESTATÍSTICAS DESCRITIVAS DAS PARCELAS TEMPORÁRIAS.....	158
TABELA 04 - DISTRIBUIÇÃO DE FREQUÊNCIA DIAMÉTRICA PELA FUNÇÃO WEIBULL, SAÍDA DO PROGRAMA STATISTICA 5.1, PARA O SÍTIO II, IDADE 4,1 ANOS E DENSIDADE INICIAL TESTEMUNHA	160
TABELA 05 - ESTATÍSTICA KOLMOGOROV-SMIRNOV PARA AS DISTRIBUIÇÕES PROBABILÍSTICAS TESTADAS PARA AS PARCELAS PERMANENTES NAS IDADES 3,9 E 4,8 ANOS, NOS 4 TRATAMENTOS DE DENSIDADE INICIAL E NO SÍTIO I.....	163
TABELA 06 - ESTATÍSTICA KOLMOGOROV-SMIRNOV PARA AS DISTRIBUIÇÕES PROBABILÍSTICAS TESTADAS PARA AS PARCELAS PERMANENTES NAS IDADES 4,1 A 7,5 ANOS, NOS 4 TRATAMENTOS DE DENSIDADE INICIAL E NO SÍTIO II.....	164
TABELA 07 - ESTATÍSTICA KOLMOGOROV-SMIRNOV PARA AS DISTRIBUIÇÕES PROBABILÍSTICAS TESTADAS PARA AS PARCELAS PERMANENTES NAS IDADES 4,2 A 7,6 ANOS, NOS 4 TRATAMENTOS DE DENSIDADE INICIAL E NO SÍTIO III.....	165
TABELA 08 - ESTATÍSTICA KOLMOGOROV-SMIRNOV PARA AS DISTRIBUIÇÕES TESTADAS PARA AS PARCELAS TEMPORÁRIAS NAS IDADES 3 A 6 E 9 A 11 ANOS, SÍTIO I.	168
TABELA 09 - ESTATÍSTICA KOLMOGOROV-SMIRNOV PARA AS DISTRIBUIÇÕES TESTADAS PARA AS PARCELAS TEMPORÁRIAS PARA AS IDADES 3 A 9, 11, 12 E 18 ANOS NO SÍTIO II E PARA AS IDADES 3 A 10, 12, 13 ANOS NO SÍTIO III.	169
TABELA 10 - NÚMERO DE ÁRVORES ESTIMADAS POR HECTARE ATRAVÉS DA FUNÇÃO S_b , POR CLASSE DIAMÉTRICA PARA AS IDADES 3,9 E 4,8 ANOS, NO SÍTIO I, PARA OS 4 TRATAMENTOS DE DENSIDADE INICIAL.	175
TABELA 11 - VALORES DO TESTE χ^2 ENVOLVENDO A COMBINAÇÃO DAS IDADES 3,9 E	

4,8 ANOS, NO SÍTIO I, PARA OS 4 TRATAMENTOS DE DENSIDADE INICIAL, PARA AVALIAÇÃO DO FATOR IDADE.	175
TABELA 12 - LIMITES DA DISTRIBUIÇÃO DE QUI-QUADRADO (χ^2)	176
TABELA 13 - NÚMERO DE ÁRVORES ESTIMADAS POR HECTARE POR MEIO DA FUNÇÃO S_B , POR CLASSE DIAMÉTRICA PARA AS IDADES 4,1 A 7,5 ANOS, NO SÍTIO II, PARA OS 4 TRATAMENTOS DE DENSIDADE INICIAL.	177
TABELA 14 - VALORES DO TESTE χ^2 ENVOLVENDO A COMBINAÇÃO DAS IDADES 4,1 A 7,5 ANOS, PARA O SÍTIO II E OS 4 TRATAMENTOS DE DENSIDADE INICIAL, PARA AVALIAÇÃO DO FATOR IDADE.	178
TABELA 15 - NÚMERO DE ÁRVORES ESTIMADAS POR HECTARE ATRAVÉS DA FUNÇÃO S_B , POR CLASSE DIAMÉTRICA PARA DENSIDADES INICIAIS TESTEMUNHA, 2.000 ÁRV./HA, 4.000 ÁRV./HA E 8.000 ÁRV./HA PARA AS IDADES 3,9 E 4,8, SÍTIO I	183
TABELA 16 - VALORES DO TESTE χ^2 ENVOLVENDO A COMBINAÇÃO DAS DENSIDADES INICIAIS TESTEMUNHA, 2.000 ÁRV./HA, 4.000 ÁRV./HA E 8.000 ÁRV./HA NAS IDADES 3,9 E 4,8 ANOS DO SÍTIO I PARA AVALIAÇÃO DO FATOR DENSIDADE.....	183
TABELA 17 - VALORES DO TESTE χ^2 ENVOLVENDO A COMBINAÇÃO DOS SÍTIOS I, II E III NAS DENSIDADES INICIAIS TESTEMUNHA, 2.000 ÁRV./HA, 4.000 ÁRV./HA E 8.000 ÁRV./HA NAS VÁRIAS IDADES DE MEDIÇÃO PARA AVALIAÇÃO DO FATOR SÍTIO.	188
TABELA 18 - NÚMERO DE ÁRVORES ESTIMADAS POR HECTARE ATRAVÉS DA FUNÇÃO S_B , POR CLASSE DIAMÉTRICA, PARA AS DIFERENTES IDADES DAS PARCELAS TEMPORÁRIAS E SÍTIO I.	191
TABELA 19 - ESTIMATIVAS DOS PARÂMETROS DAS FUNÇÕES DE DISTRIBUIÇÃO DIAMÉTRICA PARA AS VÁRIAS COMBINAÇÕES DE SÍTIO, IDADE E DENSIDADE INICIAL DAS PARCELAS PERMANENTES.....	195
TABELA 20 - ESTIMATIVAS DOS PARÂMETROS DAS FUNÇÕES DE DISTRIBUIÇÃO DIAMÉTRICA PARA AS VÁRIAS COMBINAÇÕES DE SÍTIO, IDADE E DENSIDADE INICIAL DAS PARCELAS TEMPORÁRIAS.	198
TABELA 21 - NÚMERO DE ÁRVORES ESTIMADAS POR HECTARE ATRAVÉS DA FUNÇÃO S_B , POR CLASSE DIAMÉTRICA, PARA AS IDADES 4,2 A 7,6 ANOS, SÍTIO III, E OS 4 TRATAMENTOS DE DENSIDADE INICIAL.	200
TABELA 22- VALORES DO TESTE χ^2 ENVOLVENDO A COMBINAÇÃO DAS IDADES 4,2 A 7,6 ANOS, PARA O SÍTIO III E OS 4 TRATAMENTOS DE DENSIDADE INICIAL,	

PARA AVALIAÇÃO DO FATOR IDADE.	201
TABELA 23 - NÚMERO DE ÁRVORES ESTIMADAS POR HECTARE ATRAVÉS DA FUNÇÃO S_B , POR CLASSE DIAMÉTRICA, PARA AS DENSIDADES INICIAIS TESTEMUNHA, 2.000 ÁRV./HA, 4.000 ÁRV./HA E 8.000 ÁRV./HA, PARA AS IDADES 4,1 A 7,5 ANOS, SÍTIO II.....	202
TABELA 24 - VALORES DO TESTE χ^2 ENVOLVENDO A COMBINAÇÃO DAS DENSIDADES INICIAIS TESTEMUNHA, 2.000 ÁRV./HA, 4.000 ÁRV./HA E 8.000 ÁRV./HA NAS IDADES 4,1 A 7,5 ANOS, SÍTIO II, PARA AVALIAÇÃO DO FATOR DENSIDADE.....	203
TABELA 25 - NÚMERO DE ÁRVORES ESTIMADAS POR HECTARE ATRAVÉS DA FUNÇÃO S_B , POR CLASSE DIAMÉTRICA PARA DENSIDADES INICIAIS TESTEMUNHA, 2.000 ÁRV./HA, 4.000 ÁRV./HA E 8.000 ÁRV./HA, PARA AS IDADES 4,2 A 7,6 ANOS, SÍTIO III	204
TABELA 26 - VALORES DO TESTE χ^2 ENVOLVENDO A COMBINAÇÃO DAS DENSIDADES INICIAIS TESTEMUNHA, 2.000 ÁRV./HA, 4.000 ÁRV./HA E 8.000 ÁRV./HA NAS IDADES 4,2 A 7,6 ANOS, SÍTIO III, PARA AVALIAÇÃO DO FATOR DENSIDADE.....	205
TABELA 27 - NÚMERO DE ÁRVORES ESTIMADAS POR HECTARE ATRAVÉS DA FUNÇÃO S_B , POR CLASSE DIAMÉTRICA, PARA AS DIFERENTES IDADES DAS PARCELAS TEMPORÁRIAS E SÍTIO II.	206
TABELA 28 - NÚMERO DE ÁRVORES ESTIMADAS POR HECTARE ATRAVÉS DA FUNÇÃO S_B , POR CLASSE DIAMÉTRICA, PARA AS DIFERENTES IDADES DAS PARCELAS TEMPORÁRIAS E SÍTIO III.	207
TABELA 29 - LIMITES DE D E D_1 NO TESTE DE KOLMOGOROV, PARA O CASO DE UMA AMOSTRA À 5% E 1% DE PROBABILIDADE.	208

LISTA DE FIGURAS

APRESENTAÇÃO

FIGURA 01 - ÁREA DE DISTRIBUIÇÃO NATURAL DA BRACATINGA.....8

CAPÍTULO 1

- FIGURA 01 - FORMA DAS CURVAS DE ALTURA-DIÂMETRO PARA POVOAMENTOS JOVEM E ADULTO..... 38
- FIGURA 02 - CURVAS DE ALTURA DE POVOAMENTOS DE *Pinus sylvestris* COM IDADES CRESCENTES (LINHAS CHEIAS) E DESENVOLVIMENTO DA CURVA DE ALTURA DE UMA CLASSE NORMAL DE MANEJO (LINHA TRACEJADA) 39
- FIGURA 03 - COMPORTAMENTO DAS LINHAS DE REGRESSÃO POR CLASSE DE SÍTIO PARA A IDADE DE 4 ANOS PARA *Pinus taeda*.. 41
- FIGURA 04 - COMPORTAMENTO DA RAZÃO ALTURA-DIÂMETRO EM FUNÇÃO DA IDADE. 42
- FIGURA 05 - LOCALIZAÇÃO DAS ÁREAS DE ESTUDO ONDE FORAM INSTALADAS AS PARCELAS PERMANENTES E TEMPORÁRIAS 47
- FIGURA 06 - DISTRIBUIÇÃO GRÁFICA DE RESÍDUOS EM PORCENTAGEM EM FUNÇÃO DA ALTURA ESTIMADA, PARA OS 12 MODELOS AJUSTADOS PARA A PARCELA PERMANENTE DO SÍTIO I, IDADE 3,9 ANOS E TESTEMUNHA. 64
- FIGURA 07 - CURVAS DE RELAÇÃO HIPSOMÉTRICA, EM FUNÇÃO DAS DENSIDADES INICIAIS PARA AS IDADES 4,2 E 7,6 ANOS NO SÍTIO III, ESTIMADAS PELO MODELO 6 65
- FIGURA 08 - CURVAS DE RELAÇÃO HIPSOMÉTRICA, EM FUNÇÃO DAS DENSIDADES INICIAIS PARA AS IDADES 4,2 E 7,6 ANOS NO SÍTIO III, ESTIMADAS PELO MODELO 5 66
- FIGURA 09 - CURVAS DE RELAÇÃO HIPSOMÉTRICA, EM FUNÇÃO DAS DENSIDADES INICIAIS PARA AS IDADES 4,2 E 7,6 ANOS NO SÍTIO III, ESTIMADAS PELO MODELO 5 66
- FIGURA 10 - CURVAS DE RELAÇÃO HIPSOMÉTRICA, EM FUNÇÃO DAS DENSIDADES INICIAIS PARA AS IDADES 4,2 E 7,6 ANOS NO SÍTIO III ESTIMADAS PELO MODELO 10..... 67
- FIGURA 11 - DISTRIBUIÇÃO GRÁFICA DOS RESÍDUOS EM PORCENTAGEM EM FUNÇÃO DA ALTURA ESTIMADA PARA AS PARCELAS TEMPORÁRIAS..... 74
- FIGURA 12 - DISTRIBUIÇÃO GRÁFICA DOS RESÍDUOS EM PORCENTAGEM EM FUNÇÃO DA ALTURA ESTIMADA PARA AS PARCELAS TEMPORÁRIAS EM CONJUNTO

COM AS TESTEMUNHAS DAS PERMANENTES	75
FIGURA 13 - CURVAS DE RELAÇÃO HIPSOMÉTRICA PARA AS IDADES 3,9 E 4,8 ANOS NO SÍTIO I, PARA OS 4 TRATAMENTOS DE DENSIDADE INICIAL	76
FIGURA 14 - CURVAS DE RELAÇÃO HIPSOMÉTRICA PARA AS IDADES 4,1; 5,0; 6,3 e 7,5 ANOS NO SÍTIO II, PARA OS 4 TRATAMENTOS DE DENSIDADE INICIAL	79
FIGURA 15 - CURVAS DE RELAÇÃO HIPSOMÉTRICA, SÍTIO III IDADES 4,1; 5,4; 6,3; E 7,6 E OS 4 TRATAMENTOS DE DENSIDADE INICIAL.	81
FIGURA 16 - CURVAS DA RELAÇÃO HIPSOMÉTRICA, PARA OS SÍTIOS I, II E III, NAS VÁRIAS IDADES DE MEDIÇÃO E DENSIDADE INICIAL TESTEMUNHA.....	83
FIGURA 17 - CURVAS DA RELAÇÃO HIPSOMÉTRICA, PARA OS SÍTIOS I, II E III, NAS VÁRIAS IDADES DE MEDIÇÃO E DENSIDADE INICIAL 2.000 ÁRV./HA.....	84
FIGURA 18 - CURVAS DA RELAÇÃO HIPSOMÉTRICA, PARA OS SÍTIOS I, II E III, NAS VÁRIAS IDADES DE MEDIÇÃO E DENSIDADE INICIAL 4.000 ÁRV./HA.....	85
FIGURA 19 - CURVAS DA RELAÇÃO HIPSOMÉTRICA, PARA OS SÍTIOS I, II E III, NAS VÁRIAS IDADES DE MEDIÇÃO E DENSIDADE INICIAL 8.000 ÁRV./HA.....	85
FIGURA 20 - CURVAS DE RELAÇÃO HIPSOMÉTRICA, SÍTIO I, PARA AS IDADES 3,9 E 4,8 ANOS, PARA OS 4 TRATAMENTOS DE DENSIDADE INICIAL.....	89
FIGURA 21 - CURVAS DE RELAÇÃO HIPSOMÉTRICA, SÍTIO II, IDADES 4,1 A 7,5 ANOS, PARA OS 4 TRATAMENTOS DE DENSIDADE INICIAL.....	90
FIGURA 22 - CURVAS DE RELAÇÃO HIPSOMÉTRICA, SÍTIO III, IDADES 4,2 A 7,6 ANOS, PARA OS 4 TRATAMENTOS DE DENSIDADE INICIAL.....	92

CAPÍTULO 2

FIGURA 01 - FORMAS DA FUNÇÃO NORMAL	131
FIGURA 02 - FORMAS DA FUNÇÃO LOGNORMAL.....	132
FIGURA 03 - FORMAS DA FUNÇÃO GAMA	132
FIGURA 04 - FORMAS DA FUNÇÃO BETA	133
FIGURA 05 - FORMAS DA FUNÇÃO WEIBULL 2 PARÂMETROS	134
FIGURA 06 - FORMAS DA FUNÇÃO WEIBULL 3 PARÂMETROS.....	135
FIGURA 07 - FORMAS DA FUNÇÃO S_B	135
FIGURA 08 - CURVAS DA DISTRIBUIÇÃO DIAMÉTRICA ESTIMADAS PELAS FUNÇÕES NORMAL, LOGNORMAL, GAMA, WEIBULL 2, WEIBULL 3, BETA E S_B PARA A PARCELA DO SÍTIO I, IDADE 3,9 ANOS E TESTEMUNHA	166
FIGURA 09 - CURVAS DA DISTRIBUIÇÃO DIAMÉTRICA ESTIMADAS PELAS FUNÇÕES NORMAL, LOGNORMAL, GAMA, WEIBULL 2, WEIBULL 3, BETA E S_B PARA A	

PARCELA DO SÍTIO II, IDADE 4,1 ANOS E TESTEMUNHA.....	166
FIGURA 10 - CURVAS DA DISTRIBUIÇÃO DIAMÉTRICA ESTIMADAS PELAS FUNÇÕES NORMAL, LOGNORMAL, GAMA, WEIBULL 2, WEIBULL 3, BETA E S_B PARA A PARCELA DO SÍTIO III, IDADE 4,2 ANOS E TESTEMUNHA	167
FIGURA 11 - EVOLUÇÃO DAS FREQUÊNCIAS ESTIMADAS POR HECTARE PELA FUNÇÃO S_B , PARA AS PARCELAS DO SÍTIO I, EM FUNÇÃO DAS IDADES 3,9 E 4,8 ANOS, PARA OS 4 TRATAMENTOS DE DENSIDADE INICIAL.....	172
FIGURA 12 - EVOLUÇÃO DAS FREQUÊNCIAS ESTIMADAS POR HECTARE PELA FUNÇÃO S_B PARA AS PARCELAS DO SÍTIO II, EM FUNÇÃO DAS IDADES 4,1 A 7,5 ANOS, PARA OS 4 TRATAMENTOS DE DENSIDADE INICIAL.....	173
FIGURA 13 - EVOLUÇÃO DAS FREQUÊNCIAS ESTIMADAS POR HECTARE PELA FUNÇÃO S_B PARA AS PARCELAS DO SÍTIO III, EM FUNÇÃO DAS IDADES 4,2 A 7,6 ANOS, PARA OS 4 TRATAMENTOS DE DENSIDADE INICIAL.....	174
FIGURA 14 - EVOLUÇÃO DAS FREQUÊNCIAS ESTIMADAS PELA FUNÇÃO WEIBULL AJUSTADAS AOS DADOS ORIGINAIS E ESTIMADA EM FUNÇÃO DE D_G	178
FIGURA 15 - EVOLUÇÃO DAS FREQUÊNCIAS ESTIMADAS POR HECTARE PELA FUNÇÃO S_B PARA AS PARCELAS DO SÍTIO I, EM FUNÇÃO DAS DENSIDADES INICIAIS TESTEMUNHA, 2.000 ÁRV./HA, 4.000 ÁRV./HA E 8.000 ÁRV./HA, PARA AS IDADES 3,9 E 4,8 ANOS.....	180
FIGURA 16 - EVOLUÇÃO DAS FREQUÊNCIAS ESTIMADAS POR HECTARE PELA FUNÇÃO S_B PARA AS PARCELAS DO SÍTIO II, EM FUNÇÃO DAS DENSIDADES INICIAIS TESTEMUNHA, 2.000 ÁRV./HA, 4.000 ÁRV./HA E 8.000 ÁRV./HA PARA AS IDADES 4,1 A 7,5 ANOS.....	181
FIGURA 17 - EVOLUÇÃO DAS FREQUÊNCIAS ESTIMADAS POR HECTARE PELA FUNÇÃO S_B PARA AS PARCELAS DO SÍTIO III, EM FUNÇÃO DAS DENSIDADES INICIAIS TESTEMUNHA, 2.000 ÁRV./HA, 4.000 ÁRV./HA E 8.000 ÁRV./HA PARA AS IDADES 4,2 A 7,6 ANOS.....	182
FIGURA 18 - EVOLUÇÃO DAS FREQUÊNCIAS ESTIMADAS POR HECTARE PELA FUNÇÃO S_B , EM FUNÇÃO DOS SÍTIOS I, II E III, PARA AS VÁRIAS IDADES DE MEDIÇÃO E DENSIDADE INICIAL TESTEMUNHA.	185
FIGURA 19 - EVOLUÇÃO DAS FREQUÊNCIAS ESTIMADAS POR HECTARE PELA FUNÇÃO S_B , EM FUNÇÃO DOS SÍTIOS I, II E III, PARA AS VÁRIAS IDADES DE MEDIÇÃO E DENSIDADE INICIAL 2.000 ÁRV./HA.....	186
FIGURA 20 - EVOLUÇÃO DAS FREQUÊNCIAS ESTIMADAS POR HECTARE PELA FUNÇÃO S_B , EM FUNÇÃO DOS SÍTIOS I, II E III, PARA AS VÁRIAS IDADES DE	

MEDIÇÃO E DENSIDADE INICIAL 4.000 ÁRV./HA.....	186
FIGURA 21 - EVOLUÇÃO DAS FREQUÊNCIAS ESTIMADAS POR HECTARE PELA FUNÇÃO S_B , EM FUNÇÃO DOS SÍTIOS I, II E III, PARA AS VÁRIAS IDADES DE MEDIÇÃO E DENSIDADE INICIAL 8.000 ÁRV./HA.....	187
FIGURA 22 - EVOLUÇÃO DAS FREQUÊNCIAS ESTIMADAS POR HECTARE PELA FUNÇÃO S_B PARA AS PARCELAS TEMPORÁRIAS, SÍTIO II, PARA AS DIFERENTES IDADES	190
FIGURA 23 - EVOLUÇÃO DAS FREQUÊNCIAS ESTIMADAS POR HECTARE PELA FUNÇÃO S_B PARA AS PARCELAS TEMPORÁRIAS EM CONJUNTO COM AS TESTEMUNHAS DAS PERMANENTES, SÍTIO I A III, PARA AS DIFERENTES IDADES	190

RESUMO

Esta pesquisa foi estruturada em dois capítulos, utilizando dados de 20 parcelas permanentes e 124 parcelas temporárias instaladas em bracatingais (povoamentos de *Mimosa scabrella*) da Região Metropolitana de Curitiba - PR. O primeiro capítulo aborda a influência dos fatores sítio, idade e densidade na relação hipsométrica avaliando a sua dinâmica e evolução. Foram testados e comparados 19 modelos de relação hipsométrica entre eles sete genéricos. A existência de dados em vários sítios, idades e densidades permitiu realizar 751 análises, envolvendo a combinação destes modelos com três classes de sítios (índices de sítio: 16,8; 13,5 e 10,2 m), idades de 4 a 7 anos para as parcelas permanentes e 3 a 18 para as temporárias, e quatro tratamentos de densidade inicial (testemunha, 2.000, 4.000 e 8.000 árvores/hectare), sendo as temporárias sem tratamento algum. Para as parcelas permanentes, o modelo de Curtis apresentou o melhor desempenho. Para as temporárias e a combinação destas com as testemunhas das permanentes foram selecionados modelos genéricos que envolveram a altura dominante (h_{dom}) e diâmetro médio quadrático (d_g); entre estes, dois pelo processo *stepwise*. Curvas da relação diâmetro-altura foram traçadas com o modelo de Curtis. As curvas foram mais íngremes nas idades iniciais, suavizando e deslocando-se para cima e para direita ao longo do tempo. O fator sítio também exerceu efeitos similares, ou seja, em locais mais produtivos (índice de sítio 16,8 m) a inclinação da curva foi ligeiramente mais acentuada do que nos locais menos produtivos (índice de sítio 10,2 m) e se apresentaram mais íngremes nas densidades maiores. Estas curvas foram comparadas entre si através da análise de covariância, que indicou diferenças significativas para os fatores sítio, idade e não significativas para a densidade. Portanto, os fatores sítio, idade afetaram a relação hipsométrica, ao contrário da densidade. O segundo capítulo aborda a influência dos fatores sítio, idade e densidade na distribuição diamétrica, também sendo avaliada a sua dinâmica e evolução. Foram testadas sete funções de densidade de probabilidade, para a estimativa da distribuição diamétrica: Normal, Lognormal, Gama, Weibull de 2 e 3 parâmetros, Beta e S_B de Johnson. A combinação dos sítios, idades e densidades para as parcelas permanentes e temporárias com as sete funções permitiu realizar 434 análises. Para a escolha da melhor função foi aplicado o teste de Kolmogorov-Smirnov. A função S_B foi a que apresentou melhor desempenho, sendo utilizada para a construção das curvas de distribuição diamétrica. A evolução das curvas de distribuição apresentou-se com deslocamentos à direita e achatamentos (curtose), com o aumento da idade. Para as menores densidades e sítios mais produtivos houve aumento do grau deste achatamento, com deslocamento das curvas para a direita. As curvas foram comparadas entre si através do teste qui-quadrado, o qual indicou diferenças significativas para os fatores sítio, idade e densidade que conseqüentemente afetaram a distribuição de diâmetros.

ABSTRACT

This research was arranged in two chapters, using data from 20 permanent sample plots and 124 temporary sample plots established in “bracatingais” (*Mimosa scabrella* stands) of the Metropolitan Region of Curitiba - PR. The first chapter deals with the influence of the site, age and density factors on the height-diameter relationship, being evaluated its dynamics and evolution. 19 Models of height-diameter relationship were tested and compared, among them seven generic models. The availability of data in several sites, ages and densities made possible to accomplish 751 analysis involving the combination of these mathematical models with three site classes (site indexes: 16.8; 13.5 and 10.2 m), ages from 4 to 7 years for the permanent plots and from 3 to 18 years for the temporary ones, and four treatments (control, 2.000, 4.000 and 8.000 trees/hectare), being the temporary ones without any treatment. For the permanent plots, the model that presented the best performance was Curtis' model. For the temporary plots and the combination of these with the control of permanent ones it was selected a generic model that involves the dominant height (h_{dom}) and diameter of the average individual basal area (d_g); among them, two models obtained by *stepwise* process. Height-diameter relationship curves were traced by the non-generic Curtis' model. The curves were more sloped in the initial ages, softening and moving upward and to right along the time; they had the same effect with the site factor, in other words, in more productive sites (site index 16.8 m) the sloping of the curve was more steep than in the less productive ones (site index 10.2 m); and they became more sloped in the larger densities. These curves were compared to each other through the covariance analyses, which indicated significant differences for the site, age factors and indicated no significant differences for the density factor. Thus, the factors site and age affected the the height-diameter relationship, unlike the density one. The second chapter deals with the influence of the site, age and density factors on the diameter distribution, also evaluating it's dynamics and evolution. Seven probability density functions were tested to estimate the diameter distribution: Normal, Lognormal, Gama, two and three Weibull parameters, Beta and Jonhson's S_B . The combination of sites, densities and ages for the permanent and temporary plots with these seven functions made possible to accomplish 434 analysis. The Kolmogorov-Smirnov test was applied for the choice of the best function. The Jonhson's S_B function was the one that presented the best result, which was used for the construction of the diameter distribution curves. The evolution of the distribution curves along the ages presented a displacement to the right direction and a flattening (kurtosis) with the increase of the age. For the smallest densities and the most productive sites, there were an increase of this flattening and a displacement of the curves to the right direction. These curves were compared to each other through chi-square test, which indicated significant differences for the site, age and density factors that consequently they affected the distribution of diameters.

APRESENTAÇÃO

A BRACATINGA

(Mimosa scabrella Bentham)

1 INTRODUÇÃO

A bracatinga (*Mimosa scabrella* Bentham) é uma leguminosa florestal nativa das áreas subtropicais das regiões sul e sudeste do Brasil, destacando-se como espécie pioneira, associada às florestas com *Araucaria angustifolia* (Floresta Ombrófila Mista), em campos originados depois das explorações florestais (KLEIN, 1960). Dentre o gênero *Mimosa*, esta é a espécie mais utilizada para a produção de lenha nas Américas (RECORD & HESS, 1943¹ apud BAGGIO, 1994).

A bracatinga vem sendo cultivada no sul do Brasil desde o início do século XX. No Estado do Paraná, o incentivo ao seu plantio iniciou-se a partir 1909, devido a intensa propaganda que visava atender a demandas energéticas (HOEHNE, 1930a; MARTINS, 1944). Este fato foi de grande estímulo para o surgimento do sistema agroflorestal tradicional da bracatinga, que segundo BAGGIO *et al.* (1986), pode ser considerado o mais antigo sistema de produção racional de lenha no sul do Brasil, totalmente desenvolvido com base na vivência prática dos agricultores.

Na Região Metropolitana de Curitiba, Estado do Paraná, os bracatingais cobrem aproximadamente 60.000 ha, distribuídos, principalmente, em cerca de 3.000 pequenas propriedades (MAZUCHOWSKI, 1990). É uma espécie que fornece madeira para construção civil, varas para olericultura, madeira serrada, peças torneadas, aglomerados, compensados, celulose, além de ser utilizada como planta apícola e forrageira. É bastante ornamental, sendo aproveitada com sucesso em paisagismo e, devido às características de espécie pioneira (rápido crescimento, heliófita, etc.) é recomendada à recuperação de áreas degradadas, conservação de solos, pois através da deposição de biomassa e de nutrientes, fertiliza o solo. Também afeta a biodiversidade regional (BAGGIO, 1994).

No entanto, a sua mais importante utilização é na produção de energia como carvão vegetal e lenha para indústrias e consumo doméstico, tendo como vantagem a baixa produção de fumaça. Portanto, com todas estas características, por seus múltiplos usos e grande mercado, o bracatingal desempenha um papel importante na economia

¹ RECORD, S.J.; HESS, R.W. **Timbers of the world**. New Hawen, Yale Univ. Press., 1943. 640 p.

de muitas propriedades rurais, constituindo-se em uma das principais fontes de renda. Entretanto, o seu manejo continua sendo feito da forma tradicional, que pode não ser a maneira mais adequada de condução.

De acordo com EMBRAPA (1988), o sistema tradicional de produção de bracatinga é realizado em propriedades agrícolas com até 50 ha e, caracteriza-se pela facilidade de manejo e rentabilidade que oferece. O bracatingal desempenha, na maioria das propriedades, o papel de "poupança verde", onde a expectativa do produtor é a obtenção de uma renda monetária segura, com minimização do fator mão-de-obra.

Apesar das populações humanas terem algum grau de dependência energética desta espécie, em algumas regiões mais em outras menos, pesquisas relacionadas à melhora do sistema tradicional tem sido muito pontuais com relação a produtividade, ecologia e aproveitamentos. Portanto, torna-se fundamental um enriquecimento de tecnologia silvicultural, embasado na realidade sócio-econômica dos produtores rurais.

O conhecimento da estrutura diamétrica das florestas e de suas relações hipsométricas, além de contribuição científica, é requisito essencial ao planejamento e execução de projetos de manejo e práticas silviculturais a serem aplicadas à bracatinga. No entanto, a carência de literatura sobre o comportamento da mesma, nas áreas de sucessão secundária ou em plantios requer uma ampliação de conhecimentos.

Neste sentido, o presente trabalho poderá gerar informações que contribuam para o desenvolvimento de novas técnicas, com bases biométricas, capazes de propiciar subsídios para elaboração de planos de manejo e decisões quanto às práticas silviculturais a serem adotadas, visando o rendimento sustentado e aos processos de tomada de decisões que minimizem os impactos ambientais da atividade extrativista na região e proporcionem reflexos positivos na qualidade de vida da população regional.

A pesquisa foi estruturada em dois capítulos de forma a fornecer uma base consistente e sistemática, na qual são abordados assuntos de natureza distinta envolvendo a mesma base de dados. O primeiro capítulo aborda a influência dos fatores sítio, idade e densidade na relação hipsométrica avaliando-se a sua dinâmica e evolução. O segundo capítulo aborda a influência dos fatores sítio, idade e densidade na distribuição diamétrica, também, avaliando a sua dinâmica e evolução.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo geral

Estudar a dinâmica e evolução da relação hipsométrica e da distribuição diamétrica em função da idade, sítio e densidade inicial em povoamentos nativos de bracatinga na Região Metropolitana de Curitiba.

1.1.2 Objetivos específicos

- Testar e comparar modelos de relação hipsométrica para as diferentes combinações de idade, sítio e densidade;
- Avaliar a influência dos fatores idade, sítio e densidade sobre a relação hipsométrica;
- Analisar o ajuste de uma equação hipsométrica genérica, a qual considera variáveis do povoamento, de forma que envolva todo o conjunto de dados, comum às parcelas permanentes e às temporárias;
- Testar e comparar a distribuição de frequência diamétrica através de funções de densidade probabilística para as diferentes combinações de idade, sítio e densidade;
- Avaliar a influência dos fatores idade, sítio e densidade sobre a distribuição diamétrica.

2 A BRACATINGA

A bracatinga, segundo o “Aurélio” (FERREIRA, 1996) refere-se uma “Árvore da família das leguminosas (*Mimosa escrabella* [!]), que se agrupa tão densamente que chega a formar quase verdadeiras matas²” (bracatingais). “É de pequeno porte e, como

² Segundo HERTEL (1969), matas são grandes áreas de terrenos ocupados densamente por árvores de mesma espécie ou poucas espécies (pressupõe ausência de diversidade florestal).

crece muito depressa, é importante para a produção de lenha para carvão”.

2.1 TAXONOMIA

O enquadramento taxonômico da bracatinga pode ser apresentado de formas diferentes, dependendo do sistema utilizado, como o observado na Tabela 01.

TABELA 01 – ENQUADRAMENTO TAXONÔMICO DA BRACATINGA.

CATEGORIAS	Sistema de Engler (BEZERRA & FERNADES, 1989)	Sistema de CRONQUIST (1988)
Divisão	<i>Embryophyta siphonogama</i>	<i>Magnoliophyta</i>
Subdivisão	<i>Angiospermae</i>	—
Classe	<i>Dicotyledoneae</i>	<i>Magnoliopsida</i>
Ordem	<i>Rosales</i>	<i>Fabales</i>
Família	<i>Leguminosae</i>	<i>Mimosaceae</i>
Subfamília	<i>Mimosoideae</i>	—
Gênero	<i>Mimosa</i>	
Espécie	<i>Mimosa scabrella</i> Benth	
Variedades	<i>Mimosa scabrella</i> var. <i>scabrella</i> Benth	
	<i>Mimosa scabrella</i> var. <i>aspericarpa</i> (Hoehne) Burkart	
Sinonímia	<i>Mimosa sordida</i> Benth	
	<i>Mimosa bracaatinga</i> Hoehne	

O gênero *Mimosa* (do grego *mimein* = fazer movimento e *meisthai* = imitar) está relacionado a sismonastia, isto é, ao movimento da planta e/ou partes vegetais, provocado pela ação de um golpe ou sacudidela, como se observa na sensitiva (*Mimosa pudica* Linné), cujas folhas se fecham imediatamente quando tocadas. O epíteto específico *scabrella* (do latim *scabrosu* = áspero), significa asperazinha, pois as folhas são ásperas ao tato devido aos pêlos curtos e estrelados (BURKART, 1979).

Bracatinga é o nome popular para designar várias espécies de *Mimosa* (CARPANEZZI & CARPANEZZI, 1992). Dependendo da região em que se encontra, a espécie *Mimosa scabrella* recebe diferentes denominações populares, como: bracatinga, bracaatinga, abracaatinga, bracatinho, paracaatinga, maracatinga (Biguaçu – SC),

anizeiro (MG), mandengo (Resende – RJ), bracatinga-comum (PR), bracatinga-argentina, bracatinga-branca, bracatinga-vermelha e bracatinga-preta (PR) (BURKART, 1979; INOUE, RODERJAN & KUNIYOSHI, 1984; EMBRAPA, 1988; CARVALHO, 1994). Na América Central, a espécie também é conhecida como mimosa ou *zarza* (CATIE, 1990).

O nome popular bracatinga tem origem indígena (abaracaatinga) que significa: *aba* = árvore ou mata, *ra* = penas ou plumas, *caa* = árvore ou mata, *tinga* = branco, ou seja, “árvore ou mata de muitas plumas brancas” (HOEHNE, 1930a).

2.2 CARACTERIZAÇÃO BOTÂNICA

ÁRVORE perenifoliada, inerme (sem espinhos), de rápido crescimento; de 3,5 à mais de 15 – 20 m de altura, podendo atingir até 29 m. TRONCO alto e esbelto (em maciços) ou curto e ramificado (quando isolada), normalmente com 20 a 30 cm de diâmetro à altura do peito (*d*), até 40 – 50 cm; fuste com até 15 m de comprimento; casca marrom e áspera, verrucosa, com até 20 mm de espessura, separação em fendas com orientação longitudinal. RAMIFICAÇÃO dicotômica a irregular, cimosa e densa, formando copa alta, arredondada, paucifoliada, estratificada, de cor cinzenta, geralmente bem formada. O diâmetro da copa varia de 1,50 m (em povoamentos) até 10 m (em árvores isoladas). FOLHAS variáveis; alternas, compostas, bipinadas, paripenadas em ramos vigorosos, com até 7 pares de folíolos oblongo-lineares. Folíolos pilosos, em tom verde mais escuro na face superior, conferindo à copa uma tonalidade clara, até acinzentada, contrastando com o verde mais escuro, predominante em outras plantas. INFLORECÊNCIAS: As pequenas flores amarelas estão dispostas em capítulos pedunculados, axilares ou terminais em ráceros curtos. FRUTOS são legumes do tipo lomento, oblongo-linear, achatado, séssil, mucronado e levemente toruloso. Apenas 10% das flores desta espécie formarão frutos. Estes se apresentam na forma de craspédio articulado deiscente, bivalvo, com pericarpo subcoriáceo, liso por dentro, por fora fina ou grosseiramente verrucoso-estrelado-tomentoso. SEMENTES geralmente ovais, achatadas, por vezes irregulares, de forma irregular, coloração escura, quase preta, lustrosa, duras, com cerca de 6 mm de comprimento e 3 mm de largura. As sementes de

M. scabrella var. *aspericarpa* são um pouco maiores. Cada vagem contém de 3 a 4 sementes, raramente 5 ou 6. (BURKART, 1978; REITZ, KLEIN & REIS, 1978; EMBRAPA (1988); REITZ, KLEIN & REIS, 1988; CARVALHO, 1994).

Segundo EMBRAPA (1988), os agricultores nos municípios próximos de Curitiba apontam três variedades de bracatinga: a branca, a vermelha e a argentina (*M. scabrella* var. *aspericarpa*). A branca é a comum de madeira clara, a vermelha apresenta uma madeira dura e avermelhada, com melhores características energéticas e a argentina, apesar do nome vulgar, não tem relação com o país Argentina (onde não ocorre naturalmente), mas sim com a coloração prateada que sua folhagem apresenta. Esta última apresenta crescimento mais rápido, podendo ser cortada aos 5-6 anos.

2.3 ÁREA DE DISPERSÃO

A área de dispersão natural da bracatinga corresponde ao Brasil austro-oriental, principalmente nos estados do Paraná, Santa Catarina e noroeste do Rio Grande do Sul. A área parece formar uma faixa bastante larga, de orientação NE a SW, nas serras florestadas, geralmente acompanhando a *Araucaria angustifolia* e a *Ocotea porosa* (imbuia) (BURKART, 1979), coincidindo muitas vezes, com a área de ocorrência da Floresta Ombrófila Mista.

ROTTA & OLIVEIRA (1981) delimitam a área de distribuição natural da espécie entre as latitudes de 23°50' S e 29°40' S e as longitudes de 48°50' W até 53°50' W. Porém EMBRAPA (1988) indica um limite mais setentrional: 21°30' em Coronel Pacheco, próximo a Juiz de Fora – MG. Ocorre preferencialmente nos planaltos com altitudes de 400 a 1800 m s.n.m.

EMBRAPA (1988) divide a sua ocorrência em duas áreas: a) área norte – a partir de Guapiara (sul do Estado de São Paulo) a bracatinga é encontrada sempre em terras altas (acima de 900m de altitude), de modo descontínuo, seguindo rumo NE, portanto, nas regiões serranas do Estado de São Paulo, Rio de Janeiro e Minas Gerais; b) área sul – corresponde à ocorrência mais expressiva e contínua da espécie, compreendendo as terras altas (variações altitudinais de 500 m a 1.500 m), a partir do

sul do Estado de São Paulo até o norte do Rio Grande do Sul. A presença da bracatinga é pouco expressiva no Rio Grande do Sul (Figura 01).

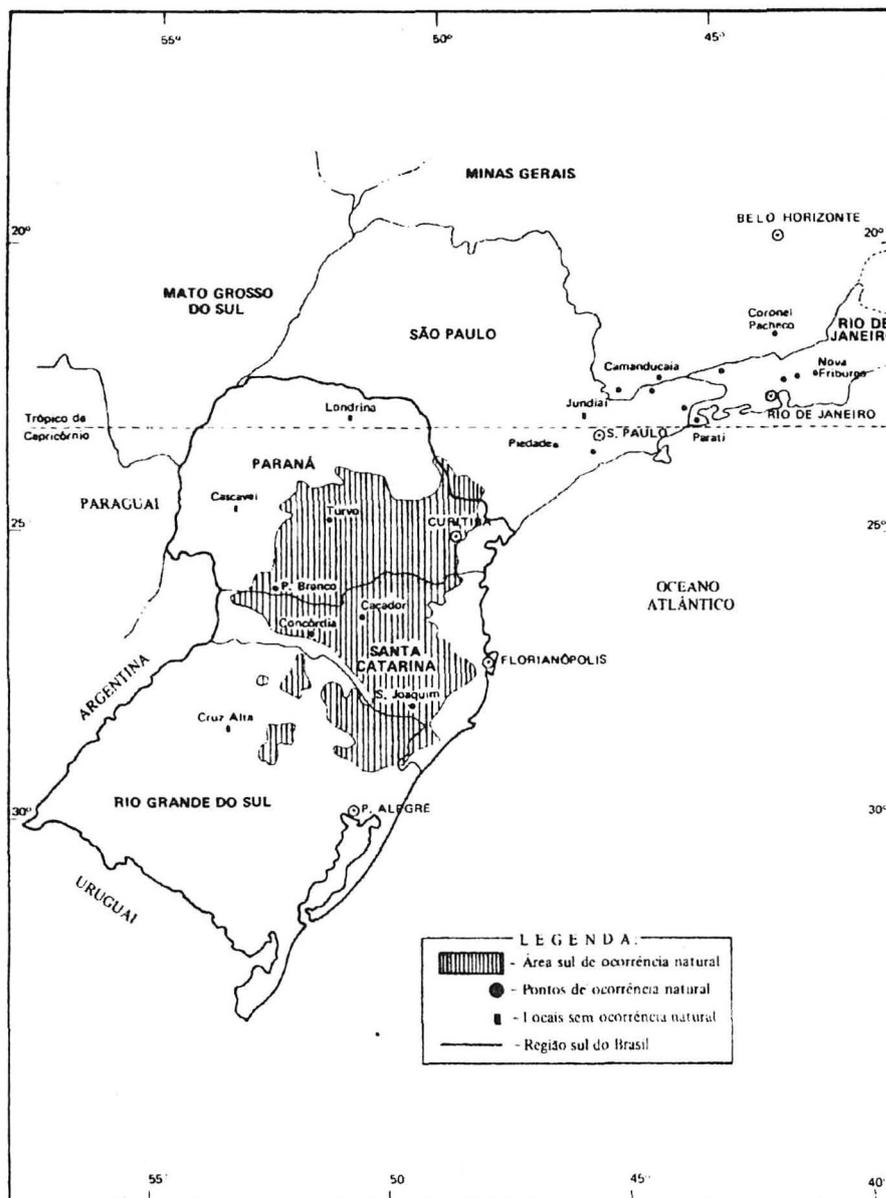
Segundo BAGGIO (1994) devido à alta taxa de crescimento e suas inúmeras possibilidades de usos, têm levado a bracatinga a ser experimentada em outras regiões do país e outros países, além do que a bracatinga demonstra possuir grande plasticidade ecológica fora de sua área de distribuição natural, como evidenciam as diversas introduções da espécie, realizadas:

- a) no Brasil: Biguaçu, no litoral de Santa Catarina; para sombreamento da mandioca. Na zona alta do Espírito Santo e no Norte do Paraná, ambas de clima Tropical, para sombreamento de cafezais (EMBRAPA, 1988; BAGGIO, 1994);
- b) fora do Brasil a espécie foi introduzida na Argentina (BURKART, 1948³ *apud* BAGGIO, 1994), na América Central, mais especificamente na Costa Rica, Guatemala e Honduras (CATIE, 1986, 1990), onde são utilizadas como sombreamento em cafezais. Outros trabalhos indicam o estabelecimento desta espécie em parcelas experimentais em vários países: El Salvador, Colômbia e Etiópia (NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES, 1980⁴ *apud* BAGGIO, 1994), Portugal, Zaire, Senegal, México e Jamaica (CATIE, 1990), Paraguai (GRAÇA; COUTO & BETTERS, 1993), Ruanda (NIANG *et al.*, 1994).

³ BURKART, A. Las especies de *Mimosa* en la flora argentina. *Darwiniana*, v.8, n.1, p. 224. 1948.

⁴ NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES. **Firewood crops: Shrub and tree species for energy production**. Washington: National Academy Press, 1980.

FIGURA 01 - ÁREA DE DISTRIBUIÇÃO NATURAL DA BRACATINGA



Fonte: EMBRAPA (1988), adaptado de ROTTA & OLIVEIRA (1981).

2.4 CLIMA

A bracatinga é nativa dos climas mais frios do Brasil, sendo que a região de ocorrência natural apresenta na sua maior parte o tipo *Cfb* (temperado chuvoso) segundo a classificação de Köppen, com temperatura média anual de 12 a 20°C, sendo as temperaturas médias do mês mais frio de 8 a 14°C e mais quente de 17 a 23°C. A

precipitação média anual varia de 1.300 a 2.300 mm. O número de geadas no ano tem variação de 5 a 57 (CARVALHO, 1994).

Segundo EMBRAPA (1988), em áreas mais restritas, a bracatinga também está presente em locais de tipo climático *Cfa* (temperado úmido), com a temperatura do mês mais quente entre 22 e 23°C, correspondentes à faixa litorânea e à bacia do Rio Uruguai (ROTTA & OLIVEIRA, 1981). Entretanto, MAACK (1981) recomenda para as áreas litorâneas, a utilização da notação *Aft*, por tratar-se de clima tropical de transição.

A espécie não apresenta resistência uniforme às geadas. Em bracatingais com menos de um ano de idade, após severas geadas, constatam-se plantas totalmente ou parcialmente queimadas (EMBRAPA, 1988), por este motivo, recomenda-se que os plantios sejam feitos durante a primavera, para evitar danos severos no primeiro ano (CARPANEZZI & CARPANEZZI, 1992).

Graças às características silviculturais, a bracatinga vem sendo experimentada no Brasil e no exterior em regiões quase sempre mais quentes que sua área natural, porém, em muitos casos, em altitudes elevadas, visando satisfazer as condições climáticas da espécie, que se desenvolve melhor em regiões de temperatura média anual inferior a 18°C, média do mês mais frio inferior a 14°C e média do mês mais quente inferior a 23°C, precipitação média anual superior a 1350 mm, sem déficit hídrico ao longo do ano (EMBRAPA, 1988). No Brasil, a introdução em locais muito seco ou quente causa redução da vida da planta (CARPANEZZI & CARPANEZZI, 1992).

2.5 SOLOS

A bracatinga é uma espécie pouco exigente quanto às condições edáficas ocorrendo sobre solos rasos a profundos e de fertilidade variável, no entanto, a compactação do solo seja por pastoreio ou por endurecimento “natural” da camada superficial do solo é um fator limitante para o estabelecimento da mesma (CATIE, 1986; CARVALHO, 1994). Para MATTOS & MATTOS (1980) é desaconselhável destinar lugares de terra ruins para o plantio da bracatinga pela grande diferença no crescimento quando comparado com exemplares cultivados em terras férteis.

Os solos predominantes da área de ocorrência natural desta espécie são na

maioria pobres, com pH de 3,5 a 5,5, deficientes em fósforo e potássio com altos conteúdos de alumínio em relação ao cálcio e magnésio, apresentam textura franca a argilosa e são bem drenados. Na maioria são Cambissolos argilosos, ricos em matéria orgânica e, Terra Brunas Estruturadas (EMBRAPA, 1988, CARVALHO, 1994).

LEITE (1994), com base em levantamentos bibliográficos, apresenta os principais grupos de solos presentes na área de ocorrência da Floresta Ombrófila Mista, onde a bracatinga ocorre naturalmente: Latossolo Bruno Húmico; Latossolo Bruno Intermediário para Latossolo Roxo; Terra Bruna Estruturada; Terra Bruna Estruturada Intermediária para a Terra Roxa Estruturada; Terra Vermelha-Brunada Estruturada; Cambissolo; Cambissolo Bruno; Cambissolo Bruno Húmico; Cambissolo Húmico.

Segundo EMBRAPA (1988) as áreas com solos mal drenados, como Orgânico, Gleí Húmico e Gleí Pouco Húmico e ambientes saturados de umidade (matas pluvionebulares) são pouco propícias à ocorrência natural da bracatinga.

Na Costa Rica a bracatinga tem se desenvolvido bem em solos vulcânicos ácidos, deficientes em nutrientes e altos teores de alumínio. No entanto, desenvolve-se melhor em cafezais com solos profundos e bem drenados e de origem vulcânica, os quais são geralmente ácidos e férteis (natural ou artificialmente) (ARCE & BAUER, 1985).

2.6 OBSERVAÇÕES ECOLÓGICAS

A *Mimosa scabrella* é característica e exclusiva da vegetação secundária da Floresta Ombrófila Mista (Floresta com araucária), nas formações Montana e Alto-Montana, chegando a formar agrupamentos puros, conhecidos por bracatingais. Nos pinheirais não perturbados, a bracatinga é pouco abundante.

A bracatinga é reconhecida como espécie facilitadora da sucessão. Assim como a *Mimosa scabrella*, outras espécies lenhosas nativas formam de modo recorrente, povoamentos densos após distúrbios (CARPANEZZI, A.A.; CARPANEZZI, O.T.B. & BAGGIO, 1997). Portanto, esta espécie exprime sua capacidade invasora após ação antrópica, proporcionando rápida cobertura ao terreno em solos alterados e degradados HOEHNE(1930b) já destacava esta característica: “Uma Mimosoidea que denominam

bracatinga e muitos preconizam como fornecedora de lenha, começa invadir os terrenos após a derrubada das matas e alastra-se formidavelmente”.

Espécie pioneira heliófita, bastante indiferente quanto às condições físicas dos solos. Ocorre principalmente nas associações secundárias, formando, não raro, agrupamentos densos e quase puros, os bracatingais, que caracterizam visivelmente a vegetação secundária, onde domina como elemento exclusivo no extrato superior, que em virtude das copas densas, cinzentas e bem formadas contribuem decididamente na fitofisionomia regional (BURKART, 1979; CARVALHO, 1981).

Nos sub-bosques dos pinhais (Floresta Ombrófila Mista), principalmente nos de submata densa e bem desenvolvidas, a bracatinga é pouco freqüente (KLEIN, 1981). Nas florestas semi-alteradas, em locais onde se efetuou corte seletivo das madeiras de lei, a bracatinga está presente, normalmente associada ao vassourão-preto (*Vernonia discolor*), vassourão-branco (*Piptocarpha angustifolia*) e canela-guaicá (*Ocotea puberula*) que chegam a modificar sensivelmente a fitofisionomia destas áreas (KLEIN, 1981). Para BURKART (1979) a espécie é encontrada, ainda amiúde, no interior das florestas de pinhais semidevastadas, onde juntamente com outras espécies pioneiras que muito contribuem para ocupar as clareiras abertas.

Após o corte total da floresta primitiva e ateando-se fogo ao material seco, verifica-se o surgimento de densos agrupamentos quase puros de bracatinga (cerca de 30.000 plantas/ha), devido a intensa germinação das sementes dormentes presentes no solo, que caracterizam grandes áreas de vegetação secundária nos locais dos antigos pinhais (KLEIN, 1981; GRAÇA; COUTO & BETTERS, 1993).

Inicialmente são muito comuns o fumo-bravo (*Solanum erianthum*), a aroeira-vermelha (*Schinus terebenthifolius*), a capororoca (*Rapanea ferruginea*), o vacunzeiro (*Allophylus edulis*), a caroba-do-campo (*Jacaranda puberula*), o cafeeiro-do-mato (*Casearia silvestris*), o camboatá-vermelho (*Cupania vernalis*) e o camboatá-branco (*Matayba elaeagnoides*). Nos estágios sucessionais mais evoluídos dos bracatingais, observa-se freqüentemente a predominância da canela-guaicá (*Ocotea puberula*), que possivelmente irá substituir a bracatinga e preparar o ambiente para a instalação das espécies arbóreas mais exigentes (KLEIN, 1981).

2.7 EMPREGOS

MARTINS (1944) comentou que “até 1909, a bracatinga era desconhecida dos centros cultos”, porém após ser observado o rápido crescimento e o potencial energético da espécie, foi intensificado, em 1909, “a propaganda para o seu plantio, principalmente visando à produção de lenha para atender a demandas dos locais mais distantes de florestas e para conservar os remanescentes de madeiras mais nobres, que estavam sistematicamente sendo abatidas com propósitos energéticos”.

Porém, HOEHNE (1940) não se mostrou tão confiante com a espécie, chegando a comentar que: “a bracatinga de modo algum satisfaz ou poderá satisfazer as esperanças que alguns mais entusiastas nela depositaram. [...] De crescimento rápido, é uma árvore de pouca duração, relativamente efêmera, de lenho pouco consistente, pobre de poder calorífero [...]”.

A necessidade de substituição da matriz energética baseada em combustíveis fósseis por outras fontes alternativas, durante a II Grande Guerra e a crise mundial do petróleo dos anos 70, muito contribuiu para a valorização desta espécie de rápido crescimento, quando os recursos florestais foram utilizados como matriz energética, aquecendo lares, impulsionando máquinas (vapor e gasogênio), secando safras e inflamando os fogões das casas. Porém com o depauperamento das florestas originais do Estado e com a crescente demanda de matéria-prima, seja para fins energéticos como para outras finalidades, a bracatinga passou a ser encarada como um recurso potencial para múltiplos usos.

2.7.1 Lenha

A lenha se constitui na principal fonte de energia utilizada no mundo, assegurando mais de 90% do consumo nacional de energia em um grande número de países em vias de desenvolvimento (HAMIDIL, 1991⁵ *apud* SANTOS; HOSOKAWA & ROCHADELLI, 1995).

⁵ HAMIDIL, A. Le bois source diénergie. In: Congrès Forestier Mondial. **Revue Forestiere Française**, vol. 43, Hors-Serie, N° 6, Paris, 1991.

No Brasil a lenha representa uma importante fonte de energia térmica (aproximadamente 16 % da matriz energética nacional), ocupando a terceira posição no consumo total de energia, após os recursos hidrelétricos e o petróleo (SANTOS; HOSOKAWA & ROCHADELLI, *op. cit.*) e cerca de 80% são provenientes de florestas naturais (BAGGIO, 1986).

DELEAGE *et al.* (1984)⁶ *apud* BAGGIO *et al.* (1986) citaram que 90% da lenha consumida em Curitiba são provenientes de bracatingais da Região Metropolitana. A produção de lenha foi o propósito inicial do cultivo da bracatinga e continua a ser a sua principal finalidade (GRAÇA; COUTO & BETTERS, 1993).

Segundo HOEHNE (1940) a vantagem da bracatinga para produção de lenha se deve ao seu rápido crescimento e não ao poder calorífero da madeira (que aumenta apenas a partir do sexto ano, devido ao assentamento do cerne). Segundo MATTOS & MATTOS (1980) a bracatinga, apesar de fornecer lenha de segunda qualidade, deveria estar presente nas fazendas sob a forma de pequenos maciços, devido as características de rápido crescimento da espécie, para suprir as demandas de lenha de pequenas vilas e cidades.

PEREIRA & LAVORANTI (1986) e EMBRAPA (1988) declararam que a lenha da bracatinga é de boa qualidade, apresentando densidade⁷ entre 0,55 e 0,58 g/cm³, um conteúdo de lignina entre 24 e 28% e um poder calorífico de 4.600 kcal/kg de madeira seca à 105°C até atingir peso constante. Para queima direta, recomenda-se um conteúdo de umidade inferior a 25%.

A madeira tem amplo aproveitamento como fonte energética em panificadoras, pizzarias, cerâmicas, caldeiras de diferentes indústrias, fornos de cal, secagem de fumo e de safras agrícolas, dentre outros. A idade do corte para a produção de lenha gira em torno de 6 a 8 anos.

⁶ DELEAGE, J.P.; SOUCHOU, C.; TARQUINIO, J.J & ZANONI, M. **Étude de la production intégrée e bois, energie et d'aliments dans l'agriculture traditionnelle au Paraná, Brasil**. Paris: Université Paris-Laboratoire D'Ecologie Générale et Appliquée-Groupe EDEN, 1984.

⁷ A densidade básica da madeira se correlaciona com a densidade de carbono, que tem influência direta na sua resistência mecânica (STURION & SILVA, 1989). Geralmente a densidade da madeira tende a aumentar com a idade de corte (STURION & SILVA, 1989; HOEHNE, 1940).

2.7.2 Carvão

A bracatinga pode ser classificada como uma espécie produtora de madeira de qualidade para a produção de carvão, independente dos tipos e da variedade. A bracatinga vermelha produz madeira de maior densidade e maior rendimento no processo de carbonização que a variedade *aspericarpa* e a bracatinga branca. Conseqüentemente proporciona maior quantidade de calorias por volume de madeira de melhor qualidade, tanto para queima direta quanto para a produção de carvão. (STURION & SILVA, 1989).

O carvão de bracatinga consumido pelas indústrias locais, embora a sua qualidade não seja das melhores, torna o seu uso compensador por causa do baixo custo de produção (PATON, 1984).

O carvão produzido por esta espécie é de alto rendimento, situa-se entre 28 e 33%, e elevado teor de carbono fixo (próximo de 80%), apresentando apenas a limitação de possuir alto teor de cinzas (cerca de 2%) e o poder calorífico está em torno de 7.550 kcal/kg de carvão seco (BRITO; BARRICHELO & FONSECA, 1979; FARINHAQUE, 1981, LISBÃO JR., 1981).

2.7.3 Apicultura

A bracatinga é árvore de utilidade apícola (GRAÇA; RIBAS & BAGGIO, 1986), principalmente por florescer no inverno, representando importante fonte de alimentação de desenvolvimento de colméias, em uma estação normalmente escassa em néctar de outras espécies (BAGGIO, 1994).

Para consumo culinário doméstico o mel da bracatinga não é muito apreciado por ser amargo, sendo considerado medicinal. Porém encontra forte aplicação como fortificante animal (cavalos de corrida), para culinária industrial (panificação, etc.) e para indústrias de cosméticos (sabonetes, xampus e condicionadores) (GRAÇA; RIBAS & BAGGIO, 1986; GRAÇA; COUTO & BETTERS, 1993; BAGGIO, 1994). A apicultura é uma fonte de renda extra que aumenta significativamente a rentabilidade de exploração dos bracatingais (PEGORARO & CARPANEZZI, 1995).

2.7.4 Celulose

A espécie apresenta, também, potencial para a indústria de celulose e papel, devendo ser considerada como uma fonte alternativa de fibras curtas, em regiões onde o plantio de eucalipto apresenta fatores limitantes (BAGGIO, 1994).

BARRICHELO & FOELKEL (1975), após testes químico-físicos, concluíram que a bracatinga fornece sulfato de celulose de razoável qualidade (inferior ao eucalipto) podendo ser cogitado a sua utilização para a fabricação de papéis. Com este propósito, ASSIS *et al.* (1971) afirmaram que a espécie poderia ser usada parcialmente como componente na fabricação de papéis ou cartolinas de gramaturas mais elevadas, no entanto, quando a resistência física e a alvura não forem requisitos de primeira ordem, pode-se utilizar maiores percentuais de bracatinga.

2.7.5 Recuperação de Solos e Áreas Degradadas

Com a crescente preocupação ambiental experimentada nos últimos anos, principalmente após a ECO 92, a conservação de recursos naturais e a recuperação de áreas degradadas tem tido uma maior consideração por parte de pesquisadores, gestores e governos. Neste sentido, a bracatinga também tem demonstrado grande utilidade sendo empregada há anos, por grandes empresas, na revegetação de terrenos alterados, em regiões frias, com efeitos benéficos sobre o solo (CARVALHO, 1994). MARTINS (1944) já indicava a espécie para a conservação de vertentes e apoio das barreiras.

Simultaneamente a produção de lenha, a deposição de grandes quantidades de biomassa rica em nutrientes, inclusa em condições adversas, faz com que a espécie seja de grande importância na recuperação de áreas degradadas (BAGGIO, 1994).

MENDES-FILHO; POGGIANI & LAPA (1981) destacaram a utilização da *Mimosa scabrella* na recuperação de áreas degradadas por ser heliófita, pela rápida cobertura do solo e pelo teor de nutrientes contidos nas folhas, que permitirá enriquecer o solo com um maior volume de matéria orgânica rica em nutrientes. HOEHNE (1940) indicou a espécie para cobrir o solo e para a produção de húmus.

GRAÇA; COUTO & BETTERS (1993) destacaram o papel da bracatinga como fixadora do nitrogênio, para a ciclagem de nutrientes e como proteção do solo.

Segundo, ARCE & BAUER (1985) a bracatinga fixa nitrogênio e forma rapidamente no solo um manto de serapilheira rico em nitrogênio, que melhora as condições físico-químicas do solo. Outro ponto a favor da espécie está no fato de ser pouco exigente às condições edáficas e desenvolver-se em solos ácidos, deficientes em nutrientes e com altos teores de alumínio.

REICHMANN NETO & SILVA (1981), utilizaram a bracatinga em margens de reservatórios como faixa de proteção com o propósito de evitar erosão e assoreamento além de proporcionar renda com sua exploração, entretanto, os autores alertaram para os riscos da monocultura. SKALSKI JR. (1994) utilizou a bracatinga no estabelecimento inicial de cobertura vegetal em áreas de terreno minerado com bons resultados.

2.7.6 Forragem

Vários autores (MATTOS & MATTOS, 1980; CARPANEZZI & CARPANEZZI, 1992; GRAÇA; COUTO & BETTERS, 1993; dentre outros) citaram o uso da bracatinga como espécie forrageira, em especial nos momentos críticos (p. ex.: inverno) como biomassa verde.

BAGGIO (1994) comenta a forte atração que a espécie exerce sobre o gado, que come suas folhas e talos tenros, possivelmente devido ao alto teor de proteínas (cerca de 20%). MATTOS & MATTOS (1980) recomendam esta forrageira principalmente para vacas leiteiras, enquanto NIANG *et al.* (1994) comentaram os bons resultados obtidos em misturas de forragem para gado caprino. Porém, BAGGIO (1994) alertou para a baixa digestibilidade da bracatinga e sugeriu investigações mais profundas sobre o tema.

REITZ, KLEIN & REIS (1988) observaram que a partir dos dois anos de idade, pode-se retirar o equivalente a 1/3 da massa verde da copa. Nessa idade fornece em média o equivalente a 3.000 kg/ha. Pode-se também utilizar a copa da árvore abatida como forragem. É necessário, no entanto, considerar a importância que essa massa verde pode representar no ciclo de nutrientes do solo.

2.7.7 Associação com Outros Cultivos

A utilização agroflorestal da bracatinga é bastante importante. As características da bracatinga como espécie florestal para múltiplo uso e as vantagens de sua simbiose com *Rhizobium*, sua copa semi-permeável e suas raízes profundas a recomendam para uso em sistemas agroflorestais (BAGGIO, 1994).

Na Região Metropolitana de Curitiba o sistema agrossilvicultural bracatinga-milho-feijão e apicultura apresenta excelentes resultados, além de representar um importante fator de permanência do homem no campo, graças ao incremento que proporciona à renda familiar (GRAÇA; RIBAS & BAGGIO, 1986; CARPANEZZI & CARPANEZZI, 1992; GRAÇA; COUTO & BETTERS, 1993).

HOEHNE já indicava, em 1940, a utilização da espécie associada com outras culturas como quebra-vento ou ainda para sombreamento. Para esta última finalidade, é bastante utilizada em cafezais no Brasil (Espírito Santo e no Norte do Paraná) (EMBRAPA, 1988) e no exterior (Guatemala, Honduras, Costa Rica e México) (CATIE, 1990; ALVAREZ, 1996). Ainda para sombreamento, cita-se o sistema agroflorestal da bracatinga-mandioca, em Biguaçu – SC (EMBRAPA, 1988).

2.7.8 Outros Usos

Sua madeira tem diversas finalidades: em vigamentos, estacas para construção civil, partes não aparentes de móveis, estacas para horticultura, embalagens leves, compensados laminados, aglomerados e peças torneadas. Para usos rústicos, de contato direto com o meio ambiente, como postes e cercas, não é muito indicado, devido a sua baixa durabilidade (GRAÇA; COUTO & BETTERS, 1993; CARVALHO, 1994; BAGGIO, 1994). MATTOS & MATTOS (1980) comentaram que a madeira quando tratada serve para palanques ou moirões e também como escoras de andaimes, inclusive, citaram uma casa em São Joaquim (SC) cuja madeira de armação é feita da bracatinga.

Indica-se ainda outros usos para a espécie: pólvora, carvão terapêutico (carvão de Beloc), amenização do clima (MARTINS, 1944); planta ornamental com potencial em arborização urbana, parques e paisagismo (MARTINS, 1944; MATTOS & MATTOS,

1980; CARVALHO, 1994); madeira para serraria (CARPANEZZI & CARPANEZZI, 1992); móveis de acabamento aceitável, principalmente na forma de painéis (PATON, 1984); caixotaria em geral (MARTINS, 1944) e para produtos olerícolas (MENDONÇA & LAURENT, 1989); cinchos para a confecção de queijos (MATTOS & MATTOS, 1980); como matéria-prima para a produção de álcool e coque (PEREIRA & LAVORANTI, 1986); construção rural, cercas vivas, corta ventos (ARCE & BAUER, 1985). Além destes, a espécie apresenta potencialidades sob investigação como é o caso do uso das sementes as quais contém um composto denominado galactomanana, que é um polissacarídeo espessante em água, largamente utilizado nas indústrias alimentícia, cosmética, farmacêutica e de tintas (GANter, 1991; MAZZA, 1995).

2.8 O SISTEMA TRADICIONAL DA BRACATINGA

Nos últimos anos muitos esforços têm sido direcionados à alternativas de produção ecológica e economicamente mais estáveis. O sistema tradicional da bracatinga, desenvolvido por muitas gerações de agricultores, principalmente nos municípios da Região Metropolitana de Curitiba, tem tido importante participação na economia regional, seja pelo valor de seus produtos, seja pela capacidade desta leguminosa florestal na amenização de danos ambientais (BAGGIO *et al.*, 1986).

A bracatinga é cultivada hoje, no sul do Brasil, segundo dois sistemas tradicionais (desenvolvido por agricultores), ambos baseados na regeneração natural por sementes a partir da segunda rotação. Eles diferenciam-se, basicamente, pela presença ou ausência de culturas agrícolas intercalares no primeiro semestre de cada rotação: Sistema Agroflorestal Tradicional e Sistema Florestal Tradicional (CARPANEZZI, A.A.; CARPANEZZI, O.T.B. & BAGGIO, 1997).

O surgimento e a continuidade destes sistemas tradicionais decorreram da demanda por lenha, cujo mercado, até hoje, regula a vitalidade do cultivo da espécie. Atualmente, a oferta vantajosa de resíduos de serraria na Região Metropolitana de Curitiba, nos últimos anos, tem causado redução expressiva da demanda de lenha e da área anualmente explorada. A continuidade do cultivo da bracatinga depende de sua capacidade em ofertar lenha ou derivados a preços competitivos ou de oferecer novos

produtos (CARPANEZZI, A.A.; CARPANEZZI, O.T.B. & BAGGIO, 1997).

Segundo BAGGIO *et al.* (1986) 82% da atividade de exploração da bracatinga é realizada por pequenas e médias propriedades rurais, sendo que a metade deste percentual é atribuída para propriedades inferiores a 20 ha, o que evidencia a importância deste sistema de produção para o pequeno agricultor, principalmente pela facilidade de manejo e rentabilidade.

Os sistemas tradicionais se caracterizam pelo sub-aproveitamento do potencial econômico da bracatinga: os talhões apresentam baixa produtividade (biomassa lenhosa); a lenha fina não é colhida; o sub-bosque não é aproveitado (madeira, medicinais, ornamentais, etc.); e há o empobrecimento do solo (perda de nutrientes, queimadas, chuvas, etc.) (CARPANEZZI, A.A.; CARPANEZZI, O.T.B. & BAGGIO, 1997).

Normalmente a atividade florestal não é a principal fonte de renda destas pequenas propriedades rurais, apesar de representarem uma importante e segura fonte de renda anual. De modo geral, a totalidade das propriedades apresentam diversificação na produção agrícola e na criação animal (GRAÇA; COUTO & BETTERS, 1993). Na maioria dos casos o sistema agroflorestal tradicional reflete o ajustamento entre condições naturais, disponibilidade de mão-de-obra, situação financeira do produtor e preços pagos pelo mercado (CARPANEZZI, A.A.; CARPANEZZI, O.T.B. & BAGGIO, 1997).

Os sistemas de produção de lenha praticados no Brasil consistem em reiniciar ciclicamente a sucessão secundária e simplificar a sua composição. A regeneração natural após a queima é fundamental para a gênese dos bracatingais. Após a queima, uma densa regeneração de bracatinga se segue (cerca de 30.000 plantas/ha), devido a intensa germinação das sementes dormentes presentes no solo. As sementes de bracatinga têm dormência tegumentar, que são naturalmente superadas pelo aquecimento solar ou fogo (CARPANEZZI & CARPANEZZI, 1992). A produção de sementes começa a partir do segundo ano de crescimento e são acumulados em camadas à medida que o tempo passa (GRAÇA; COUTO & BETTERS, 1993).

O Sistema Agroflorestal Tradicional da bracatinga é utilizado nas propriedades rurais, onde a bracatinga ocupa, em média, um quarto de toda a área cultivada. O sistema normalmente utiliza milho e feijão (GRAÇA; COUTO & BETTERS, 1993). Além

destes, a abóbora também é cultivada dentro das áreas de regeneração da bracatinga, porém sem o mesmo nível de importância. A mandioca é pouco cultivada, entretanto, em Biguaçu (SC) ela é a principal cultura associada com a bracatinga (BAGGIO *et al.*, 1986). Nos locais onde a bracatinga é intensamente cultivada, esta pode fornecer até 60% de milho e feijão comerciáveis, sendo o restante destinado para o consumo de subsistência. Assim, este é um importante sistema provedor de safras agrícolas às propriedades além da produção de lenha (GRAÇA; COUTO & BETTERS, 1993).

Geralmente, os agricultores promovem uma capina manual em volta da cultura agrícola e das mudas de bracatinga que também sofrem um raleamento visando estimular o crescimento das árvores e dos cultivos. As pesquisas demonstram que densidades em torno de 3.000 a 3.500 plantas/ha, podem induzir um crescimento mais rápido da população remanescente. Após a colheita, os agricultores deixam os bracatingais crescerem sem intervenção, o que significa na prática, que não haverá gastos até o momento do corte (GRAÇA; COUTO & BETTERS, 1993). A regeneração natural inibe a mecanização, assim, o sistema agroflorestal tradicional da bracatinga, destina-se à pequenas propriedades rurais, até 50 ha. Este modelo agroflorestal é comumente aplicado em terrenos inclinados, portanto não competindo com as atividades agrícolas dos terrenos planos, porém auxiliando na proteção do solo destas áreas (GRAÇA; COUTO & BETTERS, 1993).

No Sistema Florestal Tradicional os produtores preferem não consorciar com nenhum cultivo e normalmente são praticados em propriedades maiores que 50 ha. O sistema silvopastoril rústico também é encontrado na região, embora com pouca frequência; foram detectados proprietários que utilizam seus bracatingais para introduzir gado, a partir do segundo ano de idade da floresta. Prática esta mais comum no inverno, objetivando fornecer alimento e proteção, devido a escassez de pasto e aos rigores do frio (BAGGIO *et al.*, 1986).

A densidade da bracatinga dentro do primeiro ano, em talhões de regeneração natural do sistema com cultivos agrícolas intercalados na Região Metropolitana de Curitiba, situa-se entre 10 e 30 mil plantas/ha. Para aumentar a produtividade recomenda-se deixar 10 mil plantas/ha por ocasião da segunda capina e, após a colheita do milho, reduzir para 5 mil plantas/ha. A produtividade da bracatinga no sistema tradicional com culturas de ciclo curto é baixa, refletindo o ambiente físico e as práticas

culturais. A produtividade anual média em rotação de sete anos na Região Metropolitana de Curitiba é estimada em 12,5 a 15 m³/ha sob regeneração natural e diâmetro mínimo de 3 cm para lenha. Mesmo assim o sistema tem viabilidade econômica em razão dos baixos custos de implantação e manutenção. Todavia, em plantios experimentais, a produtividade anual alcança até 40 m³ /ha. (CARPANEZZI & CARPANEZZI, 1992; CARVALHO, 1994).

Com relação à observação empírica do comportamento dos produtores de bracatinga, BAGGIO *et al.* (1986) observaram que o corte é realizado entre as idades de quatro e dez anos, sendo que as maiores frequências ocorreriam de seis (18%), sete (31%) e oito anos (18%). A partir dessas idades, dependendo dos fatores de sítio, manejo, etc., o crescimento das árvores começa a estagnar. EMBRAPA (1988), informa que a idade de corte depende na maioria dos casos das condições financeiras do proprietário, geralmente pequeno produtor.

Segundo GRAÇA *et al.* (1987), utilizando modelos de maximização dos valores líquidos presentes, para o cálculo da idade ótima de abate em bracatingal tradicional, observou que até a idade de três anos os valores são negativos e se tornam positivos nas idades subseqüentes, alcançando valores máximos na idade de sete anos, sugerindo o porque a maioria dos produtores corta os bracatingais nessa idade, pois estes produtores maximizam seus retornos econômicos. Além disso, o conhecimento do padrão de produtividade de bracatingais ao longo do tempo é importante para saber a idade ótima de abate, visto que a partir da idade de sete anos esta produtividade passa a decrescer. Portanto, se nenhuma variável econômica estiver envolvida o limite máximo de idade para o abate deveria ser aos sete anos de idade.

No entanto, utilizando-se de critérios de máxima produtividade em biomassa e máxima produtividade em renda bruta, HOSOKAWA *et al.* (1997) consideraram a idade de cinco anos como a mais adequada para o corte, trazendo maior rentabilidade no uso dos fatores de produção da propriedade.

Esta espécie não apresenta vida longa, mas através de observações de campo pode-se adotar um limite individual de 30 anos. A mortalidade em idades jovens é característica da espécie, ocorrendo até mesmo em povoamentos raleados, onde as plantas são selecionadas pelo vigor inicial e não há competição significativa entre elas. Em povoamentos densos do sistema tradicional, com raleio pelas capinas na fase

agrícola inicial, a mortalidade é maior nos primeiros cinco anos, apresentando densidades de 2 a 4 mil árvores/ha. Ela apresenta um rápido crescimento nos primeiros seis anos de idade, atingindo, em seguida, um patamar de lento crescimento por dois ou três anos, a partir daí, entra em uma fase de declínio vital (EMBRAPA, 1988).

Com relação aos sítios, o cultivo desta espécie por diversas rotações, sem adubações de reposição, leva gradativamente, à redução da sua qualidade, devido à exportação de nutrientes durante a exploração e a posterior queima dos resíduos (BAGGIO, 1994; EMBRAPA, 1988). Logo, a intensa e antiga utilização das áreas por esta cultura provoca a degradação do sítio.

GRAÇA; COUTO & BETTERS (1993) recomendaram a utilização do sistema agroflorestal da bracatinga em outras regiões de clima similar ao da região sul do Brasil e consorciado a arroz e soja, principalmente motivado pelo sucesso das introduções da espécie realizadas na Costa Rica e na Argentina.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVAREZ, F.A.D. **Evaluación del crecimiento de *Mimosa scabrella* Benth. (bracatinga), em dos municípios de la región central de Veracruz, México.** Chapingo, 1996. 77 p. Tese (Mestrado em Ciências). Coordinación de Postgrado, División de Ciências Forestales Universidad Autónoma Chapingo.
- ARCE, J. J.C. & BAUER, J.A. *Mimosa scabrella*: Leguminosa promissoria para zonas altas. **Silvoenergia**, Turrialba, n. 9, p. 1-4, 1985.
- BAGGIO, A.J.; CARPANEZZI, A.A.; GRACA, L.R. & CECCON, E. Sistema agroflorestal tradicional da bracatinga com culturas agrícolas anuais. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Colombo, n. 12, p. 73-82, jun. 1986.
- BAGGIO, A.J. **Estudio sobre el sistema agroforestal tradicional de la bracatinga (*Mimosa scabrella* Benth.) en Brasil: productividad, manejo de residuos y elaboración de compost.** Madrid, 1994. 242 p. Tese (Doutorado em Ingenieria de Montes). Departamento de Silvopascicultura, Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes.
- Bracatinga. In: FERREIRA, Aurélio Buarque de Holanda. **Dicionário da Língua Portuguesa**. 2 ed. Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 1996. 667 p.
- BEZERRA, P. & FERNANDES, A. **Fundamentos de taxonomia vegetal.** Fortaleza: UFC, 1989. 100 p.
- BRITO, J.O.; BARRICHELO, L.E.G. & FONSECA, S. Características químicas do carvão vegetal da bracatinga. **Brasil Madeira**, Curitiba, v. 3, n. 33, p. 6-8, 1979.
- BURKART, A. **Leguminosas: Mimosoideas.** Itajaí: Herbário Barbosa Rodrigues, 1979. 299 p. (Flora Ilustrada Catarinense, Legu).
- CARPANEZZI, A.A. & CARPANEZZI, O.T.B. Cultivo da bracatinga (*Mimosa scabrella* Benth.) no Brasil e prioridade para seu aperfeiçoamento. In: VII CONGRESSO FLORESTAL ESTADUAL, Nova Prata, 1992. **Anais...** Santa Maria: UFSM, v. 2, p. 640-655. 1992.
- CARPANEZZI, A.A.; CARPANEZZI, O.T.B. & BAGGIO, A.J. Manejo de bracatingais In: CURSO DE MANEJO FLORESTAL SUSTENTAVEL, 1997, Curitiba. **Tópicos em manejo florestal sustentável.** Colombo: EMBRAPA-CNPQ, 1997. p. 157-163.
- CARVALHO, P.E.R. **Espécies florestais brasileiras: recomendações silviculturais, potencialidade e uso da madeira.** Colombo: EMBRAPA-CNPQ; Brasília: EMBRAPA-SPI, 1994. 640 p.
- CATIE. **Silvicultura de especies promisorias para producción de leña en America Central: resultados de cinco años de investigación.** Turrialba, Costa Rica: Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza-CATIE,

1986. (Informe Técnico/CATIE, 86).
- CATIE. **Bracatinga (*Mimosa scabrella* Benth.) espécie de árvore de uso múltiplo em América Central.** Turrialba, Costa Rica: Centro Agronômico Tropical de Investigación y Enseñanza-CATIE, 1990. (Informe Técnico/CATIE, 169).
- CRONQUIST, A. **The evolution and classification of flowering plants.** 2 ed. New York: The New York Botanical Garden, 1988. 555 p.
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Florestas (Curitiba, PR). **Manual técnico da bracatinga (*Mimosa scabrella* Benth).** Curitiba: EMBRAPA-CNPQ, 1988. 70 p. (Série Documentos, n. 20).
- FARINHAQUE, R. **Influência da umidade no poder calorífico da madeira da bracatinga (*Mimosa scabrella* Benth) e aspectos gerais de combustão.** Curitiba: FUPF, 1981. 13 p. (Série Técnica n. 6).
- GANTER, J.L.M.S. **Estudos de carboidratos de sementes de *Mimosa scabrella* (bracatinga): análise estrutural dos oligossacarídeos e propriedades reológicas da galactomanana.** Curitiba. 130 p. Tese (Doutorado em Bioquímica). Setor de Ciências Biológicas, Universidade Federal do Paraná.
- GRAÇA, R.A. Idade ótima de abate em bracatingal tradicional. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Curitiba, n. 15, p. 55-60, dez 1987.
- GRACA, L.R.; COUTO, L. & BETTERS, D.R. Agroforestry systems with bracatinga in southern Brazil: technical and economic perspectives. In: NORTH AMERICAN AGROFORESTRY CONFERENCE, 3., 1993, Ames. **Proceedings...** Ames: Iowa State University. Department of Forestry, College of Agriculture, 1994. p. 337-341.
- HERTEL, R.J.G. Aspectos interessantes da Vegetação do Paraná. In: EL-KHATIB, F. (org.). **História do Paraná.** Curitiba: Grafipar, 1969. p. 130-241.
- HOEHNE, J.C. **A bracatinga ou Abracaatinga.** São Paulo: Secretaria da Agricultura, Indústria e Comércio do Estado de São Paulo, 1930a. 47 p.
- HOEHNE, J.C. **Araucarilândia.** São Paulo: Secretaria da Agricultura, Indústria e Comércio do Estado de São Paulo, 1930b. 133 p.
- HOEHNE, F.C. **Observações gerais e contribuições ao estudo da flora e fitofisionomia do Brasil: IV. O litoral do Brasil Meridional.** São Paulo: Secretaria da Agricultura, Indústria e Comércio de São Paulo. Departamento de Botânica do Estado, 1940. 111 p.
- HOSOKAWA, R.T.; KLOCK, U.; ROCHA, M.P. da; ROCHADELLI, R.; KLITZKE, R.J.; SOLTER, F.; SANTANA, M.A.G. de; HAAG, J. de O. Determinação da rotação de uma floresta de *Mimosa scabrella* Benth (Bracatinga) de média produtividade em sistema agroflorestal tradicional baseado nos critérios de biomassa e renda bruta. **Revista do Setor de Ciências Agrárias**, Curitiba, v. 16, n. 1-2, p. 201-206, 1997.

- INOUE, M.T.; RODERJAN, C.V. & KUNIYOSHI, S. **Projeto madeira do Paraná**. Curitiba: FUPEF, 1984. 260p.
- KLEIN, R.M. O aspecto dinâmico do pinheiro do Paraná. **Sellowia**, Itajaí, v. 12, n. 12, p. 17-44, 1960.
- KLEIN, R.M. Aspectos fitossociológicos da bracatinga (*Mimosa scabrella*) In: SEMINÁRIO SOBRE ATUALIDADES E PERSPECTIVAS FLORESTAIS: BRACATINGA UMA ALTERNATIVA PARA REFLORESTAMENTO, 4., 1981. **Anais...** Curitiba: EMBRAPA-URPFCS, 1981. p. 145-148.
- LAURENT, J.M.E.; CAMPOS, J.B. & BITTENCOURT, S.M. de. **Análise técnico-econômica do sistema agroflorestral da bracatinga na Região Metropolitana de Curitiba**. Curitiba: PDFI/FAO, 1990. 72p.
- LAURENT, J.M.E.; PEDREIRA, M. do R.R.; CARPANEZZI, O.T.B. & BITTENCOURT, S.M. **Melhoramento do sistema agroflorestral da bracatinga**. Curitiba: PDFI/FAO, 1990. 106p.
- LISBÃO JR., L. Bracatinga como fonte energética. In: SEMINÁRIO SOBRE ATUALIDADES E PERSPECTIVAS FLORESTAIS: BRACATINGA UMA ALTERNATIVA PARA REFLORESTAMENTO, 4., 1981. **Anais...** Curitiba: EMBRAPA-URPFCS, 1981. p. 133-143.
- LEITE, P.F. **As diferentes Unidades Fitoecológicas da Região Sul do Brasil: Proposta de Classificação**. Curitiba, 1994. 160 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais). Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.
- LORENZI, H. **Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil**. Nova Odessa: Plantarum, 1992. 368 p.
- MAACK, R. **Geografia física do Estado do Paraná**. 2 ed. Rio de Janeiro: J. Olympio; Curitiba: Secretaria de Cultura e do Esporte do Governo do Estado do Paraná, 1981. 450 p.
- MARTINS, R. **Livro das árvores do Paraná**. Curitiba: Diretoria Regional de Geografia do Estado do Paraná, 1944. 247 p.
- MATTOS, J.R.; MATTOS, N.F. A Bracatinga In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 2., 1973, Curitiba. **Anais...** Curitiba: FIEP, 1974. p. 88-90
- MAZZA, M.C.M. **Análise de *Mimosa flocculosa* Burkart e *Mimosa taimbensis* Burkart (Mimosaceae) visando a produção de galactomanana**. Curitiba, 1995. 42 p. Monografia. (Especialização em Processos biotecnológicos). Pontifícia Universidade Católica/Universidade Federal do Paraná.
- MAZZA, C.A.S. Distribuição espacial da bracatinga na região metropolitana de Curitiba com imagens de satélite Landsat. In: SEMINÁRIO DE SENSORIAMENTO REMOTO E SISTEMAS DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS APLICADOS A ENGENHARIA

- FLORESTAL, 3., 1998, Curitiba. **Anais...** Curitiba: FUPEF, 1998. p. 51-63.
- MAZUCHOWSKI, J.Z. **Organização da reposição florestal**. Curitiba: Projeto FAO/GCP/BRA/025/FRA, 1990. 126 p. (Série Subsídios Florestais n. 2)
- MENDES-FILHO, J.M.A.; POGGIANI, F. & LAPA, R.P. Comportamento de três espécies florestais em solo alterado pela exploração do xisto na região de São Mateus do Sul - PR. In: SEMINÁRIO SOBRE ATUALIDADES E PERSPECTIVAS FLORESTAIS: BRACATINGA UMA ALTERNATIVA PARA REFLORESTAMENTO, 4., 1981. **Anais...** Curitiba: EMBRAPA-URPFCS, 1981. p. 149-159.
- MENDONÇA, W.R.; LAURENT, J.M.E. **Carvoejamento e caixotaria de bracatinga na região metropolitana de Curitiba**. Curitiba: Projeto FAO-GCP/BRA/025/FRA, 1990. 48 p.
- NIANG, A.I.; STYGER, E.; GAHAMANYI, A. & UGEWIZE, J. *Mimosa scabrella*: a tree for high places. **Agroforestry Today**, Nairobi, v. 6, n. 2, p. 7, 1994.
- PATON, P.S. **Estimativa de volumes individuais expressos em metros cúbicos sólidos e estéreos, para bracatinga *Mimosa scabrella* Benth. Em povoamento naturais maduros**. Curitiba, 1984. 107 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais). Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.
- PEREIRA, J.C.D. & LAVORANTI, O.J. Comparação da qualidade da Madeira de três procedências de *Mimosa scabrella* para fins energéticos. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Colombo, n. 12, p. 30-34, 1986.
- REITZ, R.; KLEIN, R.M. & REIS, A. **Projeto Madeira Santa Catarina**. Itajaí: Convênio H.B.R./SUDESUL/IBDF, 1978. 320 p.
- REITZ, R.; KLEIN, R.M. & REIS, A. **Projeto Madeira Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: Convênio H.B.R./SUDESUL/DRNR, 1988. 525 p.
- ROTTA, E. & OLIVEIRA, Y.M.M. Área de distribuição natural da bracatinga (*Mimosa scabrella*). In: SEMINÁRIO SOBRE ATUALIDADES E PERSPECTIVAS FLORESTAIS: BRACATINGA UMA ALTERNATIVA PARA REFLORESTAMENTO, 4., Curitiba. **Anais...** Curitiba: EMBRAPA-URPFCS, 1981. p. 1-23.
- SKALSKI JR. J. Estabelecimento inicial de cobertura vegetal em áreas de reabilitação após a mineração do xisto, pela PETROBRÁS, utilizando a leguminosa *Mimosa scabrella*, gramíneas e herbáceas nativas do sul do Brasil. In: I SIMPÓSIO SUL-AMERICANO E II SIMPÓSIO NACIONAL. RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS, Foz do Iguaçu, 06 a 10 de novembro de 1994. **Anais...** Curitiba: FUPEF, 1994. p. 587.
- STURION, J.A. & SILVA, F. Caracterización de la madera de bracatinga para energía. In: SALAZAR, R. (ed.) MANEJO Y APROVECHAMIENTO DE PLANTACIONES FORESTALES CON ESPECIES DE USO MÚLTIPLE: ACTAS REUNIÓN IUFRO,

Guatemala, abril 1989. **Anais...**Turrialba: Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza-CATIE, 1989. p. 541-549.

STURION, J.A.; RESENDE, M.D.V.; CARPANEZZI, A.A. & ZANON, A. Variação genética e seleção para característica de crescimentos em teste de progênies de *Mimosa scabrella* var. *aspericarpa*. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Colombo, n. 28/29, p. 73-83, jan./dez. 1994.

CAPÍTULO 1

EVOLUÇÃO DA RELAÇÃO HIPSOMÉTRICA EM FUNÇÃO DOS FATORES IDADE, SÍTIO E DENSIDADE INICIAL EM BRACATINGAIS DA REGIÃO METROPOLITANA DE CURITIBA

1 INTRODUÇÃO

Segundo BUFORD (1986), certas relações básicas são componentes chave para caracterizar o desenvolvimento de um povoamento: a evolução da altura dominante ao longo do tempo ou a relação altura-idade; a evolução da distribuição de altura e diâmetro ao longo do tempo; a relação da altura média por classes de diâmetro à uma dada idade ou a relação altura-diâmetro; a relação mortalidade-tempo. Portanto, quantificando as similaridades e diferenças nas formas e níveis destas relações ter-se-á indicativos do desenvolvimento dos povoamentos, constituindo-se em informações prévias para a modelagem do crescimento dos mesmos.

Em inventários florestais, a variável diâmetro à altura do peito é facilmente medida para todas as árvores, entretanto, a altura, obtida de modo direto através de instrumentos apropriados, fornece resultados acurados, porém não econômicos, devido ao tempo gasto. Portanto, é freqüente medir diâmetros de todas as árvores das parcelas e alturas apenas de parte delas. O conjunto de dados de alturas das árvores medidas, com os respectivos diâmetros, é usado para estabelecer uma relação de regressão da altura sobre diâmetro, a qual é empregada para estimar as alturas das demais árvores da parcela em função dos diâmetros já medidos. Logo, estima-se a variável de difícil acesso em função da mais fácil e de rápida medição.

A relação hipsométrica é utilizada para reduzir o tempo e os custos das mensurações, tornando o inventário florestal, muitas vezes, tão preciso e acurado quanto o realizado através da medição da altura de todas as árvores da parcela, principalmente nos povoamentos de alta densidade, como os bracatingais do sistema tradicional. Assim, o método usual de medição de todas as alturas pode ser substituída pelo uso de modelos que estimam a altura através do diâmetro (EMBRAPA, 1988).

Predizer a altura total de árvores baseado em diâmetro à altura do peito é uma rotina requerida em práticas de inventário florestal e em trabalhos de pesquisas silviculturais. A estimativa do volume de árvores, por meio das funções altura-diâmetro, é muito precisa. Curvas de relação hipsométrica são, também, úteis para a descrição de povoamentos e seu desenvolvimento ao longo do tempo, para a estimativa da média das alturas de porções específicas do povoamento, como na estimativa do índice de sítio;

e na estimativa do crescimento por métodos de projeção do povoamento (CURTIS, 1967).

Muitos modelos de produção e crescimento também requerem altura e diâmetro como variáveis independentes. Os modelos de relação hipsométrica que consideram fatores como: sítio, idade e densidade, são de difícil obtenção; assim, deve-se estudar a viabilidade da aplicação de uma equação genérica, o que eliminará o trabalho de ajuste e seleção de modelos para cada parcela ou povoamento.

Este primeiro capítulo consistiu em:

- Ajustar modelos matemáticos de relação hipsométrica e escolher o mais adequado para o conjunto de dados;
- Construir curvas da relação altura-diâmetro com o modelo selecionado;
- Utilizar as curvas selecionadas para avaliar a influência dos fatores idade, sítio e densidade na relação hipsométrica;
- Testar a possibilidade de agrupar os dados das parcelas permanentes com as temporárias, a fim de gerar uma equação genérica.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 MODELOS QUE DEFINEM A RELAÇÃO HIPSOMÉTRICA

Não importa se o ajuste de uma equação seja bom a um conjunto de dados, sendo esta uma aproximação matemática da relação de uma variável dependente e um conjunto de variáveis independentes. Não devem ser interpretadas necessariamente como se tratasse de uma lei biológica ou física, tão pouco a prova da existência de uma relação causa-efeito e sim um modo conveniente de descrever uma relação observada (FREESE, 1970).

A relação entre diâmetro e altura é de natureza estocástica. Plotando-se em um eixo cartesiano pares de valores de altura e diâmetro, uma nuvem de pontos é obtida, cuja dispersão diminui em povoamentos mais homogêneos, sendo influenciada pela qualidade de sítio, diferenças de idade e tratamentos silviculturais. Para um sistema em equilíbrio, a curva de altura obtida pelo ajuste de uma equação aos dados, coincide com a curva de crescimento do povoamento (LOETSCH; ZOHRER & HALLER, 1973).

Curvas de altura-diâmetro não representam uma relação biológica bem definida, tal como altura sobre idade ou diâmetro sobre idade. Quando tal curva é construída para povoamentos contendo diversas classes de idades e sítios, as árvores individuais apresentarão uma grande variabilidade em altura para o mesmo diâmetro (CHAPMAN & MEYER, 1949) e as maiores alturas nem sempre correspondem aos maiores diâmetros, por isso há uma tendência da curva se inclinar para baixo (BRUCE & SCHUMACHER, 1950).

TROREY (1932), após muitas experiências com um grande número de curvas de altura-diâmetro, concluiu que o modelo parabólico: $h = b_0 + b_1 (d) + b_2 (d)^2$ descreve uma exata representação da relação altura sobre diâmetro usando dados de diferentes espécies. No entanto, o acréscimo de modelos matemáticos para ajustar a curva de altura sobre diâmetro tem sido intensificado constantemente, porque a maioria dos modelos usados são empíricos, exprimindo uma relação matemática lógica entre as

variáveis envolvidas havendo a necessidade de se testar modelos para cada conjunto diferente de dados.

Listas de modelos matemáticos usados para o ajuste da relação hipsométrica podem ser encontradas em várias publicações como: PRODAN (1965), CURTIS (1967), LOETSCH; ZOHRER & HALLER (1973), CARDOSO (1989), FINGER (1992).

HUSCH; MILLER & BEERS (1982) citaram os seguintes modelos para descrever a relação hipsométrica:

$$h = 4,5 + b_1 (d) + b_2 (d)^2 \quad \text{TROREY, 1932}$$

$$h = 4,5 + h \left(1 - e^{-b_1 d} \right) \quad \text{MEYER, 1940}^8$$

$$\ln h = b_0 + b_1 \ln (d) \quad \text{STOFFELS & VAN SOEST, 1953}^9$$

$$h = b_0 + b_1 \ln (d) \quad \text{HENRICKSEN, 1950}^{10}$$

Estes mesmos autores referem-se em especial à equação parabólica que pode ser usada para descrever a relação em muitos povoamentos; porém, quando se deseja usar uma função matemática que descreva a relação hipsométrica para povoamento específico deve-se fazer testes para chegar à função mais aplicável.

SCHMIDT (1977) ao testar modelos para relação hipsométrica em povoamentos de *Pinus taeda*, com idades de 4 a 11 anos no município de Guarapuava (PR), concluiu que o modelo de melhor ajuste foi o de Stoffels e além deste, poderiam ser usados os modelos de Curtis e Henricksen. Verificou também que em geral os modelos logarítmicos e exponencial apresentaram melhores resultados do que os não logarítmicos. Segundo este mesmo autor, a influência dos fatores idade e qualidade de sítio foram maiores no coeficiente de intersecção do que no coeficiente de inclinação, concluindo que a intersecção é função dos parâmetros altura dominante e diâmetro dominante, enquanto a inclinação é função dos parâmetros 1/G e log (G) (G=área basal/ha).

FISHWICK¹¹ (1976) *apud* SCHMIDT (1977) obteve bons resultados para

⁸ MEYER, H.A. A mathematical expression for height curves. **J. Forest.**, v. 38, p. 415-420, 1940.

⁹ STOFFELS, A. & VAN SOEST, J. The main problems in sample plots. 3. height regression. **Ned. Boschb. Tijdschr.**, v.25, p. 190-199, 1953. **Forest Abstract**, v.15, p. 77. [1953].

¹⁰ HENRIKSEN, H.A. Height-diameter curve with logarithmic diameter. **Dansk Skovforen. Tidsskr.** v. 35, p. 193-202, 1950. **Forest Abstract**, v.13, p. 198, 1951-1952.

¹¹ FISHWICK, R. **A comparative of six methods use to calculate the dominant height of a forest tand.** [s.l.]: FAO/UNDP/IBDF, 1976. 8 p.

relação hipsométrica com o modelo de Curtis na forma tradicional: $ln h = b_0 + b_1 \left(\frac{1}{d} \right)$, em parcelas de *Pinus elliottii* e *Araucaria angustifolia*.

CRECHI; FRIEDL & FERNÁNDEZ (1992)¹² *apud* CRECHI (1996), trabalhando com dados de *Araucaria angustifolia*, com amplitude de idade de 6 a 18 anos, ajustaram o modelo de Henriksen para cada idade, independentemente da densidade.

SOARES; PAULA NETO & SCOLFORO (1983), analisaram a relação hipsométrica e alturas médias em povoamentos jovens de *Eucalyptus grandis* no município de Lassance-MG, testando três modelos matemáticos para povoamentos com idades de 2 a 4 anos e em dois tipos de solo (Latosolo Vermelho Amarelo Escuro Distrófico e Latossolo Vermelho Amarelo Claro Distrófico) e concluíram que o modelo parabólico foi o que melhor se ajustou às diferentes idades e nos dois tipos de solo. Modelo este também usado por NOWAK (1990) para ajustar as curvas de relação hipsométrica para três espécies do gênero *Acer* (*Acer platanoides*, *A. saccharum* e *A. saccharinum*) em Rochester e Syracuse, Nova York, EUA, com idades aproximadas de 10 a 80 anos, derivadas de relação idade-diâmetro.

OLIVEIRA & OLIVEIRA¹³ (1988) *apud* EMBRAPA (1988), utilizando 1983 árvores de seis povoamentos de regeneração natural de bracatinga, com idades entre 4,5 e 9,5 anos, de diferentes densidades e sítios, obtiveram a seguinte equação para estimar a altura de árvores de bracatinga: $h = 5,0687 + 0,2930(d) - 0,0408(d)^2 + 0,0617(d \cdot h_{dom})$.

MACHADO; BASSO & BEVILACQUA JR. (1993), ao testar modelos de relação hipsométrica para povoamentos de *Pinus elliottii* no Estado do Paraná, concluíram que o modelo de Henricksen foi o de melhor ajuste, e que o coeficiente de determinação e o erro padrão da estimativa melhoraram sensivelmente ao se estratificar os dados por idade, dentro de cada sítio e recomendaram usar equações genéricas, incluindo variáveis que especifiquem características do povoamento, tais como: altura dominante, idade e densidade.

PARRESOL (1992) comentou a importância da relação altura total-diâmetro

¹² CRECHI, E.H.; FRIEDL, R.A. FERNÁNDEZ, R.A. Evolución de la relación hipsométrica en función de la edad para *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze. *Yvyrareta*, Eldorado, n. 3, p. 86-92, 1992.

¹³ OLIVEIRA, Y.M.M. & OLIVEIRA, E.B. **Determinação de um modelo matemático para estimativa de altura de bracatinga**. Colombo: EMBRAPA, 1988. (Boletim de Pesquisa Florestal)

como componente na estimativa da produção. Empregou a função exponencial $h = 1,30 + \exp(b_0 + b_1(d)^{b_2})$, com dados de *Taxodium distichum* (L.) Rich. Foram examinadas a homogeneidade de variância e a normalidade dos resíduos ; a função foi plotada em relação às médias e em relação às estimativas individuais através de intervalos de confiança.

DOLPH, MORI & OLIVER (1995) utilizaram o modelo $h = 4,5 + \exp(b_0 + b_1(d)^{b_2})$ para o ajuste de 37 parcelas permanentes de quatro espécies (*Pinus ponderosa*, *P. jeffrey*, *Abies concolor* e *Libucedrus decurrens*) no noroeste da Califórnia.

De maneira geral, a correlação altura-diâmetro não é muito forte. Por isso mesmo em florestas plantadas não é comum esta correlação ser maior que 0,8. Contudo, quanto maior a uniformidade da população maior a possibilidade de se utilizar a relação hipsométrica com sucesso.

Segundo MACHADO *et al.* (1994), a relação hipsométrica não é uma relação dendrométrica muito forte, existindo uma grande variabilidade de alturas para uma mesma classe de diâmetro, resultando, na maioria dos casos, em estatísticas de ajuste e precisão pobres, com valores aquém dos desejados em análise de regressão. Em idades mais avançadas e em povoamentos com estrutura alterada por desbastes, também não são muito bons os ajustes.

A relação hipsométrica em povoamentos de mesma idade varia com a qualidade de sítio e a densidade. Povoamentos muitos extensos podem apresentar grandes variações locais destes fatores. Em tais circunstâncias uma única relação hipsométrica ajustada para todo o povoamento seria a resultante de muitas relações diferentes, com uma conseqüente variabilidade muito grande em torno da linha de regressão diâmetro-altura. Em tais casos, para reduzir o erro de estimação de altura pode ser empregado o uso de modelos genéricos de diâmetro-altura (PRODAN *et al.*, 1997).

Logo, em situações nas quais se dispõe de muitos dados heterogêneos, uma solução seria a aplicação de uma equação genérica, eliminando, muitas vezes, o tempo gasto em processamento dos dados, ajuste e seleção de modelos para cada parcela. Por isso, com o objetivo de chegar a estimativas de altura individual por atributos de fácil aquisição do povoamento e abranger uma grande amplitude de dados do povoamento, tem sido crescente a elaboração de equações genéricas.

COX¹⁴ (1994) *apud* PRODAN *et al.* (1997) comparou modelos tradicionais com vários modelos genéricos tendo como base 368 inventários de *pinus*, comprovando que em 88% dos inventários empregados neste estudo, os modelos genéricos foram mais eficazes que os tradicionais.

Segundo CURTIS (1967), tem sido uma prática comum ajustar equações de relação hipsométrica para dados de cada remedição. Desde que cada equação seja baseada em amostras pequenas, com medições feitas por diferentes observadores, as curvas geradas por estas regressões não formam uma progressão consistente e lógica, introduzindo flutuações irregulares e ilógicas na estimativa de incremento periódico. O uso de equações genéricas, expressando a altura em função do diâmetro e idade ajustadas para todos os dados mensurados das parcelas, podem eliminar estas flutuações artificiais.

BLANCO-JORGE (1983) ao testar modelos para relação hipsométrica em povoamentos de *Pinus elliottii* na Floresta Nacional de Três Barras, com idades de 14 a 20 anos, encontrou como o mais eficiente uma equação que se originou da adição da variável combinada (d) multiplicada pela idade ao modelo hiperbólico de Prodan.

$$\left(\frac{d^2}{h-1,3} \right) = b_0 + b_1(d) + b_2(d)^2 + b_3(d.I). \text{ Tal equação é genérica, pois inclui em suas}$$

variáveis um parâmetro do povoamento (idade).

CRECHI (1996) selecionou o modelo genérico de Curtis:

$$\ln h = b_0 + b_1 \left(\frac{1}{d} \right) + b_2 \left(\frac{1}{I} \right) + b_3 \left(\frac{1}{d.I} \right) \text{ para ajustar alturas totais de } \textit{Araucaria angustifolia}$$

em Misiones na Argentina. Foram obtidas equações para cada densidade à diferentes idades de medição.

BURKHART & STRUB (1974) através de um estudo de simulação para *Pinus taeda*, concluíram que a equação de Curtis na forma tradicional define bem a relação hipsométrica. Através de análise de regressão dos coeficientes desta equação verificaram que a intersecção é expressa pela idade do povoamento e altura dominante e, o coeficiente de inclinação é função do número de árvores e da idade. Mas relataram que

¹⁴ COX, F. **Modelos parametrizados de altura.** Informe de convenio de investigación interempresas. 1994. 88 p.

a relação hipsométrica poder ser determinada indiretamente pelo modelo genérico:

$$\log h = b_0 + b_1 (\log h_{dom}) + b_2 \left(\frac{1}{I} \right) + b_3 \left(\frac{\log N}{d} \right) + b_4 \left(\frac{1}{I \cdot d} \right) + b_5 \left(\frac{1}{d} \right)$$

AZEVEDO *et al.* (1999) testaram onze modelos matemáticos para o ajuste de curvas de altura sobre diâmetro de quatro espécies florestais (andiroba, sumaúma, ucuúba e ipê-rosa) em plantio homogêneo em quatro diferentes idades situado na Amazônia Ocidental. Concluíram através da técnica de identidade de modelos que seria possível a utilização de uma única equação para todas as idades por espécie e o modelo mais indicado foi $\frac{d}{\sqrt{h}} = b_0 + b_1(d)$.

CURTIS (1967), trabalhando com *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco, selecionou treze modelos, dos quais cinco sem transformações da altura total e oito com transformações da altura total. Uma comparação entre estes modelos através do índice de Furnival evidenciou uma diferença não pronunciada entre os mesmos. Para ajustar diferenças na predição de altura entre talhões, este mesmo autor adicionou a idade nos modelos de relação hipsométrica e concluiu que para parcelas com remedições o uso de uma equação de altura em função do diâmetro e da idade para cada parcela, em cada medição, mostrou estimativas mais precisas e mais consistentes para volume, crescimento periódico e índice de sítio do que apenas uma equação em função somente do diâmetro.

KRUMLAND & WENSEL (1988) descreveram o desenvolvimento de uma equação genérica de altura-diâmetro que satisfaz a estimativa para árvores individuais baseado no modelo $h = \exp(a - b(d)^{-c})$ que foi sugerido por CURTIS (1967). Estes autores sugerem, também, um modelo que contenha parâmetros do povoamento como a altura média (h_m) e o diâmetro médio (d_m): $h = h_m \exp(-b(d)^{-(C_0 + C_1 h_m)} - (d_m)^{-(C_0 + C_1 h_m)})$, onde a , b , c são os coeficientes dos modelos.

BRUCHWALD & RYMER-DUDZINSKA (1990) investigaram a relação hipsométrica em árvores de *Pinus* spp. de acordo com várias variáveis do povoamento em classes de sítio. Foi ajustado o modelo de Näslund: $h = 1,30 + d^2(b_0 + b_1 d)^2$, posteriormente foram obtidos os coeficientes de correlação entre altura total e diâmetro à altura do peito, apresentando um valor médio de 0,865. Os coeficientes de correlação foram correlacionados com as variáveis do povoamento e as relações mais fortes foram

encontradas para as variáveis: diâmetro médio quadrático (d_g), altura de árvores com diâmetro médio (h_g), idade (I) e desvio padrão dos diâmetros (σ_d).

AHMED (1992) estudou a relação altura-diâmetro e altura-diâmetro-idade de três espécies com idades de 19 a 40 anos. Análises de regressão evidenciaram alta correlação entre as variáveis com o modelo: $h = b_0 + b_1(d)$ e também utilizaram um modelo genérico: $h = b_0 + b_1(I) + b_2(d)$.

O uso de relações hipsométricas para estimar alturas tornou-se bastante difundido nos levantamentos florestais no Brasil e pode-se citar, dentre muitos, trabalhos desenvolvidos por BERMEGUI (1980), HOSOKAWA (1986), SCOLFORO (1993), ROCHADELLI (1997), SILVA (1999) e PIZATTO (1999).

2.2 FATORES QUE AFETAM A RELAÇÃO HIPSOMÉTRICA

Diferenciam-se rigorosamente duas correlações altura-diâmetro, uma descreve o desenvolvimento do povoamento, com o aumento da altura de uma árvore ou povoamento com diâmetro ou idade crescente, apresentando uma curva sigmóide do crescimento, a outra descreve o estado num determinado momento (BURGER, 1980).

Dependo de determinados fatores a curva desta relação pode variar quanto à forma e inclinação. Existem vários fatores que influem nesta relação, tais como: idade, sítio, densidade, posição sociológica, tamanho da copa e espécie. Para o trabalho em questão foram considerados os fatores idade, sítio e densidade inicial.

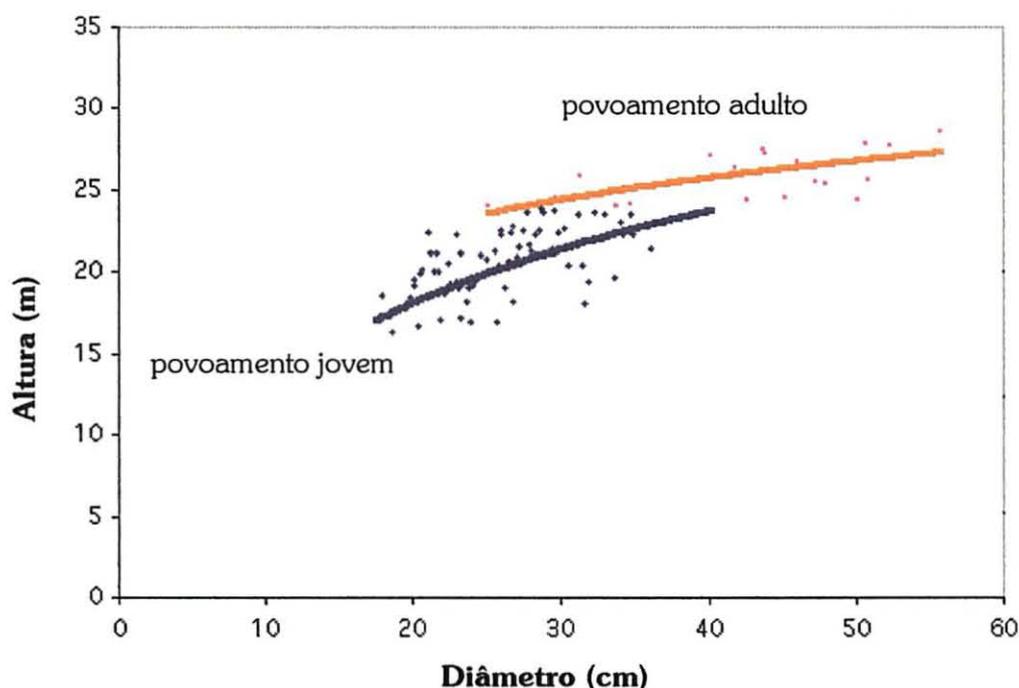
2.2.1 Idade

A forma da curva pode fornecer uma indicação do desenvolvimento e fase de crescimento do povoamento: inclinação íngreme indica um povoamento jovem que ainda está se desenvolvendo; inclinação achatada indica um povoamento mais velho onde o incremento corrente anual é menor. Com o passar do tempo, medidas repetidas das curvas de altura-diâmetro do povoamento geralmente mostrarão mudanças nas mesmas para cima e para a direita. A curva também tenderá a aplainar e chegar à uma

altura máxima (determinada pelo sítio) à medida que o povoamento se torna mais velho (Figura 01) (BURGER, 1980; BRACK, 1999).

A inclinação da curva é determinado pelo crescimento relativo do diâmetro e da altura. Porém, a curva não é bem definida, freqüentemente, porque a competição afeta o crescimento do diâmetro significativamente mais do que afeta o crescimento em altura. Assim, o diâmetro terá uma variação para árvores de uma determinada idade e esta “maquiagem” genética (competição), varia dentro do povoamento, mas a altura não (BRACK, 1999).

FIGURA 01 – FORMA DAS CURVAS DE ALTURA-DIÂMETRO PARA POVOAMENTOS JOVEM E ADULTO.

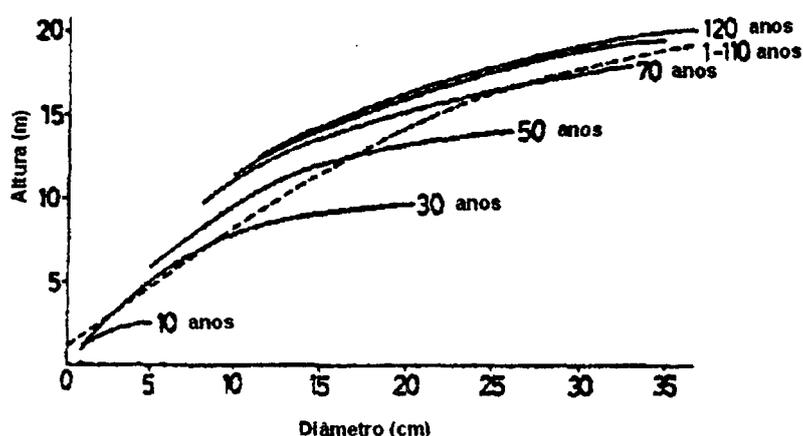


Fonte: BRACK (1999).

Segundo LOETSCH; ZOHRER & HALLER (1973) e BURGER (1980) com o aumento da idade a luta pela sobrevivência obriga, cada vez mais, as árvores das classes dominantes a se posicionarem em classes codominantes e suprimidas. Conseqüentemente, curvas de altura para idades crescentes não se desenvolvem como extensão uma da outra, mas são movidas para cima, como pode ser observado na Figura 02. Com o passar dos anos as diferenças apresentadas entre os intervalos de idade tendem a diminuir, isto é, o incremento de altura e diâmetro é reduzido e as

mudanças em suas curvas tornam-se pequenas. Deste modo, nos povoamentos inequidâneos as curvas de altura e diâmetro são bastante íngremes, indicando fase de crescimento rumo à estabilização, enquanto que em povoamentos equidâneos e nos mais antigos a curva tende a tornar-se mais estável. Curvas de altura de classes normais de manejo são parecidas com aquelas dos povoamentos multiâneos, como pode ser visto pela linha tracejada na Figura 02, em que uma única curva representa a relação hipsométrica.

FIGURA 02 - CURVAS DE ALTURAS DE POVOAMENTOS DE *Pinus sylvestris* COM IDADES CRESCENTES (LINHAS CHEIAS) E DESENVOLVIMENTO DA CURVA DE ALTURA DE UMA CLASSE NORMAL DE MANEJO (LINHA TRACEJADA)



Fonte: LOETSCH; ZOHRER & HALLER (1973).

No momento em que o povoamento florestal atinge seus valores assintóticos tanto em altura como em diâmetro, a curva hipsométrica vai se alterar muito pouco. No caso de florestas clímax, como a Floresta Amazônica, a curva é mais ou menos estável ao longo do tempo, conforme mencionado por MACHADO *et al.* (1994).

CARDOSO (1989), trabalhando com *Pinus taeda*, concluiu que para classes de idade acima de 20 anos ou povoamentos com idades próximas ao corte final, o ajuste de equações não surtiu efeito positivo para estimativas de altura, pois a maioria das árvores medidas pertencia às classes dominantes e codominantes, existindo pouca variação de altura e pequena amplitude de diâmetro, recomendando a medição de todas as árvores da parcela.

Avaliando a influência da idade na relação hipsométrica, CARDOSO (1989) constatou uma forte influência na interseção das linhas de regressão (coeficientes b_0) e

nas inclinações das linhas de regressão (coeficientes b_1), atribuindo estes resultados à heterogeneidade dos grupos de dados que contém parcelas de diferentes sítios e de diferentes tratamentos silviculturais. As diferenças entre inclinações, verificada em algumas idades, podem ser atribuídas ao tratamento destinado ao povoamento.

2.2.2 Sítio

A classificação das terras florestais quanto ao seu potencial de produtividade é um importante elemento, tanto para o técnico responsável pelo manejo, como para o administrador da empresa florestal, já que o índice que expressa essa produtividade é uma variável requerida nos modelos de predição presente e futura do crescimento e da produção (SCOLFORO & MACHADO, 1988).

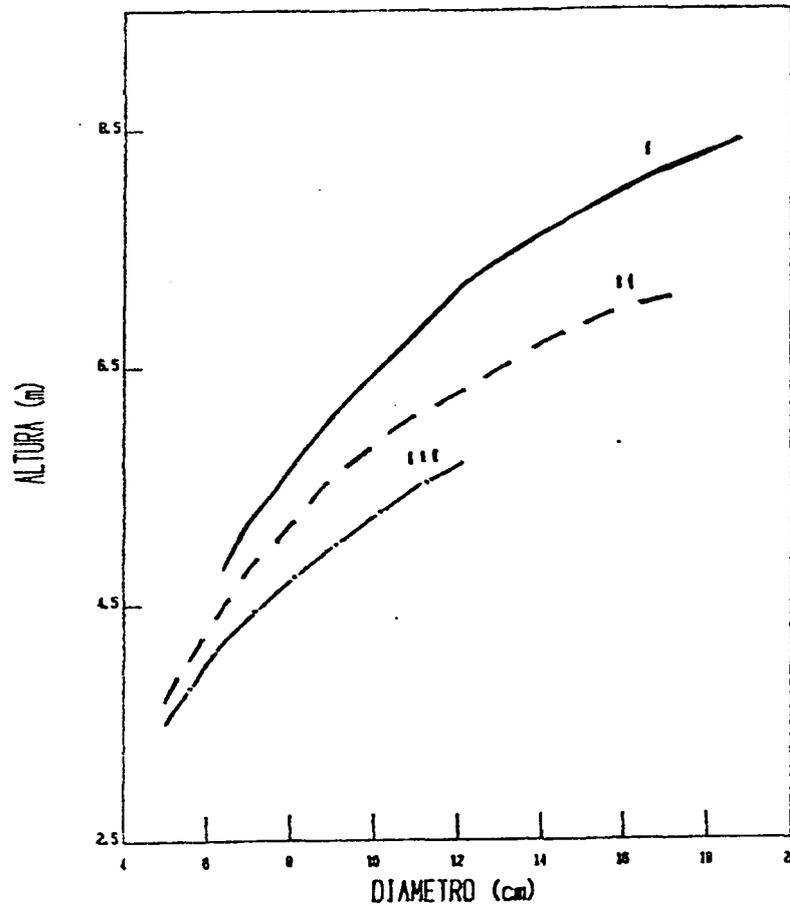
A importância desta classificação é, entretanto, muito mais ampla, podendo ser a base da estratificação dos povoamentos florestais, tanto para fins de inventário, como para fins de exploração com base num rendimento sustentado, ou ainda para classificar as possibilidades e riscos para o manejo das florestas, sendo o sítio uma variável a ser considerada em planejamento local ou regional, de curto ou de longo prazo (MACHADO *et al.*, 1997).

Em locais mais produtivos, a inclinação da curva de relação hipsométrica é mais acentuada do que em locais menos produtivos, visto que altura, seguida do diâmetro, é a variável mais importante em manejo florestal e altamente correlacionada com a qualidade do sítio, portanto o sítio afeta enormemente a relação diâmetro-altura. CARDOSO (1989), analisando este fator através de linhas de regressão da altura em função do diâmetro, verificou que houve efeito significativo do sítio, somente sobre o coeficiente de interseção (coeficientes b_0) dentro da maioria das classes de idade de plantações de *Pinus taeda* no Paraná, caracterizando linhas de regressão crescentes do pior sítio (III) para o melhor sítio (I) (Figura 03).

SCOLFORO (1993) define o mesmo comportamento salientando que em sítios bons o aumento da energia de crescimento favorece a formação de classes sociológicas. Conseqüentemente, povoamentos coetâneos jovens em sítios bons mostram uma curva

de altura relativamente íngreme, enquanto curvas pertencentes a sítios pobres são mais aplainadas.

FIGURA 03 – COMPORTAMENTO DAS LINHAS DE REGRESSÃO POR CLASSE DE SÍTIO PARA A IDADE DE 4 ANOS PARA *Pinus taeda*.



Fonte: CARDOSO (1989)

BUFORD (1986) analisou dados de nove locais com plantios de *Pinus taeda* aos 15 anos de idade, em um estudo de procedência de sementes e concluiu que as diferentes procedências não afetaram a forma da curva da relação altura-diâmetro, em oito das nove procedências. Mas, seis delas afetaram o intercepto das linhas de regressão, o qual está relacionado à altura máxima. As relações hipsométricas para diferentes procedências podem ser integradas originando modelos de produção e crescimento pela modificação do intercepto das curvas para refletir a altura dominante sem alterar a forma básica da curva para um dado sítio.

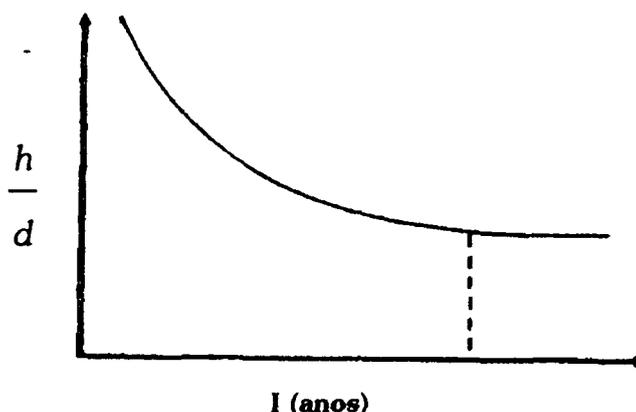
2.2.3 Densidade inicial

Densidade é um termo quantitativo que expressa o grau de ocupação da área por fustes. Geralmente é tomado como área basal por unidade de área ou número de árvores por unidade de área. No entanto, pode-se medir a densidade de uma floresta por outras formas, tais como: índice de densidade, densidade de copa, fator de competição das copas, índice de espaçamento ou espaçamento relativo, volume por unidade de área, densidade pontual, proporção árvore/área (BURGER, 1980; HUSCH; MILLER & BEERS, 1982; CLUTTER *et al.*, 1983).

CLUTTER *et al.* (1983) consideram como critério, para determinar a densidade, o número de árvores por unidade de área, tanto para povoamentos equiâneos não desbastados de uma certa idade e classe de sítio, como para povoamentos multiâneos homogêneos.

A influência do fator densidade será maior ou menor, dependendo do estrato da floresta a qual a árvore pertence; nas árvores dominantes a altura é pouco afetada pelo espaçamento, já nas dominadas a influência desses fatores no desenvolvimento da altura é bastante acentuada. Por outro lado, a variável diâmetro, em qualquer estrato, é bastante afetada pela concorrência, logo, quanto maior a concorrência maior a razão h/d , ou seja, razão altura total/diâmetro à altura do peito (SCOLFORO, 1993) (Figura 04).

FIGURA 04 – COMPORTAMENTO DA RAZÃO ALTURA-DIÂMETRO EM FUNÇÃO DA IDADE.



Fonte: SCOLFORO (1993).

Povoamentos com espaçamentos maiores apresentam diâmetros maiores, pois espaçamentos mais amplos proporcionam mais espaço para o crescimento das raízes e das copas, o que resulta num maior crescimento em diâmetro e, conseqüentemente, influência na relação hipsométrica (CLUTTER *et al.*, 1983; BURGER, 1980; AVERY & BURKHART, 1983).

Segundo SPURR (1952), o crescimento em altura parece pouco afetado pela variação de densidade em florestas manejadas e em povoamentos naturais de densidade moderada. O mesmo é confirmado por CLUTTER *et al.* (1983) para muitas espécies comerciais importantes. No entanto, esta generalização deve ser aplicada dependendo da espécie, pois o crescimento em altura de muitas folhosas é significativamente menor em densidades mais baixas do que em densidades médias ou elevadas, por outro lado povoamentos de coníferas (*Tsuga heterophylla* e *Pinus contorta*) com alta densidade apresentaram crescimento em altura muito reduzido e para outras coníferas de rápido crescimento (*Pinus elliottii* e *Pseudotsuga menziesii*) apresentaram crescimento em altura maior em densidades menores.

MYERS (1966) afirmou que a forma da relação não é mudada pela variação no tamanho da árvore ou densidade do povoamento e usou para representar a relação entre altura e diâmetro em povoamentos equiâneos de *Pinus ponderosa* e *Pinus contorta* o modelo de Henricksen aplicando-o tanto para povoamentos densos em que o crescimento em altura é reduzido, como para povoamentos vigorosos onde já ocorreram sucessivos cortes.

Portanto, a influência do espaçamento é muito mais significativa no crescimento em diâmetro do que em altura. O crescimento em altura não parece ser afetado pela densidade, especialmente quando a comparação é restrita a árvores dominantes e codominantes. Experimentos de espaçamento indicaram que a altura média das árvores dominantes e codominantes era a mesma para densidades diferentes, enquanto o diâmetro médio em povoamentos mais densos era inferior ao de povoamentos menos densos (CLUTTER *et al.*, 1983; BURGER, 1980).

2.3 COMPARAÇÃO ENTRE AS LINHAS DE REGRESSÃO

Segundo CAILLIEZ & ALDER (1980), a comparação entre as linhas de regressão pode ocorrer quando se quer comparar equações obtidas com dados de espécies diferentes, mas com hábitos de crescimento semelhantes ou dados de diferentes regiões, tipos de sítio ou procedências.

Existem duas técnicas básicas de comparação: a primeira é a análise de covariância, mais apropriada para regressão simples, embora possa ser aplicada, também, para regressões múltiplas; a outra se refere aos testes de significância para variáveis condicionais que são muito apropriados para modelos complexos (FREESE, 1964; SNEDECOR & COCHRAN, 1967; STEEL & TORRIE, 1980 e CAILLIEZ & ALDER, 1980).

A análise de covariância, a qual combina aspectos da análise de variância e de regressão, é um meio eficaz de verificar se equações de regressão para estimativas separadas podem ser utilizadas para um grupo, para alguns grupos ou se toda a população poderia ser representada por uma única equação (FREESE, 1964), ou seja, se uma equação gerada por um conjunto de dados de uma determinada parcela pode ser usada em detrimento de uma outra, obtida de um outro conjunto de dados, ou ainda, se será melhor usar uma terceira equação obtida com o agrupamento dos dados das duas parcelas (AZEVEDO *et al.*, 1999).

As equações de regressão podem diferir por terem diferentes inclinações. Existindo o paralelismo, elas podem diferir em nível, ou seja, seus interceptos não são iguais (KOZAK, 1972).

Ao se fazer testes para ver se ocorrem regressões comuns, o procedimento consiste, primeiro, em verificar se há inclinações comuns. Se as inclinações diferem significativamente, as regressões são diferentes e não se requer continuidade de testes. Se as inclinações não são significativamente diferentes, testa-se a diferença em posição, ou seja, dos interceptos (FREESE, 1970).

OLIVEIRA & OLIVEIRA (1990) utilizaram a análise de covariância para testar a inclinação e o intercepto, para verificação do anamorfismo das curvas de crescimento e encontraram valores do teste *F* estatisticamente significativos, indicando assumir o paralelismo entre as curvas nas diferentes idades.

FIGUEIREDO FILHO (1983) utilizou esta técnica para testar o ajuste de um único modelo de regressão para populações de tipologias distintas (Várzea e Terra Firme).

SILVA (1979) aplicou os testes de paralelismo e coincidência para comparar equações desenvolvidas para três regiões no Estado de Minas Gerais e Mato Grosso do Sul em povoamentos de *Eucalyptus* spp.

SILVA & SCHNEIDER (1979) aplicaram o método de KOZAK (1972), que é a aplicação da análise de covariância, para comparar equações de volume com casca de *Acacia mearnsii*, ajustadas para três plantios diferentes, situados no Rio Grande do Sul. Concluíram, através dos testes de paralelismo e coincidência, que uma única equação poderia ser utilizada, resultante da combinação de todas as observações.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

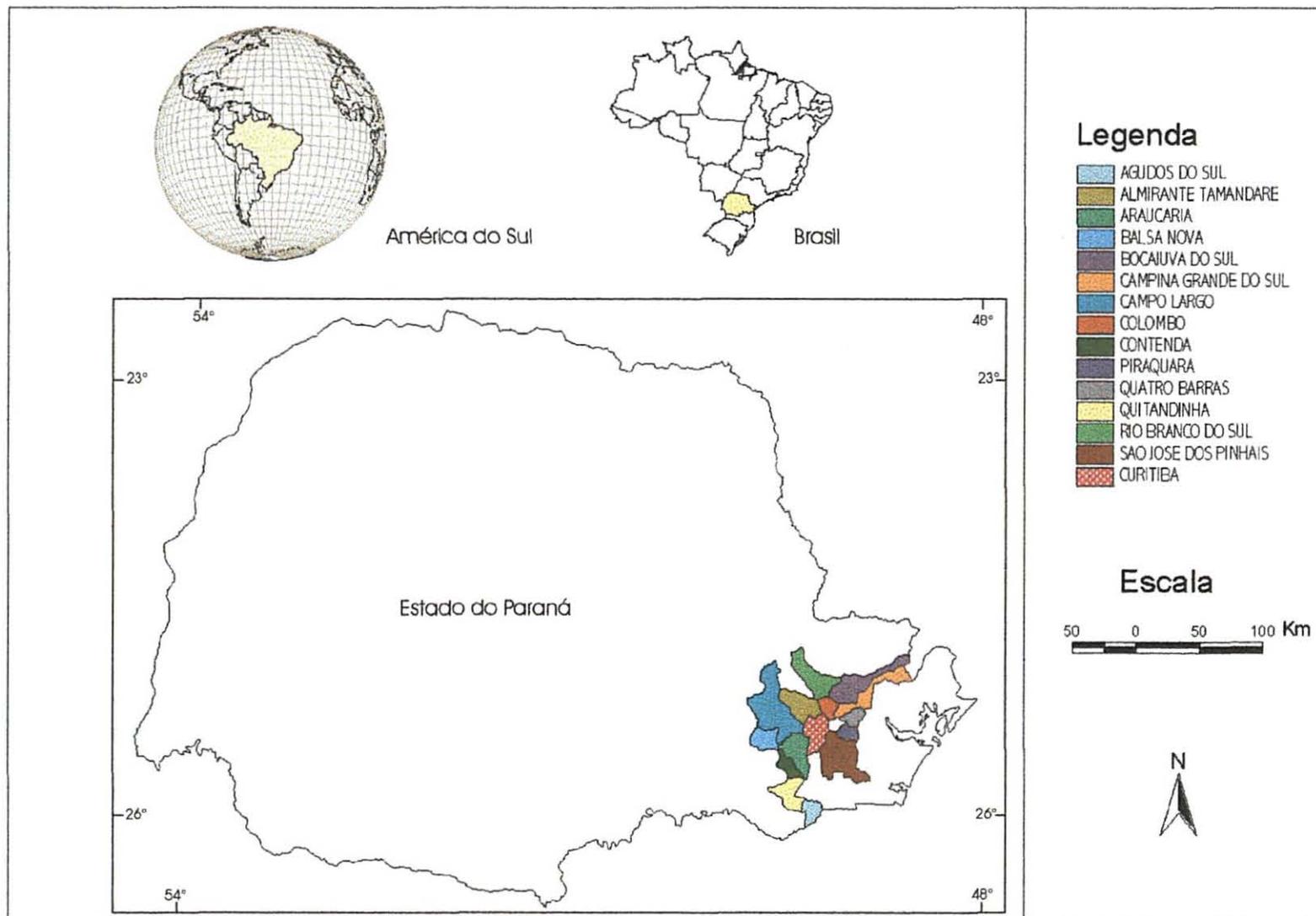
3.1. MATERIAIS

3.1.1 Localização e Caracterização da Área de Estudo

Para a realização desta pesquisa foram utilizados dados provenientes de 20 parcelas permanentes, remedidas 6 vezes e 124 parcelas temporárias, instaladas e medidas em várias localidades da Região Metropolitana de Curitiba, incluindo 14 municípios e abrangendo uma área de 876.300 ha, dos quais, aproximadamente, 50.000 ha estão cobertos com bracatingais nativos, ou seja, 5,7%. As parcelas permanentes foram estabelecidas nos municípios de Colombo e Bocaiúva do Sul, enquanto as temporárias se localizaram nos municípios de Bocaiúva do Sul, Colombo, Campina Grande do Sul, Campo Largo, Balsa Nova, Almirante Tamandaré, Rio Branco do Sul, Contenda, Araucária, Piraquara, Quatro Barras, São José dos Pinhais, Quitandinha, e Agudos do Sul, todos no Estado do Paraná, Brasil (Figura 05). Esses municípios situam-se entre as latitudes 25°11' e 25°49' S e entre as longitudes 49°05' e 49°43' W.

Segundo o sistema de classificação de Köppen, o tipo climático regional, onde as parcelas permanentes e temporárias foram instaladas, é *Cfb*, que corresponde ao clima temperado propriamente dito, mesotérmico úmido sem estação seca definida, com quatro estações bem definidas, com verões quentes e chuvosos e invernos frios com períodos secos eventuais. Este tipo climático é característico de áreas planas e superfícies dos planaltos. A temperatura média do mês mais frio é inferior a 18°C e os verões são frescos com a temperatura média do mês mais quente em torno de 22,6°C. A temperatura média anual se apresenta em torno de 17°C, com mínimas de 12°C e máximas de 23°C. Em virtude da altitude e do derrame de ar frio de frente polar, devem ser esperadas, em média, mais de 10 até 25 geadas noturnas por ano (MAACK, 1981; IAPAR, 1994).

FIGURA 05 - LOCALIZAÇÃO DAS ÁREAS DE ESTUDO ONDE FORAM INSTALADAS AS PARCELAS PERMANENTES E TEMPORÁRIAS



A precipitação média anual situa-se entre 1.300 e 2.500 mm, com distribuição uniforme ou com leve diminuição no inverno, não ocorrendo déficits hídricos. Os municípios onde as parcelas permanentes foram instaladas apresentam precipitação média anual de 1.400 mm e umidade relativa do ar de 80%. A precipitação máxima ocorre no mês de janeiro e as mínimas entre abril e agosto, com 200 mm e 75-100 mm/mês, respectivamente (MAACK, 1981; IAPAR, 1994).

Em quase a totalidade da superfície da Região Metropolitana de Curitiba, a ocorrência da bracinga se apresenta em altitudes superiores a 700 m acima do nível do mar e predominam os solos do tipo Cambissolos, com diferentes graus de profundidade e fertilidade. Em geral são solos pobres, pouco desenvolvidos e dispostos em um relevo bastante ondulado, com inclinações diversas. São solos ácidos, com elevadas concentrações de alumínio e baixa saturação de bases. Predominam as texturas argilosas e ricas em matéria orgânica no horizonte A, apresentando boa drenagem (BAGGIO, 1994).

Segundo o levantamento de solos produzidos pela EMBRAPA – SNLCS, na escala de 1:300.000, a área de estudo apresenta basicamente os seguintes tipos de solos (LAURENT, 1990):

a) Latossolo Vermelho Escuro Distrófico com A proeminente, textura argilosa, relevo suave ondulado de pendentes longas. São solos ácidos, de baixa fertilidade natural, bem suprido de água, pouco suscetíveis a erosão, mecanizáveis, exigindo práticas simples de conservação de solos. A correção de acidez tóxica e a adubação química são necessárias para a preservação das condições de uso agrícola.

b) Associação de Latossolo Vermelho Amarelo Álico com A proeminente, textura argilosa, relevo ondulado (fortemente drenados, baixa saturação de bases e elevada saturação de alumínio, com suscetibilidade a erosão) com Cambissolo Álico com A proeminente, textura argilosa, relevo fortemente ondulado, substrato filito (fertilidade muito baixa, baixa saturação de bases e elevada saturação de alumínio com suscetibilidade a erosão).

c) Associação de Cambissolo Álico com A moderado argilosa, relevo fortemente ondulado e montanhoso (são ácidos, de baixa fertilidade natural, saturação de bases muito baixa e elevada saturação de alumínio, bastante suscetíveis a erosão) com solos Litólicos Distróficos com A moderado argilosa, relevo montanhoso, substrato filito (muito

rasos, ocorrendo nas partes altas da topografia, sem condições de uso agrícola) com afloramentos de rochas associados.

d) Cambissolo Álico com A proeminente, textura argilosa, relevo suave ondulado (substrato migmático) ou forte ondulado (substrato filito). Apresenta baixa fertilidade natural, acidez elevada, alta saturação de alumínio, suscetibilidade à erosão e potencial para motomecanização parcial. Para o uso agrícola são fundamentais as práticas conservacionistas, com correção da acidez e fertilização do solo.

e) Podzólico Vermelho Amarelo com A proeminente, textura argilosa e relevo forte ondulado, proveniente de migmatitos. São solos de baixa fertilidade média natural com baixa saturação de bases, suscetíveis à erosão e tendo pouca viabilidade de mecanização.

3.1.2 Implantação do experimento

3.1.2.1 Parcelas permanentes

Os dados das parcelas permanentes resultaram da implantação de experimento pelo pesquisador da EMBRAPA/CNPQ, Antonio A. Carpanezzi. As operações de implantação tiveram início após contatos com proprietários de áreas de bracatingais e a procura de áreas de bracatingais com 12 meses de idade. Posteriormente, foram escolhidas quatro propriedades de colonos, nas regiões de Bocaiúva do Sul e Colombo. A implantação das parcelas foi realizada entre agosto de 1984 a janeiro de 1985 (um ano após a regeneração natural) e o delineamento utilizado foi o em blocos ao acaso. Cada bloco constituiu-se de 4 parcelas de 325 m² (13 x 25 m) e ao redor das mesmas foram deixadas bordaduras de 5 m.

Após à implantação, foram efetuados desbastes nas parcelas e bordaduras, conforme sorteio, para que apresentassem as diferentes densidades desejadas. Estes desbastes foram executados com foice, seguido de uma roçada, para eliminar a “mato-competição”.

Com base nos dados do levantamento preliminar das sub-parcelas, foram retiradas as árvores menores e após o desbaste realizou-se nova medição da altura de

todas as árvores remanescentes, a qual corresponde à medição 1. Na Tabela 01 são apresentadas as densidades, incluindo as parcelas sem desbaste (testemunha). Portanto, a densidade foi expressa pelo número de árvores por hectare, constituindo os tratamentos do experimento de densidade inicial.

TABELA 01 - TRATAMENTOS DE DENSIDADE INICIAL

Tratamento	Nº de árvores /ha	Nº de árvores/parcela
1	testemunha	Total das árvores
2	2.000	65
3	4.000	130
4	8.000	260

Após o desbaste, foram realizadas medições anuais até a idade de sete anos. Nas duas primeiras medições, foram obtidas a altura total (h) das árvores e determinou-se o número de árvores/ha (N) e, nas seguintes, além da altura e densidade, mediu-se o diâmetro à altura do peito (d). Não houve medição na idade de três anos. Foram utilizadas varas telescópicas para medir as alturas e sutas para os diâmetros.

Como as remedições dos blocos não foram realizadas na mesma época (Tabela 02), os meses foram transformados em frações decimais de anos para realização dos cálculos posteriores. Assim, as idades foram: 1,0; 2,0; 2,2; 3,9; 4,1; 4,2; 4,8; 5,0; 5,4; 6,3 e 7,6 anos. Para esta pesquisa foram utilizadas as parcelas com idades a partir de 3,9 anos; pois, para as idades 1,0; 2,0; 2,2 anos não foram obtidos dados da variável diâmetro.

Na propriedade de Daniel Rosenente (ADR, BDR) foram instalados dois blocos e nas demais propriedades somente um bloco, perfazendo um total de cinco blocos. As duas últimas medições do bloco da propriedade de Antônio Trevisan (AT) e a última do bloco da propriedade de Benjamim Scremin (BS) não puderam ser incorporadas ao banco de dados, devido a danos ocorridos no experimento.

TABELA 02 - LOCALIZAÇÃO E IDENTIFICAÇÃO DOS BLOCOS DO EXPERIMENTO DE DENSIDADE INICIAL: DATAS E IDADES DE MEDIÇÃO DAS PARCELAS PERMANENTES.

Município	Proprietário	Sigla Bloco	Ano Queima	Implantação (medição pré desbaste)	Desbaste	Idades (anos)						
						1	2	3	4	5	6	7
						Medição						
1	2	X	3	4	5	6						
Colombo	Daniel Rosente	ADR BDR	83	08/84	09/84	09/84	11/85	X	11/87	02/89	01/90	04/91
Bocaiúva do Sul	Felício Costa Curta	CC	83	10/84 11/84	11/84	10/84	12/85	X	11/87	10/88	01/90	04/91
Bocaiúva do Sul	Benjamin Soremin	BS	83	10/84 11/84	11/84 12/84	11/84 12/84	01/86	X	12/87	11/88	01/90	*
Bocaiúva do sul	Antonio Trevisan	AT	83	01/85	02/85	01/85	01/86	X	12/87	11/88	*	*

Legenda: * = parcela derrubada, X = ausência de dados

3.1.2.2 Parcelas temporárias

Paralelamente, o já mencionado pesquisador da EMBRAPA-CNPQ instalou e mediu o diâmetro e as alturas totais em 77 parcelas temporárias, em bracatingais nativos, com idades variando de 3 a 18 anos, principalmente nos Municípios de Colombo, Bocaiúva do Sul e Campina Grande do Sul, todos no Estado do Paraná. Posteriormente, foram medidas mais 10 parcelas para reforçar o conjunto de dados nas idades de 10, 11 e 12 anos. As alturas foram medidas com vara telescópica e os diâmetros com suta.

A Companhia de Energia Elétrica do Paraná (COPEL), Divisão de Meio Ambiente, cedeu dados de medições de mais 37 parcelas, com idades entre 3 e 13,5 anos, localizadas nos municípios de Campo Largo, Balsa Nova, Almirante Tamandaré, Rio Branco do Sul, Contenda, Araucária, Piraquara, Quatro Barras, São José dos Pinhais, Quitandinha, e Agudos do Sul. As alturas foram medidas com vara telescópica e os diâmetros com fita métrica.

O levantamento de dados destas parcelas foram úteis para o presente trabalho porque um dos seus objetivos foi o de ajustar modelos comuns tanto às parcelas

permanentes como temporárias, contando com observações em idades mais avançadas, visto que as parcelas permanentes não dispunham de dados com idades mais avançadas. As parcelas temporárias foram submetidas a manejo tradicional, ou seja, a densidade inicial permaneceu inalterada após as capinas.

3.1.3 Classificação de sítio

Para classificar o sítio, tanto das parcelas permanentes como das temporárias, utilizou-se a equação desenvolvida por MACHADO *et al.* (1997), baseada no modelo biológico de Chapman-Richards, obtidos com o mesmo conjunto de dados do presente trabalho. Para esta classificação foi utilizada a idade de referência de 7 anos. A equação selecionada por esses autores foi:

$$h_{dom} = 21 (\exp(0,08325148 (I)))^{0,58797742}$$

Rearranjando a equação para o cálculo das curvas limites das classes de sítio, tem-se:

$$h_{dom} = IS \left[\frac{1 - \exp(-0,08325148 (I))^{0,58798}}{1 - \exp(-0,08325148 (I_{ref.}))} \right]$$

sendo: I - idade (anos); h_{dom} - altura dominante (m); IS - índice de sítio (m); $I_{ref.}$ - a idade de referência (7 anos).

No trabalho desenvolvido por MACHADO *et al.* (1997) foram estabelecidos quatro classes de sítio, com índices de sítio 17,25 m (sítio I), 14,75 m (sítio II), 12,25 m (sítio III) e 9,75 m (sítio IV). No entanto, com esta classificação, a distribuição das parcelas permanentes nestas classes apresentou-se de maneira pouco uniforme, pois apareceu um bloco na classe de sítio I, dois blocos na classe de sítio III, um bloco na classe de sítio IV e o um outro bloco entre as classes de sítio II e III.

Trabalhou-se, então, com três classes de sítio, com índices de sítio 16,8 m (sítio I), 13,5 m (sítio II) e 10,2 m (sítio III) aos 7 anos de idade (idade índice ou de referência), reclassificação elaborada por TONON (1998), que também usou a equação de MACHADO *et al.* (1997). Com estes valores, foram obtidos os limites de altura dominante para cada classe de sítio ao longo das idades (Tabela 03).

TABELA 03 - LIMITES INFERIOR (LI) E SUPERIOR (LS) DAS ALTURAS DOMINANTES AO LONGO DAS IDADES E DOS SÍTIOS

Idade (anos)	Classes de Sítio / Altura dominante (m)					
	III		II		I	
	(LI)	(LS)	(LI)	(LS)	(LI)	(LS)
1	3,1	4,3	4,3	5,5	5,5	6,8
2	4,6	6,4	6,4	8,1	8,1	9,9
3	5,7	7,9	7,9	10,1	10,1	12,3
4	6,6	9,1	9,1	11,7	11,7	14,2
5	7,3	10,2	10,2	13,0	13,0	15,8
6	8,0	11,1	11,1	14,2	14,2	17,2
7	8,6	11,9	11,9	15,2	15,2	18,5
8	9,1	12,5	12,5	16,0	16,0	19,5
9	9,5	13,2	13,2	16,8	16,8	20,5
10	9,9	13,7	13,7	17,5	17,5	21,3
11	10,2	14,2	14,2	18,1	18,1	22,1
12	10,6	14,6	14,6	18,7	18,7	22,8
13	10,8	15,0	15,0	19,2	19,2	23,4
14	11,1	15,4	15,4	19,7	19,7	24,0
15	11,3	15,7	15,7	20,1	20,1	24,5
16	11,6	16,0	16,0	20,5	20,5	24,9
17	11,7	16,3	16,3	20,8	20,8	25,3
18	11,9	16,5	16,5	21,1	21,1	25,7
19	12,1	16,7	16,7	21,4	21,4	26,1
20	12,2	16,9	16,9	21,7	21,7	26,4

Fonte: TONON (1998).

Com esta reclassificação, um bloco das parcelas permanentes situou-se na classe I, dois blocos situaram-se na classe II e os outros dois na classe III. Para as 124 parcelas temporárias, 20 situaram-se na classe de sítio I, 72 na classe II e 32 na classe III. A classificação para as parcelas permanentes é apresentada na Tabela 04.

TABELA 04 - CLASSIFICAÇÃO DOS BLOCOS DO EXPERIMENTO PARA AS PARCELAS PERMANENTES

Bloco	Classes de sítio	Índice de sítio (m)
AT	I	16,8
BS	II	13,5
CC	II	13,5
ADR	III	10,2
BDR	III	10,2

3.1.4 Base de dados

Os dados de campo de cada parcela, permanentes ou temporárias, foram armazenados em arquivos para cada combinação de sítio, idade e densidade. Os dados das parcelas que apresentaram a mesma classificação de sítio, idade e mesma densidade inicial foram agrupados. Portanto, os dados do bloco BS foram agrupados com os dados do bloco CC e os do ADR com os do BDR, formando três blocos correspondentes às três classes de sítio. O mesmo procedimento foi efetuado com as parcelas temporárias, ou seja, as parcelas que apresentaram o mesmo índice de sítio e idade foram agrupadas ano a ano e a partir da idade de sete anos foram agrupadas a cada dois anos. As variáveis, diâmetro à altura do peito (d), altura total (h) e densidade (N) foram obtidas no campo; a altura dominante (h_{dom}) foi calculada através da média das alturas das três árvores de maior (d) em uma área de 325 m^2 (método das 100 árvores de maior (d) por hectare). O diâmetro médio quadrático (d_q), que corresponde ao diâmetro da árvore de área seccional média da população, foi obtido pela fórmula $\sqrt{\frac{4\bar{g}}{\pi}}$.

3.2. MÉTODOS

3.2.1 Modelos testados

Foram testados 19 modelos matemáticos selecionados da literatura para cada combinação de sítio, idade e densidade, utilizando o método dos mínimos quadrados da análise de regressão linear e o método Quasi-Newton para a análise de regressão não linear múltipla. A estimativa dos parâmetros para o ajuste dos modelos foi feita através do pacote estatístico STATISTICA 5.1 do laboratório de processamento de dados do Curso de Pós-graduação em Engenharia Florestal da Universidade Federal do Paraná.

Primeiramente, foram testados 12 modelos (Tabela 05), incluindo como variáveis independentes, o diâmetro à altura do peito (d) e algumas transformações do mesmo. Estes modelos foram testados para as parcelas permanentes em suas várias

combinações de sítio, idade e densidade. O mesmo procedimento foi efetuado para as diversas combinações de sítio e idade das parcelas temporárias.

TABELA 05 - MODELOS TRADICIONAIS TESTADOS PARA A ESTIMATIVA DA ALTURA TOTAL

	Modelos	Autor
1	$h = b_0 + b_1 \ln(d)$	HENRICKSEN (1950)
2	$h = b_0 + b_1(d^2)$	*
3	$h = b_0 + b_1(d) + b_2(d^2)$	*
4	$h = b_0 + b_1\left(\frac{1}{d}\right)$	CURTIS (1967)
5	$h = b_0 + b_1\left(\frac{1}{d}\right) + b_2\left(\frac{1}{d^2}\right)$	*
6	$\left(\frac{d^2}{h}\right) = b_0 + b_1(d) + b_2(d^2)$	PRODAN (1965)
7	$\ln h = b_0 + b_1 \ln(d)$	STOFFELS (1953)
8	$\ln h = b_0 + b_1(d^2)$	*
9	$\ln h = b_0 + b_1(d) + b_2(d^2)$	*
10	$\ln h = b_0 + b_1\left(\frac{1}{d}\right)$	CURTIS (1967)
11	$\ln h = b_0 + b_1\left(\frac{1}{d}\right) + b_2\left(\frac{1}{d^2}\right)$	*
12	$h = b_0 + b_1(d)$	*

Legenda: * modelos citados nas seguintes fontes: CURTIS (1967); MACHADO *et al.* (1993, 1994); PIZATTO (1999) e AZEVEDO *et al.* (1999).

Além dos modelos tradicionais foram testados sete modelos genéricos para o ajuste de altura total, os quais envolvem variáveis do povoamento, sendo que, em uma primeira etapa somente as parcelas temporárias foram analisadas e, em uma segunda etapa as testemunhas das parcelas permanentes em conjunto com as parcelas temporárias. Nas duas etapas foram englobados todos os sítios, idades e densidades, de forma que se obtivesse uma equação comum tanto às parcelas permanentes como às temporárias, contando com observações em idades mais avançadas.

Foram testados modelos que incluem, além da variável diâmetro, as variáveis idade (I), densidade (N), diâmetro médio quadrático (d_g) e altura dominante (h_{dom}), em suas diversas transformações, como variáveis independentes, tanto em modelos aritméticos, logarítmicos e não lineares. Na Tabela 06 são apresentados os modelos genéricos.

TABELA 06 - MODELOS GENÉRICOS TESTADOS PARA A ESTIMATIVA DA ALTURA TOTAL

	Modelos	Autor
13	$\ln h = b_0 + b_1 \left(\frac{1}{d}\right) + b_2 \left(\frac{1}{I}\right) + b_3 \left(\frac{1}{d.I}\right)$	CURTIS (1967)
14	$\left(\frac{d^2}{h-1,3}\right) = b_0 + b_1(d) + b_2(d^2) + b_3(d.I)$	BLANCO-JORGE (1983)
15	$\ln h = b_0 + b_1 h_{dom} + b_2 \ln\left(\frac{d_g}{d}\right) + b_3 \left(\frac{1}{d.I}\right) + b_4 \left(\frac{1}{d}\right)$	SCOLFORO (1993)
16	$\ln h = b_0 + b_1 h_{dom} + b_2 \left(\frac{1}{d}\right) + b_3 \ln\left(\frac{N}{d.I}\right) + b_4 \left(\frac{1}{d.I}\right)$	SCOLFORO (1993)
17	$\ln h = b_0 + b_1 S + b_2 N + b_3 \left(\frac{1}{I}\right) + b_4 \left(\frac{1}{d}\right)$	CLUTTER & BENNETT apud SCOLFORO (1993)
18	$\ln h = b_0 + b_1 \ln(h_{dom}) + b_2 \left(\frac{1}{I}\right) + b_3 \ln(N.d) + b_4 \left(\frac{1}{d.I}\right)$	LENHART (1986)
19	$h = b_0 + b_1(d) + b_2(d^2) + b_3(d.h_{dom})$	EMBRAPA (1988)

3.2.2 Seleção de modelos pelo processo *Stepwise*

Quando se quer desenvolver um modelo por processo *Stepwise*, *Backward* ou *Forward*, a correlação entre as variáveis é muito útil. Correlação é uma medida da intensidade de associação entre duas ou mais variáveis, sendo expressa pelo coeficiente de correlação, que indica o grau de dependência entre as mesmas.

O método *Backward* consiste em eliminar todas as variáveis que não atingem o grau de significância determinado para o teste. O método *Forward*, ao contrário do *Backward*, seleciona as variáveis que contribuem significativamente ao modelo, as quais

são adicionadas ao mesmo e escolhidas uma a uma. O método utilizado neste trabalho é o método *Stepwise*, o qual se fundamenta na inclusão de variáveis, até que a equação de regressão seja satisfatória, selecionando as variáveis que contribuem significativamente para o modelo, utilizando os coeficientes de correlação parciais, os testes parciais de *t* e *F*. Este método analisa as variáveis em qualquer momento em que são selecionadas para entrar no modelo e não somente quando são adicionadas, ou seja, se a variável que entrou no modelo em algum passo anterior não for significativa no passo atual, a mesma é eliminada quando uma outra variável entrar no modelo. Mas entrará primeiramente aquela variável que apresenta o maior coeficiente de correlação parcial com a variável dependente (PATON, 1984; CHARNET *et al.*, 1999).

3.2.3 Escolha do melhor modelo de ajuste

Para selecionar o melhor modelo de ajuste, foram usadas as estatísticas: índice de ajuste de Schlaegel, erro padrão da estimativa em porcentagem e análise gráfica de resíduos.

Índice de ajuste de Schlaegel (I.A.) é uma estatística comparável ao coeficiente de determinação. Consiste em retransformar as predições dos valores estimados para as unidades originais. No caso de equações aritméticas o valor do índice de Schlaegel é igual ao valor do coeficiente de determinação, não requerendo maiores cálculos. No entanto, para as equações ponderadas ou logaritimizadas, deve-se recorrer ao cálculo do I.A., pois este será diferente do R^2 . Portanto, este índice serve como um comparador de equações de diversas naturezas:

$$I.A. = 1 - \frac{n-1}{n-p} \frac{SQ_{resíduo}}{SQ_{total}}$$

onde: SQ = soma de quadrados, recalculado para a variável altura total (h)

n = nº de observações

p = nº de variáveis independentes ou nº de coeficientes

Erro padrão da estimativa (S_{yx}) é uma medida de dispersão entre os valores observados e estimados pela regressão e é desejável que se tenha o menor valor. Nos modelos 6 a 19, a variável dependente não é a variável básica altura, portanto estes

modelos sofreram transformações para que seus coeficientes fossem ajustados. Desta forma, não se comparou diretamente o erro padrão da estimativa das equações, por serem relativos a variáveis dependentes diferentes. Portanto, para ser feita a comparação entre os modelos foi necessário recalculá-lo para as equações 6 a 19, para que tivesse a mesma base de comparação de (h) , como segue:

$$S_{yx_{recalculado}} = \sqrt{\frac{\sum (\hat{y} - y)^2}{n - p}} \quad S_{yx_{recalculado}} \% = \frac{S_{yx_{recalculado}}}{\bar{y}} \cdot 100$$

onde: \hat{y} = altura estimada, y = altura observada, n = nº de observações, p = nº de coeficientes, \bar{y} = média aritmética das alturas

Mesmo que todos os indicadores de ajuste sejam satisfatórios para a escolha do melhor modelo, a análise gráfica dos resíduos é decisiva, pois permite detectar tendenciosidades, emprego inadequado do modelo, baixa correlação entre as variáveis, falta de ajuste e permitindo a tomada de decisão quanto à mudança do modelo ou de sua manutenção. O uso dos resíduos na forma relativa (percentual) em função da variável dependente estimada, é mais adequado para ter uma melhor noção da dimensão das sub e super-estimativas do valor real e a comparação entre os diversos modelos ajustados. Como a avaliação gráfica é visual, pode deixar alguma dúvida, por isso é usada em conjunto com as estatísticas citadas anteriormente. O ideal é que todos os pontos se distribuam de forma uniforme, próximos do valor zero. Em relações hipsométricas tem-se encontrado uma amplitude de $\pm 30\%$. No entanto, não se deve adotar, este percentual, como regra.

A análise gráfica é o elemento mais importante para visualizar o desempenho de uma equação de regressão, pois permite observar tendências nas estimativas propiciadas pela mesma. Além disso, é mais informativa do que os procedimentos que envolvem medidas numéricas de tendenciosidade (DRAPER & SMITH, 1966).

A aplicação de equações logarítmicas para estimativas, resultam em erros sistemáticos definidos como discrepância logarítmica. Esta discrepância ocorre quando se obtém o antilogaritmo da variável dependente estimada pela regressão. Para corrigir este erro, multiplicou-se cada altura estimada pelo seguinte fator de correção:

$F = 10^{0,5 \cdot (S_{yx}^2 \cdot \ln 10)}$ ou $F = 10^{1,1513 \cdot (S_{yx}^2)}$, onde: S_{yx}^2 = quadrado médio do erro em unidades logarítmicas.

hierárquica) entre os 12 modelos não genéricos (tradicionais), para as combinações dos três sítios, quatro medições, quatro densidades das parcelas permanentes e entre os sete modelos genéricos nos três sítios e 15 idades das parcelas temporárias. O objetivo do *ranking* é saber qual modelo de relação hipsométrica que, na média de todas as análises, teve a melhor performance. Cada equação recebeu uma classificação (pontuação) quanto ao melhor ajuste em relação as estatísticas Índice de Schlaegel (I.A.) e erro padrão da estimativa em porcentagem ($S_{yx}\%$). Após a classificação individual, foi feita a soma desta pontuação e o modelo que recebeu o menor valor foi recomendado como o mais adequado para o uso.

3.2.2 Análise dos efeitos de alguns fatores na relação hipsométrica

Para avaliar a evolução da relação hipsométrica em função dos fatores sítio, idade e densidade foram elaboradas curvas da relação altura-diâmetro obtidas com o modelo de melhor ajuste realizado com os dados das parcelas permanentes, ou seja, o modelo que se destacou entre os 12 modelos citados anteriormente.

As curvas demonstram o comportamento da relação ao longo do tempo e em função dos vários fatores. Portanto, estes fatores podem afetar ou não a relação hipsométrica, e para avaliar se há efeito, é necessário fazer uma comparação entre as linhas de regressão obtidas com o modelo.

Para se fazer a comparação entre as linhas de regressão e avaliar o efeito dos tratamentos sítio, idade e densidade na relação hipsométrica, foi utilizada a análise de covariância, através dos testes de paralelismo e de coincidência para verificar a significância dos efeitos.

Os resultados das análises de covariância para os testes de paralelismo e de coincidência foram avaliados através do teste F , cujos valores calculados foram comparados com valores tabelados, ao nível de 1 e 5 % de significância ($\alpha=0,05$ e $\alpha=0,01$).

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 PARCELAS PERMANENTES

As estatísticas descritivas para os dados utilizados no ajuste dos modelos de relação hipsométrica das parcelas permanentes foram obtidas para o total dos dados e para os dados estratificados por sítio, idade e densidade para a variável diâmetro à altura do peito (d) e para a variável altura total (h) (Anexo 01, Tabela 20).

Para o total dos dados, ou seja, para as 6.733 árvores foi encontrado uma amplitude diamétrica de 0,8 a 17,2 cm, uma média diamétrica de 6,6 cm e um desvio padrão para os diâmetros de 2,57 cm. Com relação à variável altura foi encontrado uma amplitude de 2,2 a 16,42 m, uma média de 9,2 m e um desvio padrão de 1,95 cm.

A existência de dados em vários sítios, idades e densidades permitiu realizar 480 análises envolvendo a combinação dos modelos matemáticos de 1 a 12 (Tabela 05), três classes de sítios (índices de sítio: 16,8 m; 13,5 m e 10,2 m), idades de quatro a sete anos e quatro tratamentos de densidade inicial (testemunha, 2.000, 4.000 e 8.000 árvores/hectare).

Com base nestas 480 análises pôde-se montar uma tabela para comparação entre os modelos testados através das estatísticas índice de Ajuste de Schlaegel (I.A.) e erro padrão da estimativa recalculado em porcentagem ($S_{yx}\%$) (Anexo 3, Tabelas 25 a 29).

Pôde-se verificar uma amplitude grande entre os valores mínimos e máximos destas estatísticas. Os menores valores do I.A. e maiores valores de $S_{yx}\%$ foram encontrados para os modelos 2 e 8. Os resultados evidenciaram que nenhum dos modelos testados foram sempre eficientes para todas as combinações, porém os modelos 5, 6 e 11 se destacaram.

As análises realizadas para o ajuste dos modelos de relação hipsométrica forneceram resultados do índice de Schlaegel (I.A.) de 0,16 a 0,94, apresentando um valor médio de 0,54 e erro padrão da estimativa recalculado em porcentagem ($S_{yx}\%$) de 5,67 a 19,64% com um valor médio de 9,11%.

Para selecionar um modelo que, na média de todas as análises, obteve a melhor performance adotou-se um *ranking* entre os mesmos e, para se fazer este *ranking* cada equação foi pontuada de 1 a 12. O somatório da pontuação das equações para os diferentes sítios, densidades e idades para as parcelas permanentes, segundo as estatísticas índice de Schlaegel e erro padrão da estimativa em porcentagem é apresentado na Tabela 07. As menores somas ficaram com os modelos 5, 6 e 11 pela ordem do *ranking*. Os valores destacados em negrito indicam as menores somas.

Mas como a avaliação final foi feita levando-se em consideração não somente as estatísticas I.A. e $S_{yx}\%$ mas também uma análise gráfica de resíduos, pôde-se observar que os modelos com menor pontuação, algumas vezes, apresentavam tendenciosidades ao longo da linha média, indicando que a pontuação através de estatísticas muitas vezes não é um fator decisivo na escolha de um modelo.

À exceção dos modelos 2, 8 e 12 que apresentaram alta tendenciosidade ao longo da linha média, os resíduos para os outros modelos foram bem distribuídos sobre a linha de regressão ou com pouca tendenciosidade. Para cada combinação dos fatores foram efetuadas análises gráficas dos resíduos e, como forma de ilustração destas análises e avaliação do seu comportamento, tem-se como exemplo a Figura 06, onde são mostradas as tendências dos resíduos para os 12 modelos para a parcela permanente com idade de 3,9 anos localizada no sítio I e com densidade inicial sem tratamento, ou seja, testemunha.

Posteriormente, procedeu-se a construção das curvas hipsométricas com o modelo que apareceu em 1º lugar na soma do *ranking* (modelo 5), no entanto, foi verificado uma evolução com tendências anormais nas menores classes de diâmetro para algumas parcelas (Figura 07). O mesmo aconteceu com as curvas traçadas com os modelos 6 e 11 (Figuras 08 e 09). Então decidiu-se testar cada modelo até encontrar aquele que apresentasse curvas sem tendenciosidade pois, para as análises futuras de comparação entre as curvas, este comportamento não é o ideal. Chegou-se, enfim, ao modelo 10 (Curtis), o qual não foi o melhor do *ranking* mas apresentou estimativas razoáveis da altura total e pela análises de resíduos apresentou uma boa distribuição (Figura 10). A seleção de alguns gráficos mostrados nas Figuras 07 a 09, serviu para demonstrar a não adequabilidade dos modelos 5, 6 e 11 para a estimativa da altura total.

TABELA 07 - SOMATÓRIO DA PONTUAÇÃO DAS EQUAÇÕES PARA OS DIFERENTES SÍTIOS, DENSIDADES E IDADES DE MEDIÇÃO PARA AS PARCELAS PERMANENTES, SEGUNDO AS ESTATÍSTICAS ÍNDICE DE AJUSTE DE SCHLAEGEL E ERRO PADRÃO DA ESTIMATIVA EM PORCENTAGEM

Equação	Análise N°																							
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
	Sítio I												Sítio II											
	3,9 anos				4,8 anos				4,1 anos				5,0 anos				6,3 anos				7,5 anos			
	Tratamentos																							
T1	T2	T3	T4	T1	T2	T3	T4	T1	T2	T3	T4	T1	T2	T3	T4	T1	T2	T3	T4	T1	T2	T3	T4	
1	14	16	16	14	11	14	16	15	14	16	12	14	16	12	16	16	16	16	12	16	14	18	12	4
2	22	22	22	22	20	22	22	22	22	22	22	22	22	16	22	22	22	22	22	22	22	2	33	22
3	2	8	10	2	7	12	2	11	12	10	14	12	2	9	12	12	12	4	14	12	12	12	25	12
4	16	10	8	16	22	2	7	2	10	6	10	8	8	6	4	6	4	8	10	8	4	24	4	18
5	4	6	6	4	3	6	11	4	4	7	2	4	10	2	8	2	8	6	4	2	8	10	9	16
6	8	2	2	6	13	8	7	8	2	2	6	2	10	10	2	8	2	12	6	6	6	8	18	10
7	18	18	18	18	8	18	18	18	18	18	18	18	18	19	18	18	18	18	18	18	18	14	18	2
8	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	4	36	24
9	6	12	14	12	4	16	4	15	16	14	16	16	4	16	14	14	14	2	16	14	16	16	29	20
10	10	14	12	8	18	4	14	11	6	12	8	10	8	13	6	10	10	10	2	10	2	20	9	8
11	12	4	4	10	10	10	11	6	8	5	4	6	14	8	10	4	6	14	8	4	10	22	15	14
12	20	20	20	20	16	20	20	20	20	20	20	20	20	21	20	20	20	20	20	20	20	6	26	6

T1 = Testemunha; T2= 2.000 árvores/ha; T3= 4.000 árvores/ha; T4 = 8.000 árvores/ha

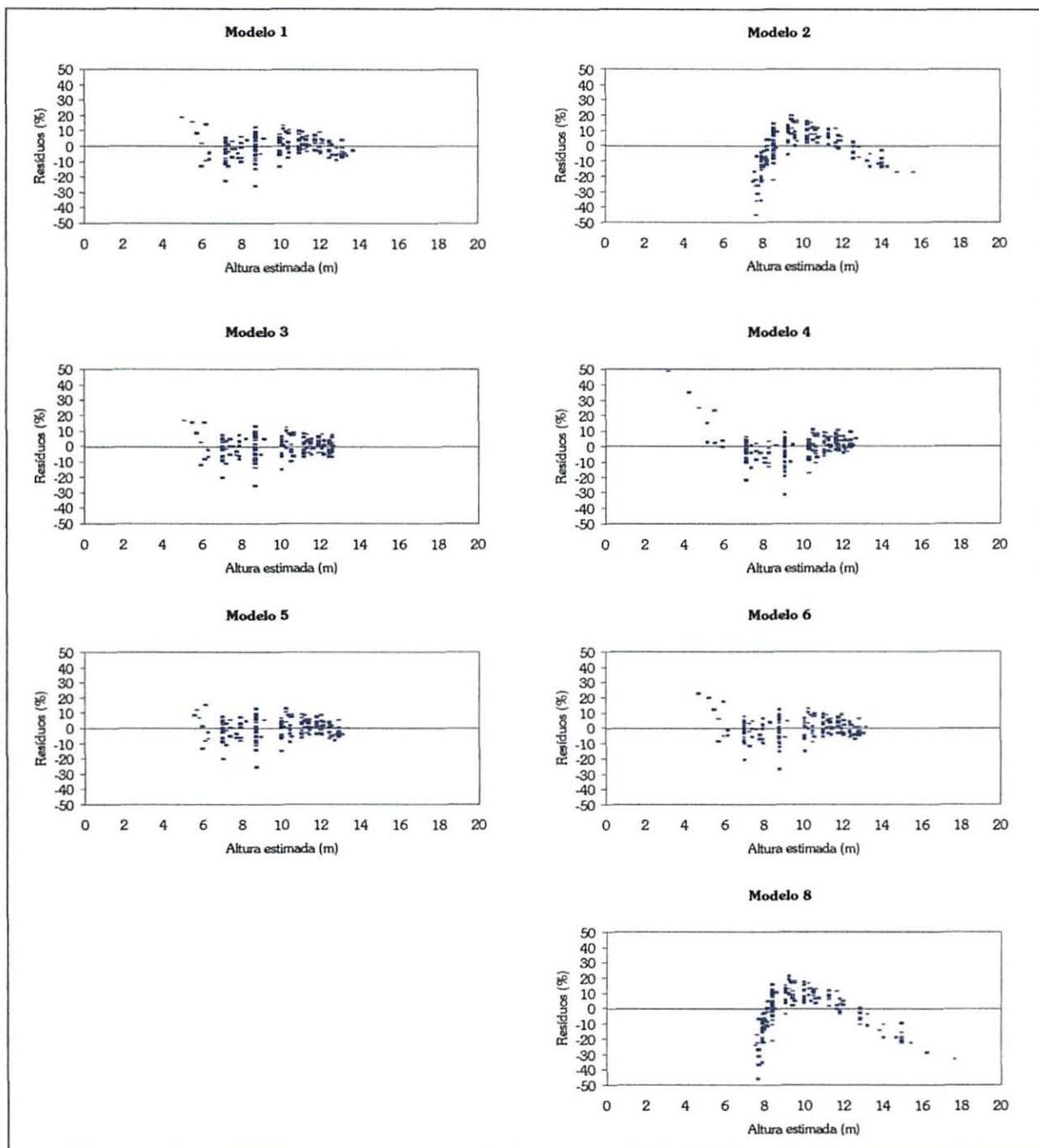
Continua...

TABELA 07 – Continuação

Modelo	Análise N°																Somatório
	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	
	Sitio III																
	4,2 anos				5,4 anos				6,3 anos				7,6 anos				
	Tratamentos																
	T1	T2	T3	T4	T1	T2	T3	T4	T1	T2	T3	T4	T1	T2	T3	T4	
1	8	20	14	10	14	2	16	12	12	12	16	16	14	9	14	16	529
2	22	12	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	5	22	18	810
3	6	16	2	12	12	18	2	14	14	14	10	2	6	13	3	8	382
4	18	24	16	14	10	6	8	10	10	2	4	6	20	24	16	24	425
5	2	8	12	3	4	14	12	6	2	10	8	12	2	19	6	4	264
6	16	2	8	3	2	10	10	4	6	6	2	10	10	10	3	10	274
7	14	18	18	16	18	8	18	18	18	18	18	18	12	7	18	12	634
8	24	14	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	11	24	22	903
9	12	10	4	18	16	20	6	16	16	16	14	8	4	14	12	6	498
10	10	22	6	6	8	4	4	2	8	4	12	4	18	21	8	20	380
11	4	4	10	8	6	12	14	8	4	8	6	14	8	19	10	2	352
12	20	6	20	20	20	16	20	20	20	20	20	20	16	4	20	14	711

T1 = Testemunha; T2= 2.000 árvores/ha ; T3= 4.000 árvores/ha; T4 = 8.000 árvores/ha

FIGURA 06 - DISTRIBUIÇÃO GRÁFICA DE RESÍDUOS EM PORCENTAGEM EM FUNÇÃO DA ALTURA ESTIMADA, PARA OS 12 MODELOS AJUSTADOS PARA A PARCELA PERMANENTE DO SÍTIO 1, IDADE 3,9 ANOS E TRATAMENTO TESTEMUNHA



Continua...

FIGURA 06 - Continuação

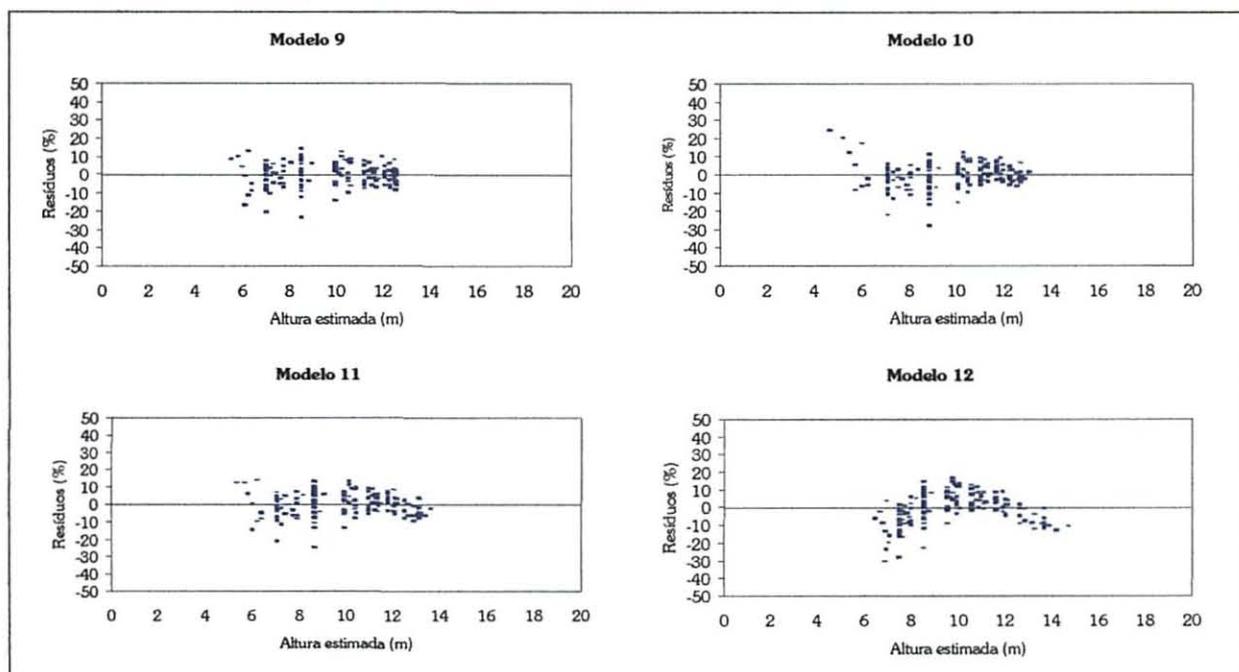


FIGURA 07 - CURVAS DE RELAÇÃO HIPSONÔMETRICA, EM FUNÇÃO DAS DENSIDADES INICIAIS PARA AS IDADES 4,2 E 7,6 ANOS NO SÍTIO III, ESTIMADAS PELO

$$\text{MODELO 6: } \left(\frac{d^2}{h} \right) = b_0 + b_1 \cdot (d) + b_2 \cdot (d^2)$$

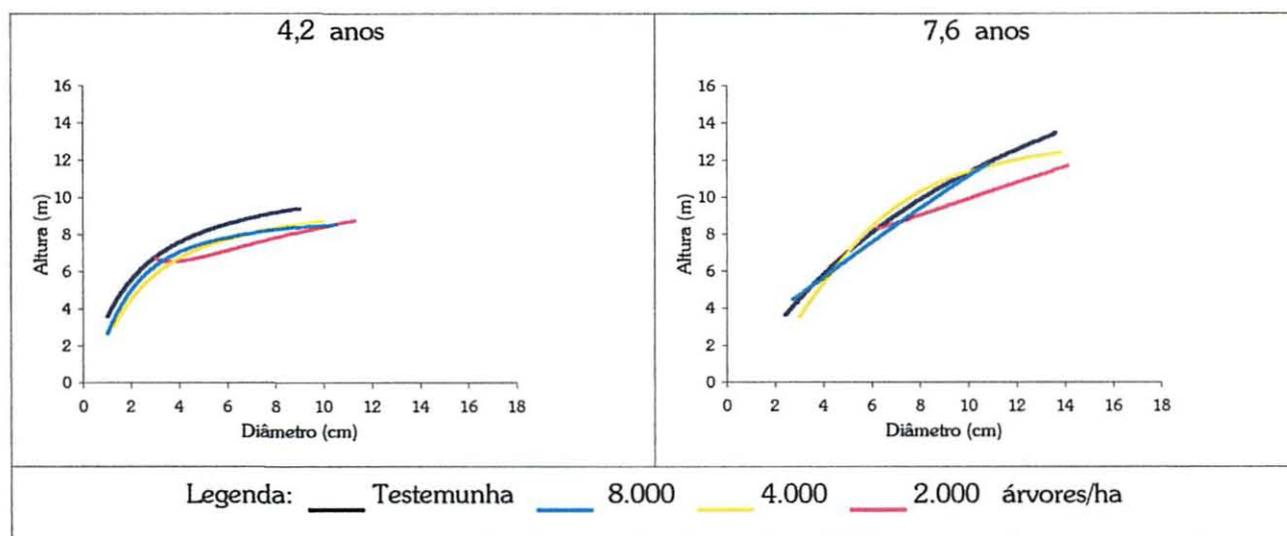


FIGURA 08 - CURVAS DE RELAÇÃO HIPSOMÉTRICA, EM FUNÇÃO DAS DENSIDADES INICIAIS PARA AS IDADES 4,2 E 7,6 ANOS NO SÍTIO III, ESTIMADAS PELO

$$\text{MODELO 5: } h = b_0 + b_1 \left(\frac{1}{d} \right) + b_2 \left(\frac{1}{d^2} \right)$$

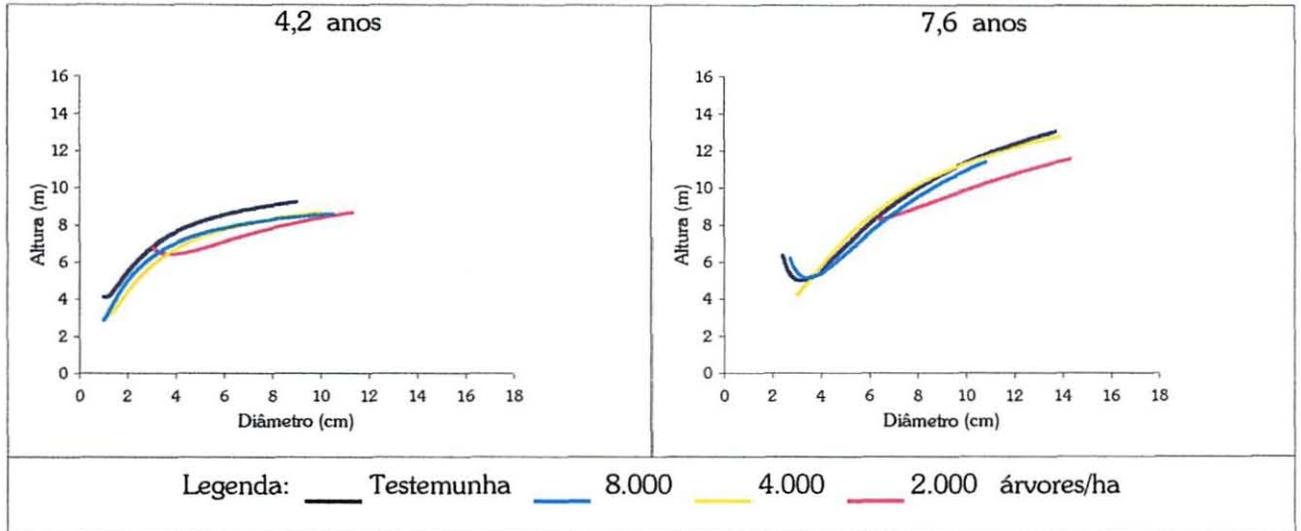


FIGURA 09 - CURVAS DE RELAÇÃO HIPSOMÉTRICA, EM FUNÇÃO DAS DENSIDADES INICIAIS PARA AS IDADES 4,2 E 7,6 ANOS NO SÍTIO III, ESTIMADAS PELO

$$\text{MODELO 11: } \ln h = b_0 + b_1 \left(\frac{1}{d} \right) + b_2 \left(\frac{1}{d^2} \right)$$

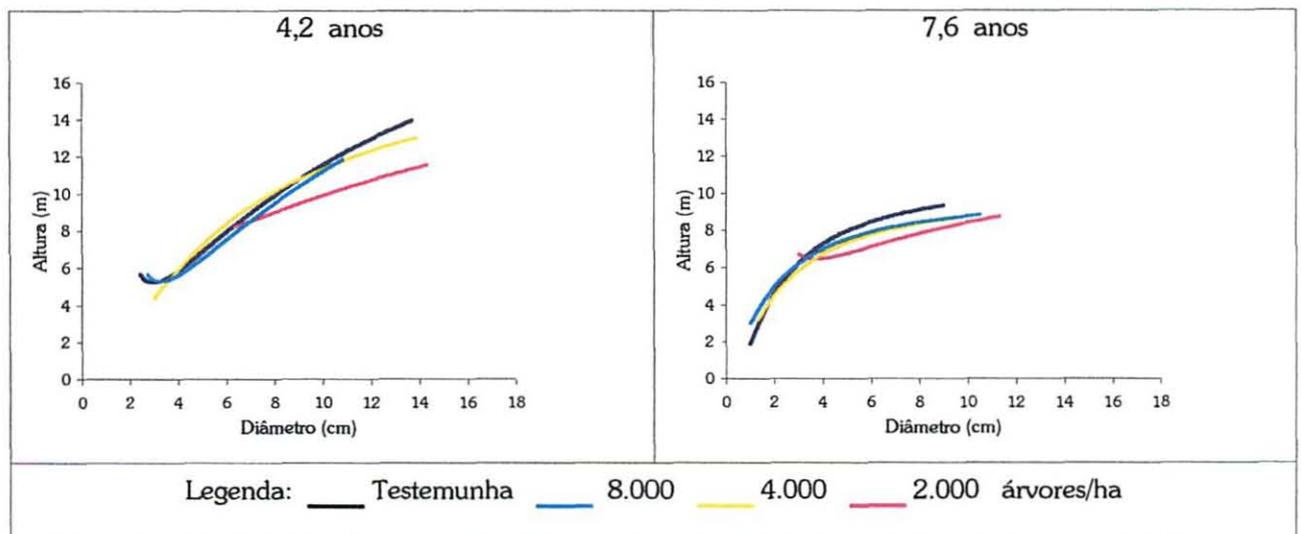
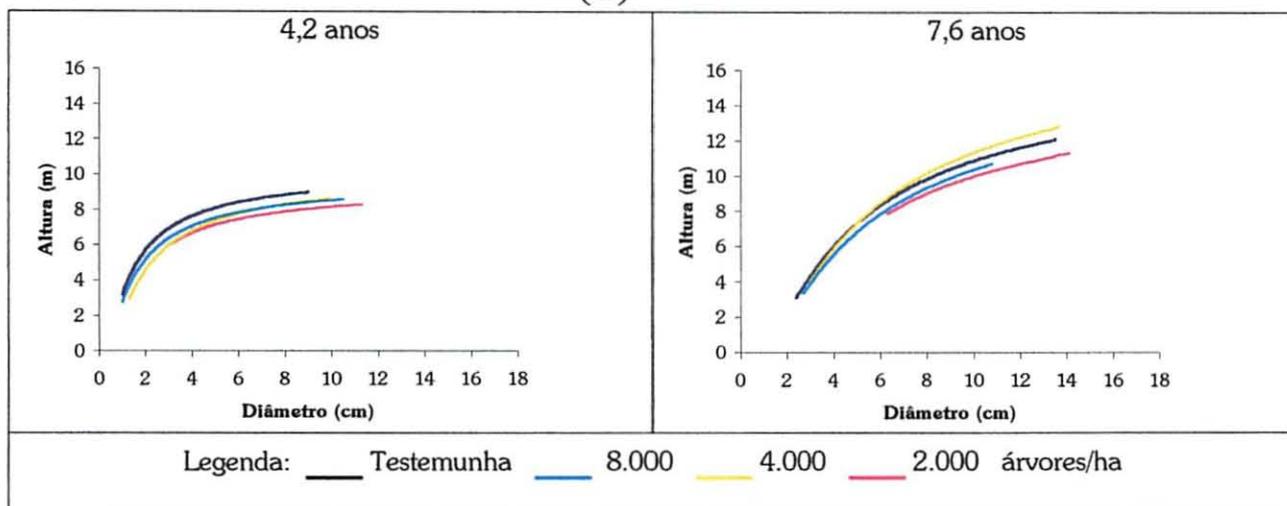


FIGURA 10 - CURVAS DE RELAÇÃO HIPSOMÉTRICA, EM FUNÇÃO DAS DENSIDADES INICIAIS PARA AS IDADES 4,2 E 7,6 ANOS NO SÍTIO III, ESTIMADAS PELO

$$\text{MODELO 10: } \ln h = b_0 + b_1 \left(\frac{1}{d} \right)$$



4.2 PARCELAS TEMPORÁRIAS

As estatísticas descritivas para os dados utilizados das parcelas temporárias foram obtidos para o total dos dados e para os dados estratificados para os três sítios e nove idades, provenientes de povoamentos manejados sob o sistema tradicional, ou seja, sem desbaste, para a variável diâmetro à altura do peito (d) e para a altura total (h) (Anexo 01, Tabela 21).

Para o total dos dados (4.949 árvores) foi encontrada uma amplitude diamétrica de 3,4 a 33,6 cm, uma média diamétrica de 9,1 cm e um desvio padrão de 2,6 cm. Com relação variável altura encontrou-se uma amplitude de 0,9 a 23 m, uma média de 11,5 m e um desvio padrão de 3,4 m.

As parcelas temporárias, também, foram utilizadas no ajuste dos modelos 1 a 12 citados anteriormente, na combinação das 124 parcelas, classificadas em três classes de sítios (índices de sítio: 16,8; 13,5 e 10,2 m) e idades 4, 5, 6, 9, 10, 11 anos no sítio I; 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 11, 12 e 18 anos no sítio II; 4, 5, 6, 7, 9, 10 e 12 anos no sítio III, resultando em 264 análises de regressão. As análises realizadas para o ajuste dos modelos forneceram resultados do índice de Schlaegel (I.A.) de 0,061 a 0,805 apresentando um valor médio de 0,407 e erro padrão da estimativa ($S_{yx}\%$) de 5,429 a

18,392 com um valor médio de 11,306.

O mesmo procedimento de pontuação dos modelos, através da classificação (*ranking*) das estatísticas Índice de Schlaegel e erro padrão da estimativa em porcentagem, foram efetuadas para estas parcelas e o resultado encontrado foi similar ao das parcelas permanentes, ou seja, a escolha pelo modelo 10, como o mais adequado e os piores ajustes com os modelos 2 e 8. Logo, serviu para confirmar o uso do modelo 10 para a estimativa de alturas e análises estatísticas posteriores (Anexo 03, Tabelas 30 a 32).

4.2.1 Modelos Genéricos

Com o objetivo de se obter um modelo genérico para as parcelas permanentes e temporárias foram testados modelos com variáveis independentes que englobam a idade do povoamento, a densidade, a altura dominante e o diâmetro médio quadrático.

Estas parcelas foram agrupadas de forma que abrangessem todos os sítios, idades e densidades. Os modelos 13 a 19, que incluem estas variáveis, foram ajustados, numa primeira etapa, para todas as parcelas temporárias conjuntamente e, numa segunda etapa, para a combinação das testemunhas das parcelas permanentes com as parcelas temporárias, de forma que se pudesse fazer um confronto entre as permanentes e as temporárias e descobrir se haveria um modelo que pudesse ser comum às mesmas. Na Tabela 08 são apresentadas as estatísticas descritivas para os dados utilizados no ajuste dos modelos de relação hipsométrica testadas para os três sítios, quatro densidades e as idades 3 a 7, 10, 11, 12 e 18 anos envolvendo as parcelas permanentes e temporárias.

TABELA 08 - ESTATÍSTICAS DESCRITIVAS PARA AS TESTEMUNHAS DAS PARCELAS PERMANENTES EM CONJUNTO COM AS PARCELAS TEMPORÁRIAS

	Nº árvores	Média	Mínimo	Máximo	Variância	Desvio padrão
<i>d</i> (cm)	7571	7,82	1	33,6	12,52	3,54
<i>h</i> (m)	7571	10,58	0,9	23	7,22	2,69

4.2.1.1 Correlação linear simples

Um estudo de correlação linear simples foi efetuado com a finalidade de observar a tendência de associação entre as variáveis dependentes e independentes, as quais serviram para compor um modelo de regressão pelo processo *Stepwise* que, segundo DRAPER & SMITH (1966), visa encontrar um modelo mais adequado, através de inclusões sucessivas de variáveis, que aqueles pré-selecionados da literatura.

Na Tabela 09 pode-se observar a correlação linear simples entre as variáveis dependentes altura total (h) e todas as variáveis independentes envolvidas na pesquisa. As variáveis mais fortemente correlacionadas foram o diâmetro à altura do peito (d) e a altura dominante (h_{dom}), nas suas formas simples, logaritmizadas e combinadas. O produto do diâmetro pela altura dominante ($h_{dom} \cdot d$) apareceu em primeiro lugar, seguido da altura dominante (h_{dom}) e o logaritmo da altura dominante ($Ln(h_{dom})$). As variáveis mais fortemente correlacionadas estão destacadas em negrito nesta mesma tabela.

TABELA 09 - CORRELAÇÃO SIMPLES ENTRE AS VARIÁVEIS DEPENDENTES E INDEPENDENTES PARA O TOTAL DOS DADOS DAS PARCELAS TEMPORÁRIAS E DA COMBINAÇÃO DAS PARCELAS TEMPORÁRIAS COM AS TESTEMUNHAS DAS PARCELAS PERMANENTES

Variáveis	Temporárias		Temporárias + Permanentes	
	h	$Ln h$	h	$Ln h$
d	0,78	0,75	0,69	0,65
$1/Idade$	-0,58	-0,56	-0,53	-0,51
$Ln(h_{dom})$	0,80	0,77	0,77	0,76
$Ln(N \cdot d)$	-0,17	-0,14	-0,02	0,00
$Ln(d)$	-0,67	-0,66	-0,55	-0,51
$Ln(N/d)$	-0,79	-0,79	-0,72	-0,68
$Ln(Idade)$	0,61	0,57	0,57	0,53
$Ln(h_{dom}/Idade)$	-0,14	-0,12	-0,13	-0,10
$Ln(dg/d)$	-0,42	-0,46	-0,35	-0,35
$1/(d \cdot Idade)$	-0,69	-0,75	-0,70	-0,70
dg	0,72	0,67	0,63	0,57

Continua...

TABELA 09 - Continuação

Variáveis	Temporárias		Temporárias + Permanentes	
	<i>h</i>	<i>Ln h</i>	<i>h</i>	<i>Ln h</i>
h_{dom}	0,81	0,76	0,79	0,76
$h_{dom} \cdot d$	0,85	0,79	0,81	0,75
$Ln(d)$	0,79	0,81	0,71	0,68
$(d)^2$	0,69	0,63	0,63	0,58
$1/d$	-0,69	-0,76	-0,69	-0,67
$1/(d)^2$	-0,51	-0,60	-0,65	-0,64
(<i>d</i> . Idade)	0,72	0,65	0,68	0,62
<i>I</i>	0,61	0,55	0,57	0,52
<i>S</i>	0,45	0,44	0,36	0,36
<i>N</i>	-0,59	-0,62	-0,51	-0,50

Legenda: *d*- diâmetro à altura do peito, *h* – altura total, h_{dom} – altura dominante, *ln* – logaritmo natural, *N*- densidade, *S*- sítio, *I* - idade, d_g – diâmetro da área transversal média.

4.2.1.2 Método *Stepwise*

Todas as variáveis relacionadas na Tabela 09 foram inseridas no programa estatístico e através do método *Stepwise* foram incluídas como variáveis independentes visando compor um modelo de melhor ajuste. Como esperado, quanto mais variáveis fossem incluídas melhor se tornava o ajuste, mas a partir da 4ª e 5ª variáveis adicionadas ao modelo resultava em ganhos não tão significativos de precisão. Logo, como os modelos pré-selecionados na literatura apresentavam somente no máximo cinco parâmetros, decidiu-se pela escolha de um modelo com cinco parâmetros (Tabela 10). Portanto, as variáveis que fizeram parte do modelo corresponderam dentre as mais fortemente correlacionadas, como a altura dominante, tanto na sua forma aritmética como logaritmizada.

Além da altura dominante em sua forma aritmética e logarítmica, o método *stepwise* selecionou o diâmetro médio quadrático (d_g) associado ao diâmetro (*d*). Isoladamente a variável d_g tem forte correlação com a altura total, mas a combinação com o diâmetro apresentou correlação baixa. No entanto, dentro do modelo de

regressão, serviu para contribuir para um melhor ajuste, devido às interações que a análise de regressão faz para obter a melhor composição de variáveis.

TABELA 10 - MODELOS GENÉRICOS UTILIZADOS PARA A ESTIMATIVA DA ALTURA TOTAL OBTIDOS PELO PROCESSO *STEPWISE*

Parcelas temporárias	
20	$\ln h = b_0 + b_1 \cdot (h_{dom}) + b_2 \cdot \ln\left(\frac{d_g}{d}\right) + b_3 \cdot \ln\left(\frac{1}{d.I}\right) + b_4 \cdot N$
21	$h = b_0 + b_1 \cdot (h_{dom} \cdot d) + b_2 \cdot (d^2) + b_3 \cdot \ln\left(\frac{d_g}{d}\right) + b_4 \cdot \ln h_{dom}$
Parcelas temporárias + testemunhas das permanentes	
22	$\ln h = b_0 + b_1 \cdot \ln(d) + b_2 \cdot \ln(h_{dom}) + b_3 \cdot \ln\left(\frac{d_g}{d}\right) + b_4 \cdot \left(\frac{1}{d.I}\right)$
23	$h = b_0 + b_1 \cdot (h_{dom} \cdot d) + b_2 \cdot (d^2) + b_3 \cdot \left(\frac{1}{d}\right) + b_4 \cdot d_g$

Os níveis de precisão, tanto para as parcelas temporárias, como a combinação das temporárias com as testemunhas das permanentes, apresentaram bons resultados (Tabela 11), com erro padrão da estimativa que variaram de 10,57% a 14,81% e I.A. de 0,558 a 0,828. Os piores ajustes foram obtidos com os modelos 13 (Curtis) e 14 (Blanco-Jorge) e o melhor, escolhido na literatura, foi o modelo 15 (Scolforo) que envolve além do diâmetro (d), a idade, a altura dominante (h_{dom}) e o diâmetro da área transversal média (d_g). No entanto, os modelos obtidos por *Stepwise* apresentaram ajustes ligeiramente superiores ao 15. O modelo que se destacou em relação ao de melhor ajuste pré-selecionado, apresentando estimativas de ajuste muito próximas, foi o modelo 21 para as temporárias e o 22 para a combinação das temporárias com as testemunhas. A análise gráfica comprova estas estatísticas apontando tendências para os outros modelos, conforme pode ser observado através da distribuição gráfica dos resíduos nas Figuras 11 e 12.

Evidentemente, quanto maior o número de observações maior a qualidade do ajuste. Isto foi constatado quando se agregou dados unindo as testemunhas das parcelas

permanentes às parcelas temporárias. O resultado final demonstrou que o modelo 15 se destacou em ambos os casos. No entanto, quando se lança mão do uso de regressão passo a passo (*stepwise*), que permite avaliar a contribuição de cada variável quando incorporado ao modelo em desenvolvimento, pode-se construir um modelo matemático descritivo adequado aos propósitos de uma investigação científica, ou seja, o uso de modelos elaborados especificamente para a pesquisa que se está trabalhando sendo muito favorável quando se quer um modelo mais adequado possível para a espécie e povoamento com que está se trabalhando. Portanto, se destacaram os modelos 22 e 23 obtidos pelo processo *Stepwise*.

TABELA 11 - ESTATÍSTICAS CORRESPONDENTES AOS MODELOS GENÉRICOS AJUSTADOS PARA AS PARCELAS TEMPORÁRIAS E PARA AS PARCELAS TEMPORÁRIAS EM CONJUNTO COM AS TESTEMUNHAS DAS PERMANENTES

	Parcelas temporárias		Parcelas temporárias+ testemunhas das permanentes	
	I.A.	S _{yx} %	I.A.	S _{yx} %
Modelos Genéricos				
13	0,580	14,444	0,680	14,378
14	0,558	14,817	0,674	14,511
15	0,777	10,532	0,827	10,573
16	0,764	10,823	0,806	11,202
17	0,736	11,468	0,754	12,609
18	0,748	11,191	0,784	11,800
19	0,762	10,879	0,814	10,960
Modelos por <i>Stepwise</i>				
20	0,777	10,536	-	-
21	0,781	10,430	-	-
22	-	-	0,828	10,542
23	-	-	0,825	10,616

Legenda: I.A. – índice de Ajuste de Schlaegel, S_{yx} % - erro padrão da estimativa em percentual.

O uso de modelos genéricos, quando se quer melhorar os parâmetros de precisão, é muito útil, porque se trabalha com variáveis independentes que especificam as características do povoamento, tais como idade, sítio e densidade. No entanto,

quando não se tem disponível dados como estes, é conveniente estratificar os dados, ajustando equações hipsométricas ao nível de unidade amostral em inventários florestais ou, como no caso das parcelas permanentes, por idade dentro de cada sítio e densidade inicial. Portanto, quando se dispõe de muitos dados e muitas variáveis do povoamento, a solução é o uso de equações genéricas.

Com base nos dados empregados nesta pesquisa, recomenda-se, para a bracatinga, o uso dos seguintes modelos genéricos:

$$\ln h = b_0 + b_1 h_{dom} + b_2 \ln \left(\frac{d_g}{d} \right) + b_3 \left(\frac{1}{d.I} \right) + b_4 \left(\frac{1}{d} \right) \quad (15, \text{Scolforo})$$

$$\ln h = b_0 + b_1 \ln(d) + b_2 \ln(h_{dom}) + b_3 \ln \left(\frac{d_g}{d} \right) + b_4 \left(\frac{1}{d.I} \right) \quad (22, \text{obtido por } \textit{stepwise})$$

$$h = b_0 + b_1 (h_{dom} d) + b_2 (d^2) + b_3 \left(\frac{1}{d} \right) + b_4 d_g \quad (23, \text{obtido por } \textit{stepwise})$$

Todos estes modelos englobam as variáveis diâmetro e altura dominante que absorvem as variações de idade e sítio.

FIGURA 11 - DISTRIBUIÇÃO GRÁFICA DOS RESÍDUOS EM PORCENTAGEM EM FUNÇÃO DA ALTURA ESTIMADA PARA AS PARCELAS TEMPORÁRIAS

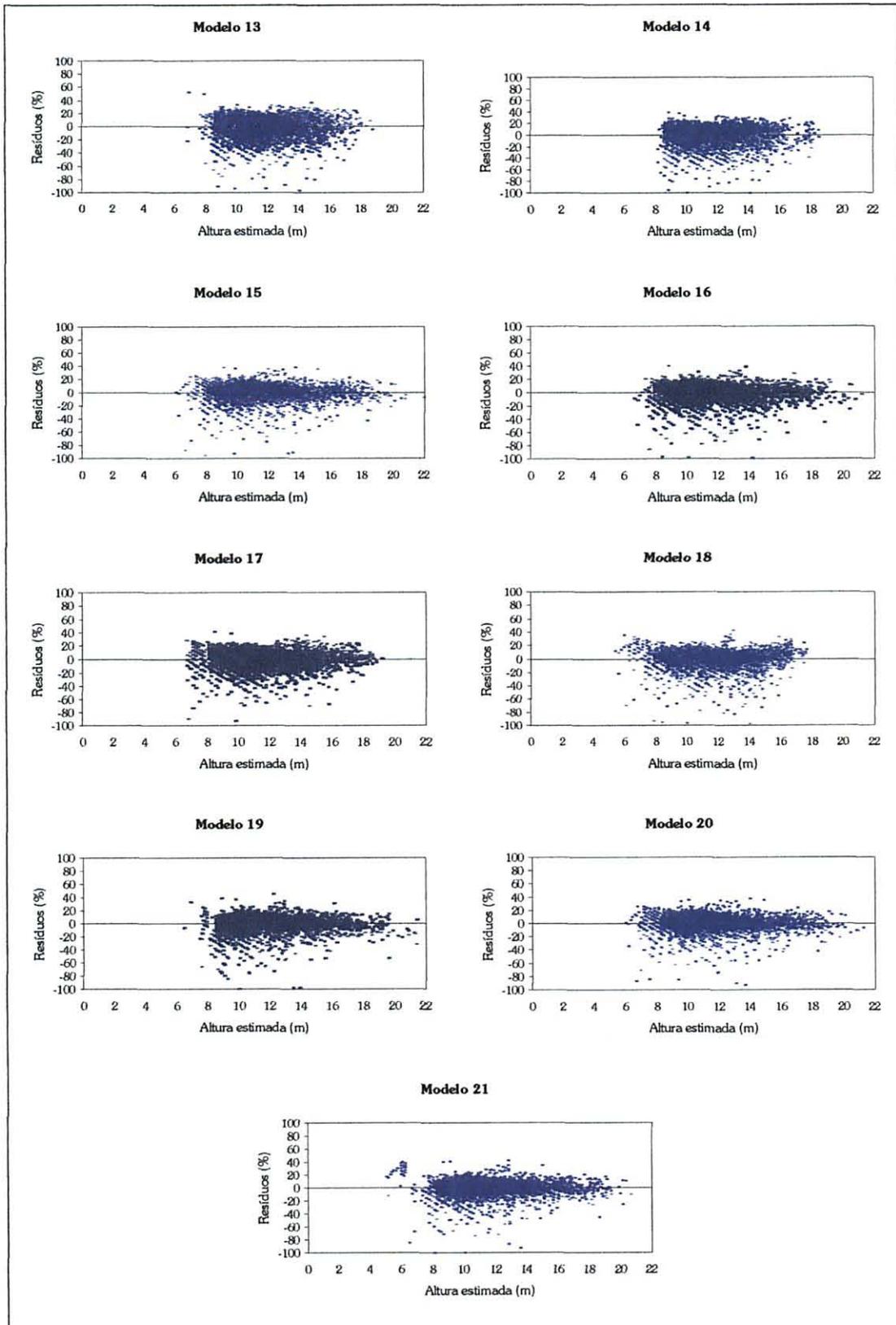
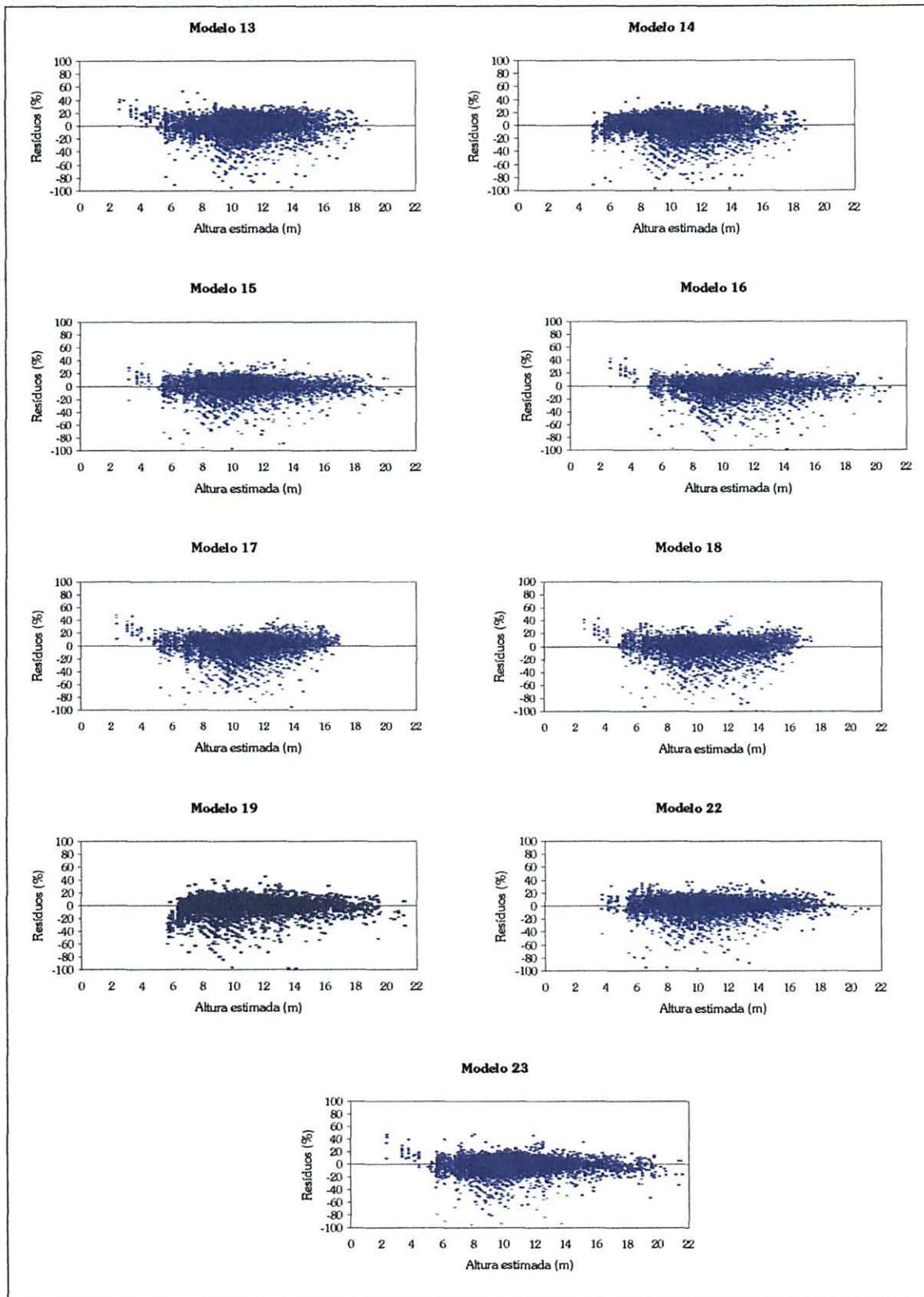


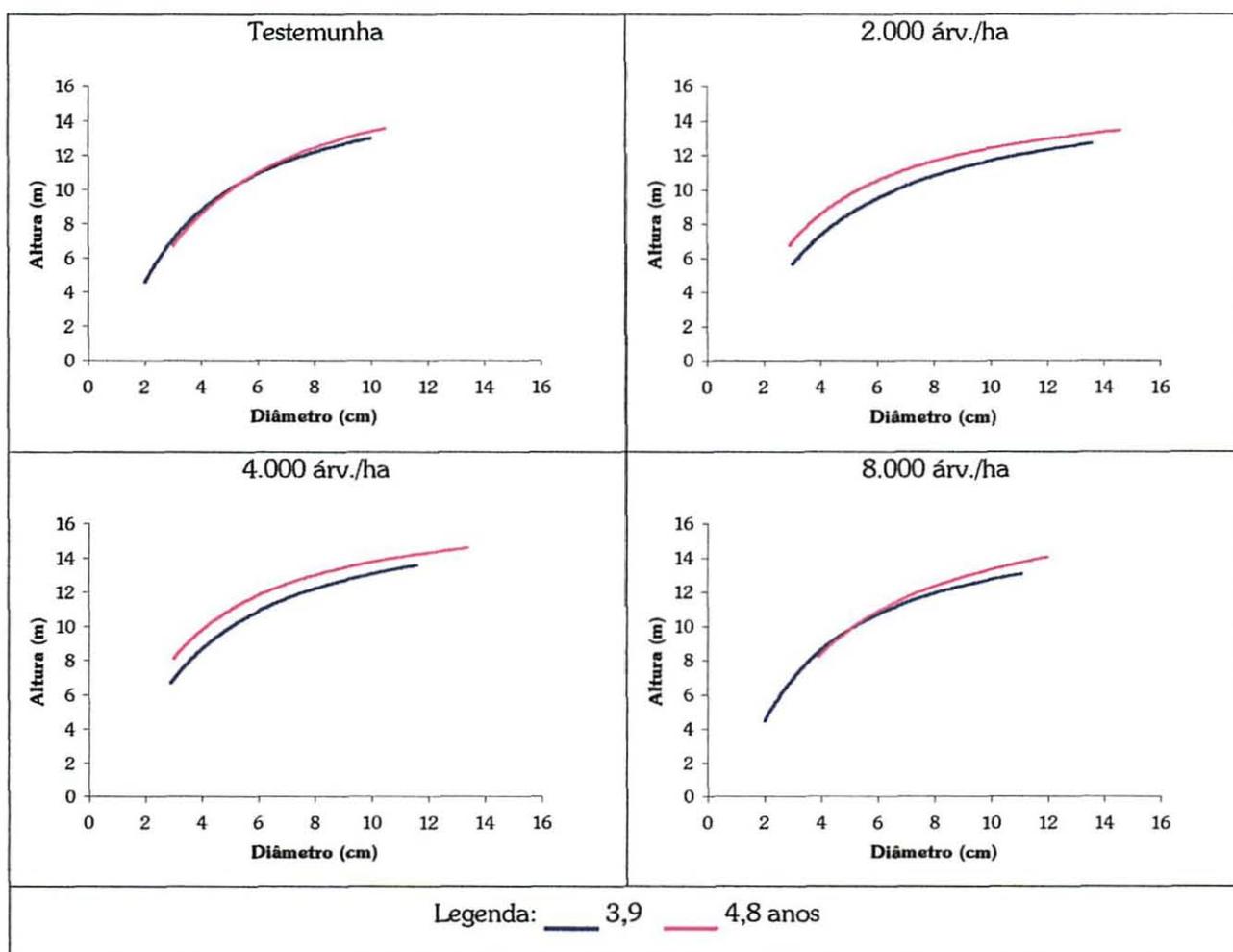
FIGURA 12 - DISTRIBUIÇÃO GRÁFICA DOS RESÍDUOS EM PORCENTAGEM EM FUNÇÃO DA ALTURA ESTIMADA PARA AS PARCELAS TEMPORÁRIAS EM CONJUNTO COM AS TESTEMUNHAS DAS PERMANENTES



4.5 ANÁLISE DO FATOR IDADE NA RELAÇÃO HIPSOMÉTRICA

Após a escolha do modelo 10 (Curtis): $ln h = b_0 + b_1 \cdot \left(\frac{1}{d}\right)$, foram traçadas graficamente as linhas de regressão para as idades 3,9 e 4,8 anos para a classe de sítio I; idades 4,1; 5,0; 6,3 e 7,5 anos para a classe de sítio II e idades 4,2; 5,4; 6,3 e 7,6 anos para a classe de sítio III, todas pertencentes às parcelas permanentes. A evolução das curvas de relação hipsométrica (h/d) foram mais íngremes nas idades iniciais, suavizando e deslocando-se para cima e para direita ao longo do tempo, como pode-se observar na Figura 13.

FIGURA 13 - CURVAS DE RELAÇÃO HIPSOMÉTRICA PARA AS IDADES 3,9 E 4,8 ANOS NO SÍTIO I, PARA OS 4 TRATAMENTOS DE DENSIDADE INICIAL



Resultados similares foram encontrados por CRECHI (1996), para *Araucaria angustifolia*, onde, à medida que aumenta a idade, as curvas que descrevem a relação altura-diâmetro, deslocam-se para cima e para a direita, acompanhando o crescimento em diâmetro e altura, sendo as curvas nas idades jovens mais íngremes em relação às curvas nas idades mais velhas.

O modelo 10 é comumente usado em relações hipsométricas (CURTIS, 1967) e considerado apropriado para *Pinus taeda* (BURK & BURKHART, 1984). O parâmetro inclinação (b_1) no modelo 10, é o parâmetro forma da relação ajustada quando transformado para a escala altura-diâmetro. O parâmetro intercepto (b_0) está relacionado à máxima altura, ou seja, é o logaritmo da altura assintótica na relação hipsométrica e rege o nível da curva ajustada. Há uma forte relação entre o parâmetro intercepto e altura dominante, logo, quanto maior a altura dominante, maior será o valor do parâmetro intercepto.

Pode-se visualizar na Figura 14 uma certa distância entre as curvas da relação altura-diâmetro com o efeito da idade para os tratamentos de densidade inicial de 2.000 e 4.000 árvores/ha. Já para as densidades testemunha e 8.000 árvores/ha, as curvas estão muito próximas, indicando não haver diferença significativa, visto que o intervalo entre as medições foi de apenas 1 ano. Mas para comprovar isto, matematicamente, recorreu-se a uma análise estatística de comparação de linhas de regressão, que é a análise de covariância.

Na Tabela 12, pode-se visualizar o procedimento de como é obtido o valor do teste F para inclinação e intercepto que foi o teste comparador da análise. Já na Tabela 13 e nas subseqüentes constam apenas os valores do teste F . Para avaliar a significância do valor do teste F , o mesmo foi comparado a valores tabulados aos níveis de significância 1 e 5 %.

Um resultado significativo de F , testando a inclinação, conclui-se que as linhas de regressão não são paralelas. Se as inclinações não são significativamente diferentes, testa-se a diferença em posição, ou seja, dos interceptos. Se os interceptos são diferentes, as regressões são diferentes, caso contrário, as regressões são iguais e podem ser agrupadas (FREESE, 1970).

TABELA 12 - RESULTADOS DA ANÁLISE DE COVARIÂNCIA PARA TESTAR O EFEITO DA IDADE APLICANDO O MODELO 10 PARA OS DADOS DO SÍTIO I, TESTEMUNHA E A COMBINAÇÃO DAS IDADES 3,9 E 4,8 ANOS

	Soma de quadrados e produtos corrigidos				Resíduos		Teste F	
	GL	$\sum y^2$	$\sum xy$	$\sum x^2$	GL	SQ _{res}		QM
3,9	164	9,2384	-3,2311	1,2313	163	0,7594	0,0047	-
4,8	76	2,4993	-0,4351	0,1459	75	1,2019	0,0160	-
		resíduos agrupados			238	1,9613	0,0082	-
		diferença para testar inclinação			1	0,0167	0,0167	2,0291
Total	240	11,7377	-3,6662	1,3772	239	1,9780	0,0083	-
		diferença para testar intersecção			1	0,0002	0,0002	0,0285
Total	241	13,4622	-4,3058	1,6144	240	1,9782	0,0082	-

Legenda: GL – graus de liberdade, x – variável l/d , y – variável altura total, SQ_{res} – soma dos quadrados dos resíduos, QM – quadrado médio.

Analisando-se a Tabela 13, pode-se comprovar que as diferenças entre as idades são significativas à 5% nos tratamentos de densidade inicial testemunha e 8.000 árvores/ha quando se avaliou a inclinação e significativas à 1% nos tratamentos de densidade 2.000 árvores/ha e 4.000 árvores/ha quando se avaliou a intersecção.

Portanto, o efeito idade não afetou a forma da relação altura-diâmetro nos tratamentos de densidade 2.000 e 4.000 árvores/ha, evidenciando uma forma igual das curvas para as idades 3,9 e 4,8 anos nestes tratamentos. Para os outros tratamentos houve diferença significativa na inclinação. Portanto, uma mesma forma desta relação não pode ser assumida ao longo do tempo nestas idades, comprovando a necessidade de ajustar o modelo matemático periodicamente.

TABELA 13 - VALORES DO TESTE F ENCONTRADOS PARA A ANÁLISE DE COVARIÂNCIA ENVOLVENDO A COMBINAÇÃO DAS IDADES 3,9 E 4,8 ANOS, PARA O SÍTIO I E OS 4 TRATAMENTOS DE DENSIDADE INICIAL, PARA AVALIAÇÃO DO FATOR IDADE

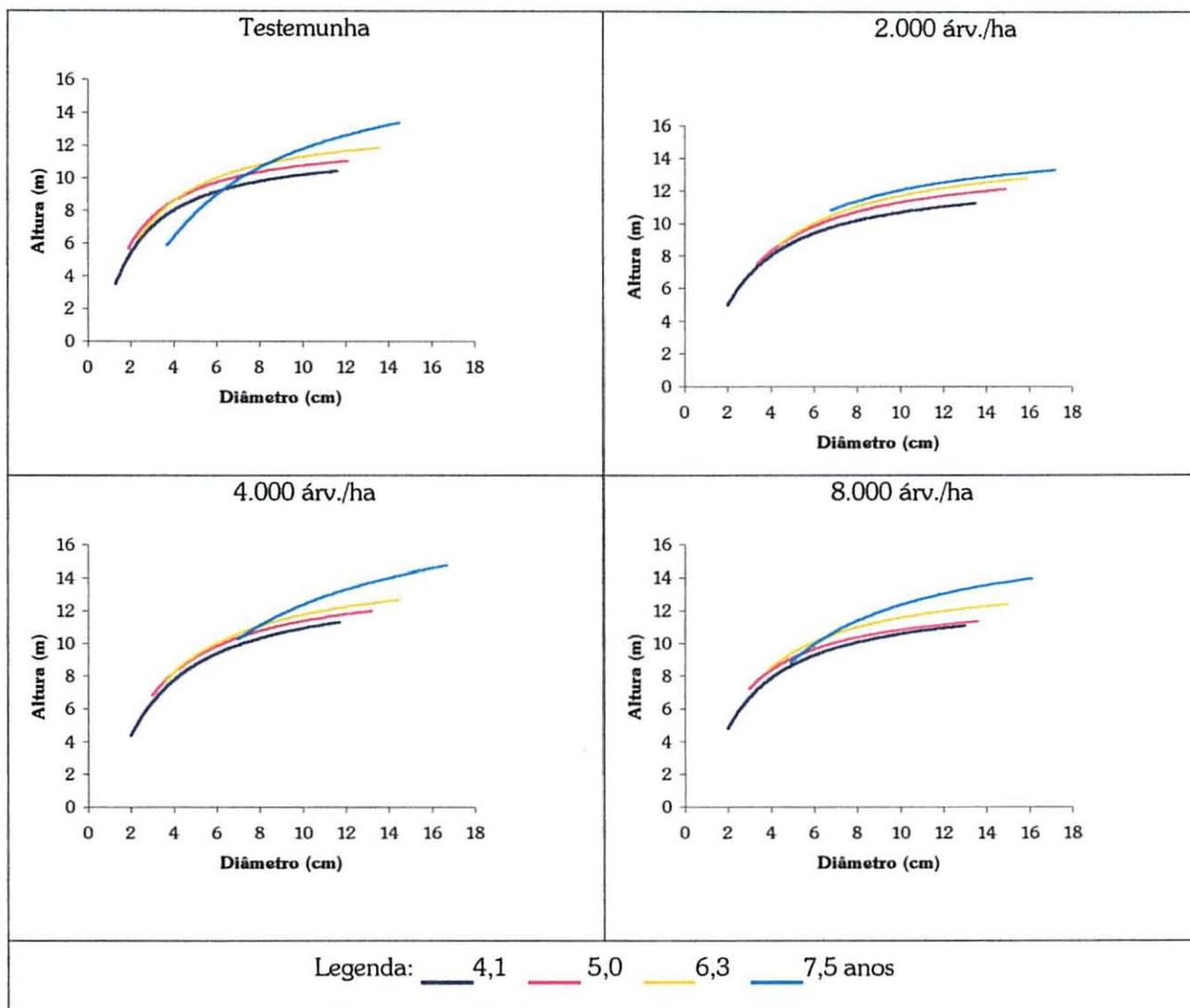
	Tratamentos			
	Testemunha	2.000	4.000	8.000
Inclinação	2,0291*	2,6960 ^{ns}	2,5378 ^{ns}	4,1410*
Intersecção	0,0285 ^{ns}	12,4593**	19,9248**	4,2058*

Legenda: ns - não significativo; * - significativo ao nível de 5%; ** - significativo ao nível de 1%.

Analisando a Figura 14 observa-se que as curvas apresentaram deslocamentos para direita e para cima com o avanço da idade, ao mesmo tempo foram mais íngremes

nas idades iniciais. Ainda ocorreu um cruzamento da curva na idade 7,5 anos, para o tratamento de densidade inicial testemunha.

FIGURA 14 - CURVAS DE RELAÇÃO HIPSONÉTICA PARA AS IDADES 4,1; 5,0; 6,3 E 7,5 ANOS NO SÍTIO II, PARA OS 4 TRATAMENTOS DE DENSIDADE INICIAL



À exceção das parcelas com Sítio II e densidade 2.000 árvores/ha, que apresentaram ausência de diferença entre idades 6,3 e 7,5 anos, as outras apresentaram diferenças significativas para a intersecção (Tabela 14).

Observou-se em vários casos que as curvas de altura sobre diâmetro para idades 7,5 e 7,6 anos nas parcelas permanentes e 10, 12 e 18 anos nas parcelas temporárias se cruzaram dentro dos limites da amplitude dos dados observados. CURTIS (1967) e OMULE & MACDONALD (1991) citaram em seus trabalhos a frequência do cruzamento das linhas de regressão à diferentes idades, mesmo quando provenientes de remedições

de parcelas permanentes. Por isso, para evitar estes cruzamentos, CURTIS (1967) propôs a inclusão da idade como variável independente no modelo de regressão.

TABELA 14 - VALORES DO TESTE F ENCONTRADOS PARA A ANÁLISE DE COVARIÂNCIA ENVOLVENDO A COMBINAÇÃO DAS 4 IDADES DE MEDIÇÃO PARA O SÍTIO II E OS 4 TRATAMENTOS DE DENSIDADE INICIAL, PARA AVALIAÇÃO DO FATOR IDADE

	Idades (anos)					
	4,1-5,0	4,1-6,3	4,1-7,5	5,0-6,3	5,0-7,5	6,3-7,5
Densidade Testemunha						
Inclinação	1,0695 ^{ns}	4,7206*	76,7974**	5,6471*	58,1943**	52,5994**
Intersecção	56,2415**	113,6493**	14,1074**	9,5926**	0,0456 ^{ns}	6,1694*
Densidade 2.000 árv./ha						
Inclinação	0,4734 ^{ns}	2,0083 ^{ns}	0,2799 ^{ns}	0,6426 ^{ns}	0,0862 ^{ns}	0,0053 ^{ns}
Intersecção	34,0630**	74,4599**	48,9019**	9,9506**	13,2701**	2,2755 ^{ns}
Densidade 4.000 árv./ha						
Inclinação	0,5162 ^{ns}	0,2682 ^{ns}	10,5121**	1,3268 ^{ns}	16,1299**	10,0754**
Intersecção	29,9486**	51,3141**	64,3433**	10,3622**	35,3933**	11,7225**
Densidade 8.000 árv./ha						
Inclinação	2,2903 ^{ns}	0,1453 ^{ns}	8,1573**	2,5095 ^{ns}	14,3582**	8,4710**
Intersecção	17,1879**	80,1995**	91,0865**	42,9121**	71,2847**	14,7923**

Legenda: ns - não significativo; * - significativo ao nível de 5%; ** - significativo ao nível de 1%.

Na Figura 15 observam-se estes cruzamentos em todos os tratamentos para a idade 7,6 anos e também os deslocamentos das curvas para cima e para a direita.

Para o tratamento 2.000 árvores/ha do sítio III foi verificado ausência de diferença entre as idades 5,4 com 6,3 anos e 6,3 com 7,6 anos e, para o tratamento 8.000 árvores/ha não diferiram as idades 5,4 com 6,3 anos. Esta ausência de diferença, que também havia sido verificado para o sítio II, provavelmente, ocorreu por interferência do fator tratamento. Para os tratamentos testemunha e 4.000 árvores/ha foram verificadas diferenças significativas, comprovando que há influência da idade na relação hipsométrica. Por isso deve-se refazer, anualmente, as curvas hipsométricas, principalmente na fase jovem do povoamento, onde ocorre o maior incremento em altura (Tabela 15).

FIGURA 15 - CURVAS DE RELAÇÃO HIPSONOMÉTRICA, SÍTIO III, IDADES 4,2; 5,4; 6,3 E 7,6 ANOS PARA OS 4 TRATAMENTOS DE DENSIDADE INICIAL

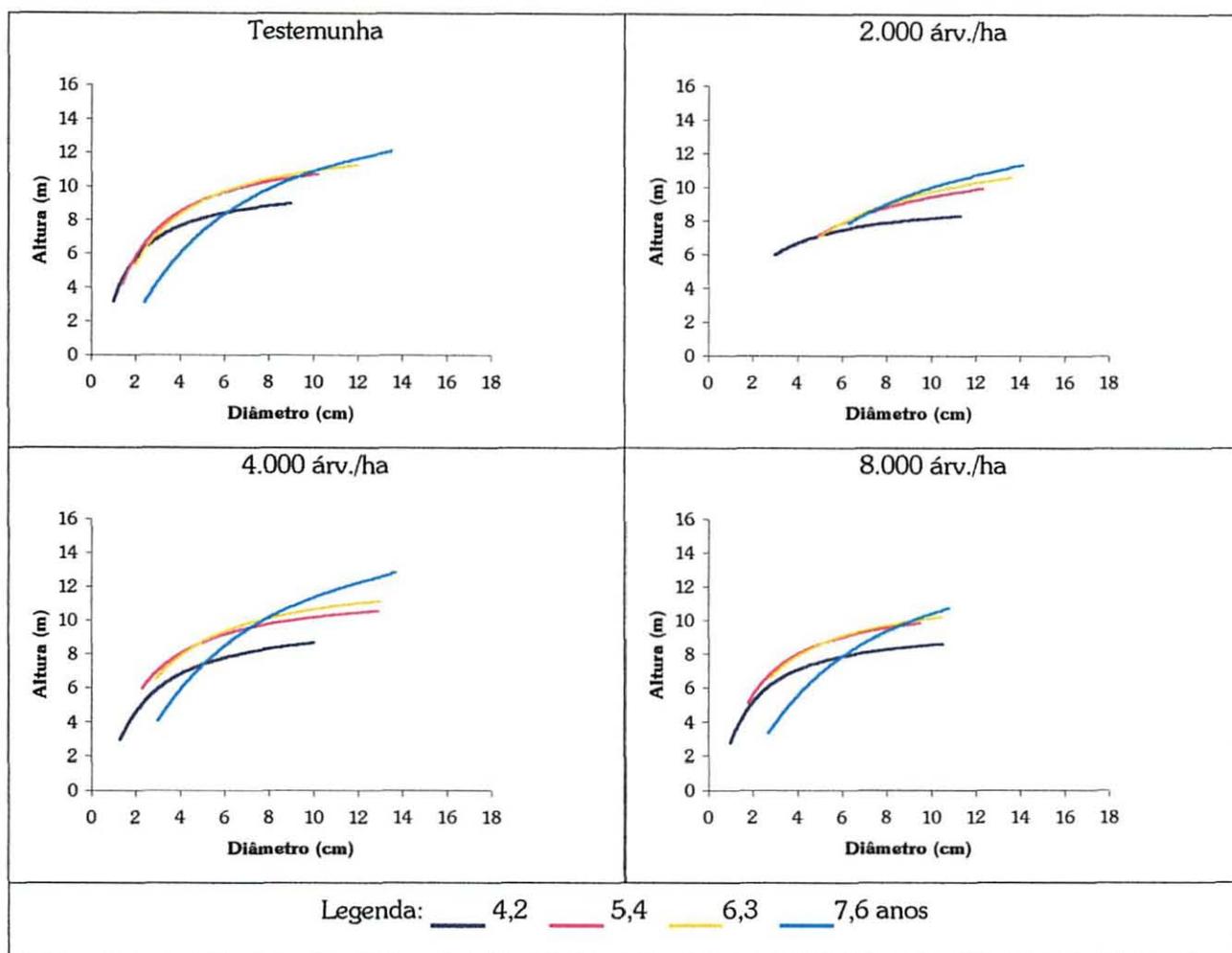


TABELA 15 - VALORES DO TESTE F ENCONTRADOS PARA A ANÁLISE DE COVARIÂNCIA ENVOLVENDO A COMBINAÇÃO DAS 4 IDADES DE MEDIÇÃO PARA O SÍTIO III E OS 4 TRATAMENTOS DE DENSIDADE INICIAL, PARA AVALIAÇÃO DO FATOR IDADE

	Idades (anos)					
	4,2-5,4	4,2-6,3	4,1-7,5	5,4-6,3	5,0-7,6	6,3-7,6
Densidade Testemunha						
Inclinação	41,3367**	54,5643**	249,4576**	13,0228**	195,2928**	125,6935**
Intersecção	297,0825**	292,1558**	0,1803 ^{ns}	0,5974 ^{ns}	143,1565**	154,5144**
Densidade 2.000 árv./ha						
Inclinação	10,0981**	14,5123**	13,1564**	0,7744 ^{ns}	3,5461*	1,5645 ^{ns}
Intersecção	62,5832**	94,7515**	115,5853**	3,2046 ^{ns}	10,2284**	2,7116 ^{ns}

Continua....

TABELA 15 - Continuação

	Idades (anos)					
	4,2-5,4	4,2-6,3	4,1-7,5	5,4-6,3	5,0-7,6	6,3-7,6
Densidade 4.000 árv./ha						
Inclinação	0,0115 ^{ns}	4,5106*	93,8701**	6,2986*	132,1223**	99,9778**
Intersecção	213,8142**	280,5491**	145,2220**	10,0758**	4,1817*	0,0022 ^{ns}
Densidade 8.000 árv./ha						
Inclinação	3,4449 ^{ns}	7,3593**	159,5630**	3,3668 ^{ns}	193,0725**	124,3523**
Intersecção	283,0912**	257,4763**	0,6575 ^{ns}	0,0673 ^{ns}	136,1475**	148,9777**

Legenda: ns - não significativo; * - significativo ao nível de 5%; ** - significativo ao nível de 1%.

MACHADO *et al.* (1994), obtiveram resultados muitos similares em relação aos efeitos dos fatores sítio, idade e densidade, apesar de terem utilizado outro modelo para o ajuste e outro teste para a comparação das curvas. Trabalharam com *Pinus elliotti* no Estado do Paraná e utilizaram o modelo de Henricksen para o traçado gráfico das linhas de regressão altura-diâmetro para vários grupos de idade. Destas linhas de regressão foram obtidos valores médios de alturas estimadas para a comparação de médias entre os grupos de idade sobre a relação hipsométrica. Só foram comparados os grupos de idade com pelo menos quatro médias se sobrepondo, e os testes de comparação de médias não detectaram diferença significativa entre quase todos os grupos consecutivos de idade. No entanto, as diferenças ocorreram entre as idades 13-14 com 21-23 anos, onde há uma maior diferença de idade. Com os grupos de idade 21-23 com 28-29 anos, também não houve diferença, neste caso por haver uma estabilização da relação hipsométrica com o avanço da idade.

AZEVEDO *et al.* (1999), baseado no teste de identidade de modelos, que faz a comparação das linhas de regressão através dos seus coeficientes, concluíram que a relação altura-diâmetro varia de acordo com a idade do povoamento, não podendo ser utilizada uma equação comum em todas as quatro diferentes idades para cada uma das quatro espécies estudadas (andiroba, sumaúma, ucuúba e ipê-rosa) em plantio homogêneo situado na Amazônia Ocidental. Portanto, os resultados do presente trabalho vem corroborar com a obra citada acima em que a idade afeta a relação hipsométrica.

4.6 ANÁLISE DO FATOR SÍTIO NA RELAÇÃO HIPSOMÉTRICA

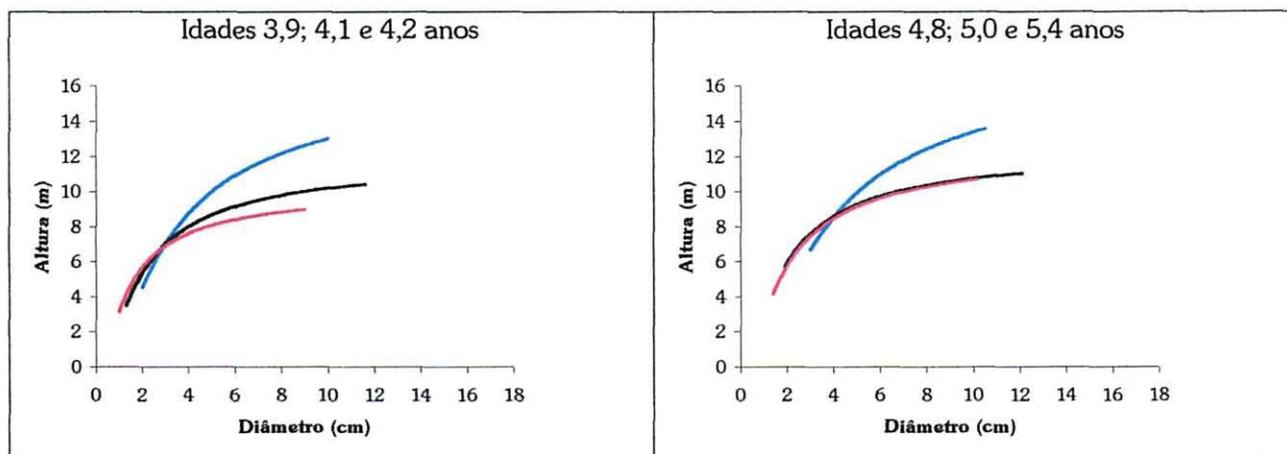
O comportamento das curvas de relação hipsométrica em relação ao fator sítio, foram similares ao comportamento das curvas em relação ao fator idade, ou seja, em locais mais produtivos (índice de sítio 16,8 m) a inclinação da curva foi ligeiramente mais acentuada do que nos locais menos produtivos (índice de sítio 10,2 m). As propriedades que representam o sítio I não continham parcelas com as idades 6,3 e 7,6 anos (medições 5 e 6), portanto algumas curvas foram traçadas somente para o sítio I e II.

A análise gráfica dos resíduos comprovou este efeito, as distribuições mais homogêneas ficaram com o sítio mais produtivo (sítio I). Os melhores ajustes apareceram nas análises das combinações com sítio I.

O comportamento de deslocamento para cima e para a direita das curvas dos sítios menos produtivos para os mais produtivos pode ser verificado nas Figura 16 a 19.

O cruzamento das curvas de altura-diâmetro em alguns tratamentos reflete a diferente natureza dos dados, pois são pertencentes a sítios diferentes (Figura 16). Portanto, para evitar estes cruzamentos, sugere-se a proposta de CURTIS (1967) ou a metodologia de ajuste simultâneo de curvas altura-diâmetro referentes a diferentes idades de uma parcela remeida, desenvolvida por OMULE & MACDONALD (1991).

FIGURA 16 - CURVAS DA RELAÇÃO HIPSOMÉTRICA, PARA OS SÍTIOS I, II E III, NAS VÁRIAS IDADES DE MEDIÇÃO E DENSIDADE INICIAL TESTEMUNHA



Continua...

FIGURA 16 - Continuação

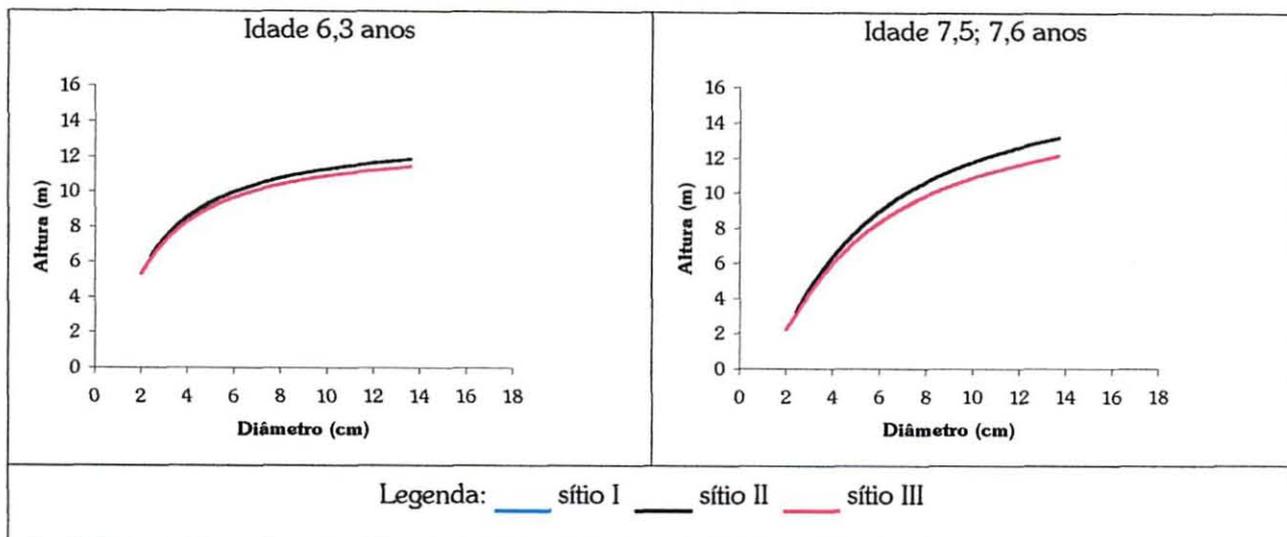


FIGURA 17 - CURVAS DA RELAÇÃO HIPSOMÉTRICA, PARA OS SÍTIOS I, II E III, NAS VÁRIAS IDADES DE MEDIÇÃO E DENSIDADE INICIAL 2.000 ÁRV./HA

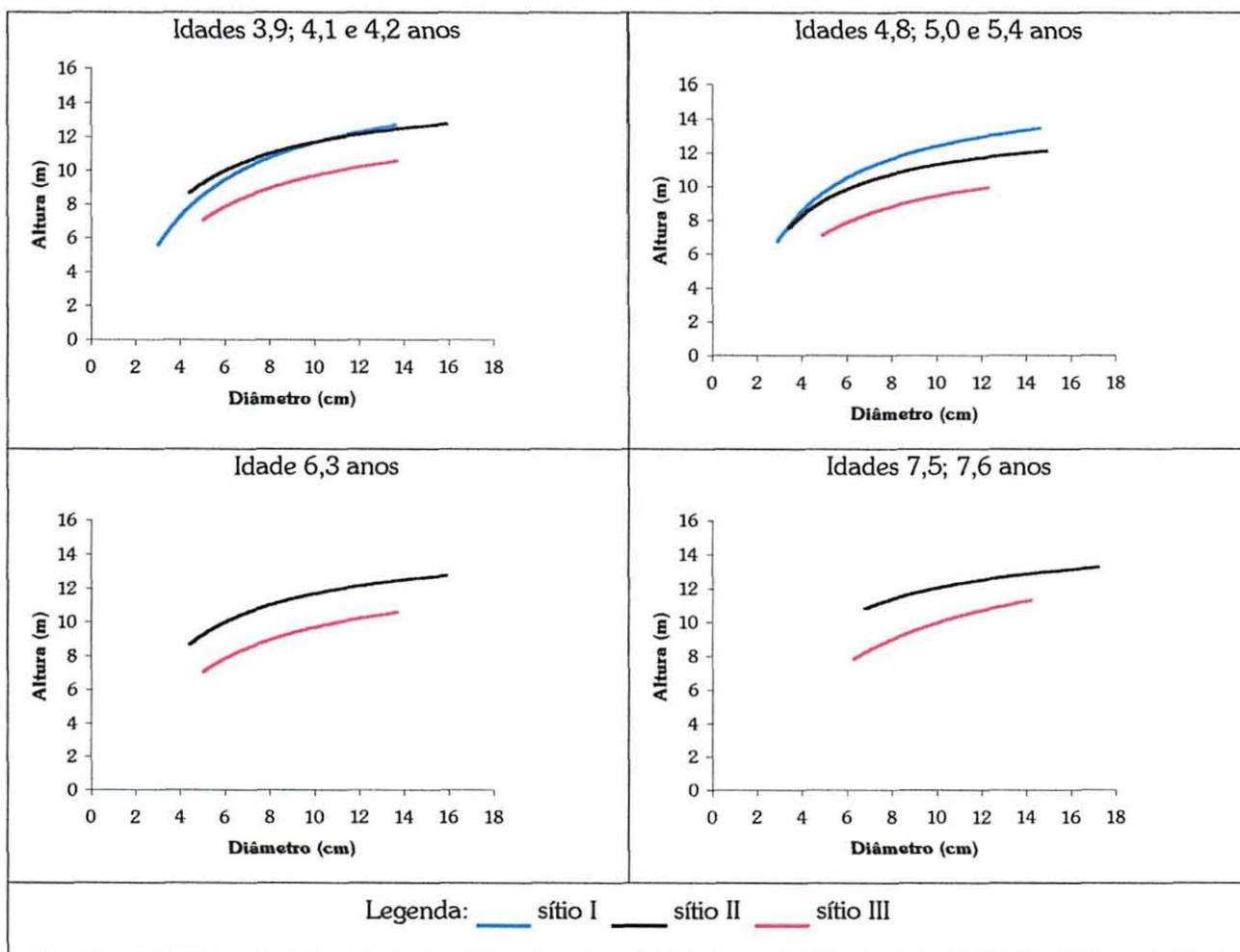


FIGURA 18 - CURVAS DA RELAÇÃO HIPSOMÉTRICA, PARA OS SÍTIOS I, II E III, NAS VÁRIAS IDADES DE MEDIÇÃO E DENSIDADE INICIAL 4.000 ÁRV./HA

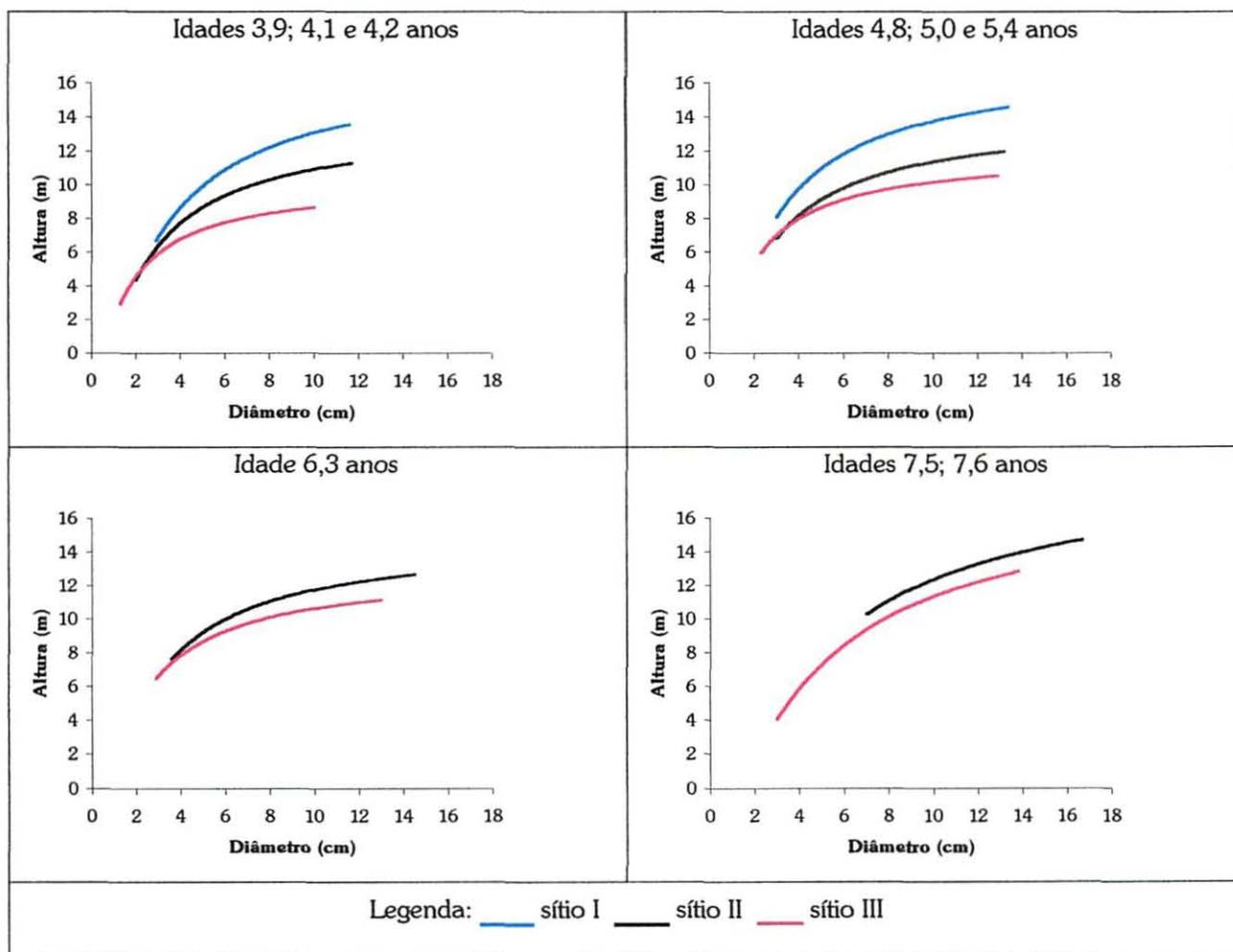
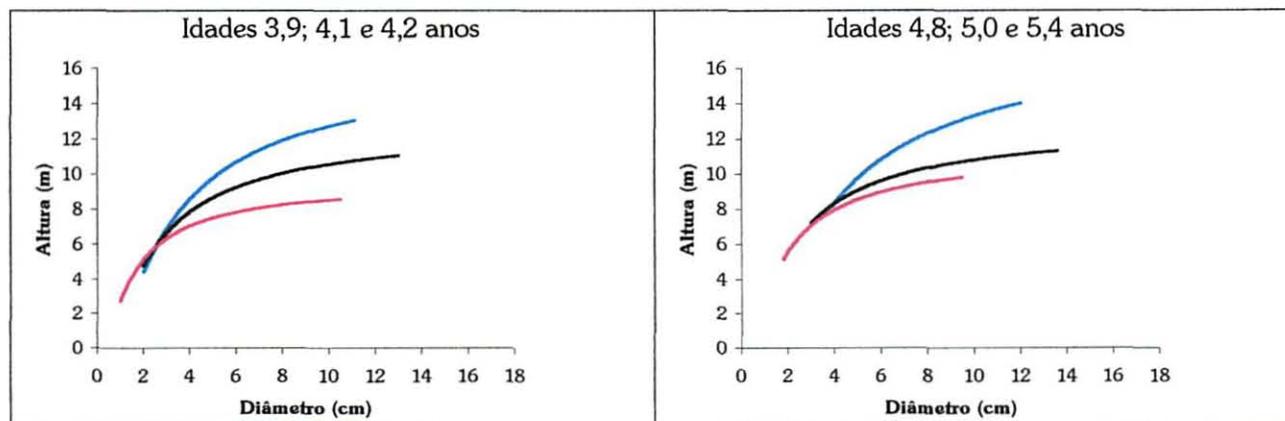
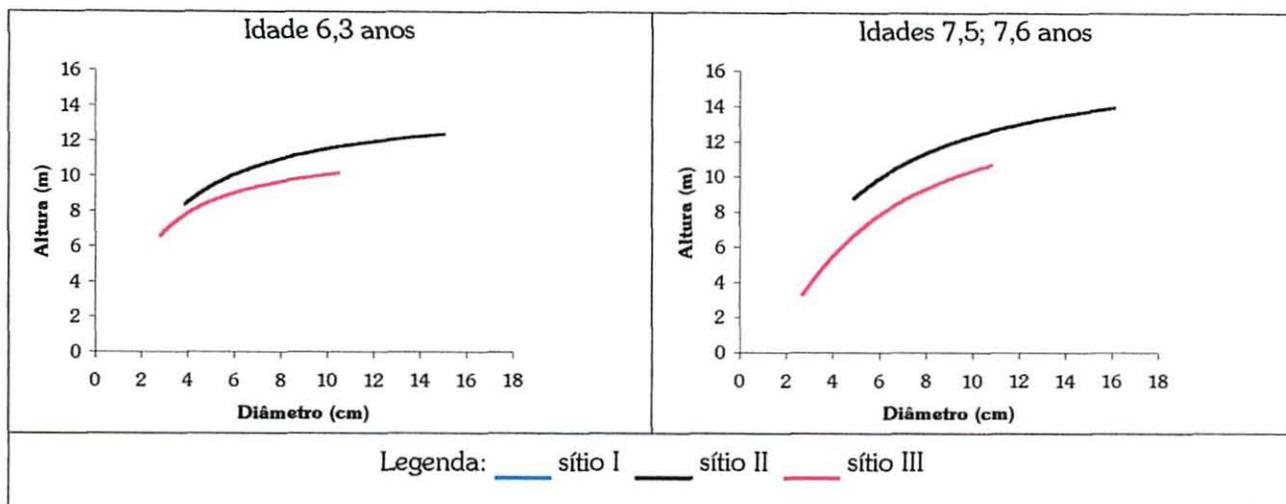


FIGURA 19 - CURVAS DA RELAÇÃO HIPSOMÉTRICA, PARA OS SÍTIOS I, II E III, NAS VÁRIAS IDADES DE MEDIÇÃO E DENSIDADE INICIAL 8.000 ÁRV./HA



Continua...

FIGURA 19 - Continuação



A visualização gráfica das curvas das Figuras 16, 17, 18 e 19 sugere que há uma grande diferença entre os vários sítios, pois as mesmas se encontram relativamente distanciadas na maioria dos casos. Mas, através da análise de covariância, é possível comparar as linhas de regressão pertencentes aos vários sítios e comprovar se há, realmente, diferenças significativas ou não. Na Tabela 16 podem ser verificados os valores do teste F para as várias combinações de sítio, nas várias idades de medição e densidades iniciais.

De acordo com esta análise, houve diferenças significativas tanto para inclinação como para intersecção nas idades de medição 3, 4, 5 e 6; e somente para intersecção nas idades de medição 5 e 6 correspondente às idades: 3,9; 4,1; 4,2 anos (medição 3); 5,0 e 5,4 anos (medição 4); 6,3 anos (medição 5) e 7,5; 7,6 anos (medição 6) para as combinações dos 3 sítios. Para a testemunha, na medição 4, não houve diferença entre os sítios II e III, ou seja, assume-se que estes dados podem ser agrupados, logo os sítios II e III tiveram o mesmo efeito na relação, portanto, a relação hipsométrica não foi afetada na idade 5 e 5,4 anos para estes sítios e densidade inicial testemunha. Para as outras densidades as diferenças entre os sítios foram significativas (Tabela 16).

O sítio, expressando toda a capacidade produtiva de um terreno florestal, exerce influência sobre a curva de relação hipsométrica. Resultados similares foram encontrados por CARDOSO (1989) que analisou o fator sítio e verificou que houve efeito significativo, somente sobre o coeficiente de intersecção e não na inclinação das linhas de regressão, dentro da maioria das classes de idade de plantações de *Pinus taeda* no Paraná. Nas idades em que a diferença entre inclinações foi considerada significativa (5-

6, 7-8, 14 e 20 anos) verificou-se a situação nítida de que em sítios bons a linha foi mais íngreme se comparada à linha para sítios ruins, além de uma tendência crescente das linhas do pior para o melhor sítio em cada classe de idade. Esta mesma evolução foi encontrada por SCHIMIDT (1977) para linhas de regressão, dentro da maioria das classes de idade de plantações de *Pinus taeda* na região de Guarapuava, Paraná.

TABELA 16 - VALORES DO TESTE F ENCONTRADOS PARA A ANÁLISE DE COVARIÂNCIA ENVOLVENDO A COMBINAÇÃO DOS 3 SÍTIOS NAS VÁRIAS IDADES DE MEDIÇÃO E OS 4 TRATAMENTOS DE DENSIDADE INICIAL, PARA AVALIAÇÃO DO EFEITO DO FATOR SÍTIO

	Idades (anos)							
	3,9; 4,1; 4,2			5,0; 5,4			6,3	7,5; 7,6
	Sítios							
	I-II	I-III	II-III	I-II	I-III	II-III	II-III	II-III
Densidade Testemunha								
Inclinação	148,287**	250,296**	66,579**	23,643**	40,390**	0,142 ^{ns}	0,226 ^{ns}	0,053 ^{ns}
Intersecção	191,367**	307,047**	55,267**	80,049**	145,163**	1,019 ^{ns}	19,705**	10,410**
Densidade 2.000 árv./ha								
Inclinação	21,585**	23,713**	4,499*	1,540 ^{ns}	0,286 ^{ns}	3,091 ^{ns}	3,369 ^{ns}	2,700 ^{ns}
Intersecção	18,602**	276,315**	464,021**	39,347**	274,075**	334,294**	295,101**	69,249**
Densidade 4.000 árv./ha								
Inclinação	4,546 ^{ns}	20,886**	24,8925**	0,171 ^{ns}	7,702 ^{ns}	14,859**	3,671 ^{ns}	0,005 ^{ns}
Intersecção	164,999**	501,102**	276,630**	308,960**	474,230**	100,714**	108,095**	21,961**
Densidade 8.000 árv./ha								
Inclinação	18,686**	60,679**	49,249**	29,947**	54,523**	4,488*	4,630*	2,202 ^{ns}
Intersecção	174,363**	487,047**	233,188**	200,521**	410,295**	82,535**	185,47**	77,906**

Legenda: Medição 3 (3,9; 4,1; 4,2 anos); medição 4(5,0 ; 5,4 anos); medição 5 (6,3 anos) e medição 6 (7,5;7,6 anos), ns - não significativo; * - significativo ao nível de 5%; ** - significativo ao nível de 1%.

MACHADO; BASSO & BEVILACQUA (1993), trabalhando com *Pinus elliottii* no Paraná, testaram modelos de relação hipsométrica em diferentes sítios e idades e com o modelo de Henricksen traçaram as linhas de regressão por classe de sítio para cada idade concluindo que o sítio exerceu efeito moderado sobre a relação hipsométrica,

sendo significativo apenas entre classes de sítio mais afastadas, fato que diverge com o trabalho em questão, o qual evidencia que o sítio exerceu influência na relação hipsométrica entre todas as classes.

O mesmo resultado, encontrado para algumas combinações de sítio do presente trabalho, foi encontrado por BUFORD (1986) para *Pinus taeda* aos 15 anos de idade, onde as inclinações da curva altura-diâmetro ajustada, com o mesmo modelo escolhido para este trabalho, foram as mesmas para todas as procedências de semente em oito dos nove locais de estudo no sul dos EUA. Os interceptos das relações hipsométricas foram diferentes para as procedências em seis dos nove locais. Portanto o resultado indicou que houve uma forma da curva igual para todas as procedências, mas houve um deslocamento das curvas relativas a cada sítio dado. O nível da curva foi fortemente relacionado à altura dominante na idade de 15 anos.

HAMMER (1981), encontrou diferenças significativas entre curvas de relação hipsométrica elaboradas para pinus cipreste (*Callitris columellaris* F. Muell) em Maningrida e Murganella (Austrália) quando comparadas com curvas elaboradas para a mesma espécie em outro local (Queensland/Austrália). O mesmo foi encontrado por NOWAK (1990) quando ajustou curvas hipsométricas para *Acer platanoides*, *A. saccharum* e *A. saccharinum* em diferentes locais (Rochester e Syracuse) de Nova York-EUA, evidenciando a influência do fator sítio na relação diâmetro-altura.

4.7 ANÁLISE DO FATOR DENSIDADE NA RELAÇÃO HIPSOMÉTRICA

A tendência das curvas de relação hipsométrica foi mais íngreme nas densidades maiores, visto que a concorrência (densidade) afeta mais o crescimento em diâmetro do que em altura e em, conseqüência, afeta a relação hipsométrica.

Nas árvores dominantes a altura é pouco afetada pelo espaçamento, já nas dominadas, a influência da altura é acentuada. Em relação à variável diâmetro, em qualquer estrato da floresta é bastante afetada pela concorrência. Assim, quando a concorrência é alta, a razão h/d é maior. Povoamentos muito densos tendem, naturalmente, a apresentar árvores de diâmetros menores, se comparadas com árvores de povoamentos pouco densos, onde a concorrência por espaço é menor e o

crescimento em diâmetro é mais acentuado.

Este efeito é verificado na Figura 20, onde as curvas se movem para cima das menores para as maiores densidades. Mas este efeito não é muito pronunciado para as densidades testemunha e 8.000 árvores/ha, as quais estão muito próximas, indicando um paralelismo entre as mesmas. Através da análise de covariância pode-se constatar esta hipótese (Tabela 17).

FIGURA 20 - CURVAS DE RELAÇÃO HIPSOMÉTRICA, SÍTIO I, IDADES 3,9 E 4,8 ANOS, PARA OS 4 TRATAMENTOS DE DENSIDADE INICIAL

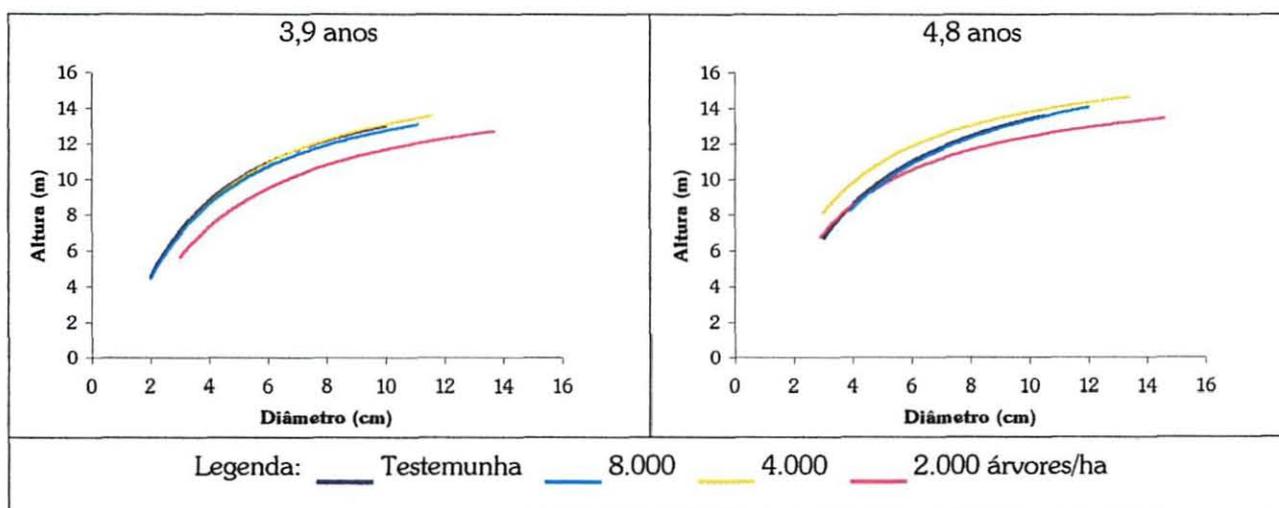


TABELA 17 - VALORES DO TESTE F ENCONTRADOS PARA A ANÁLISE DE COVARIÂNCIA, ENVOLVENDO A COMBINAÇÃO DOS 4 TRATAMENTOS DE DENSIDADE INICIAL PARA O SÍTIO I, IDADES 3,9 E 4,8 ANOS, PARA AVALIAÇÃO DO EFEITO DO FATOR DENSIDADE

	Densidade inicial (número de árvores/ha)					
	Test-2.000	Test-4.000	Test-8.000	2.000-4.000	2.000-8.000	4.000-8.000
3,9 anos						
Inclinação	5,5620*	0,5059 ^{ns}	0,00003 ^{ns}	1,5340 ^{ns}	4,3467*	0,3665 ^{ns}
Intersecção	81,2767**	0,0814**	5,5423 ^{ns}	54,5685**	50,5307**	2,3456*
4,8 anos						
Inclinação	1,0154 ^{ns}	3,0310 ^{ns}	0,0831 ^{ns}	0,2911 ^{ns}	3,0400 ^{ns}	6,6993 ^{ns}
Intersecção	6,0047*	9,7561**	0,0764 ^{ns}	34,6289**	13,3699**	17,6127**

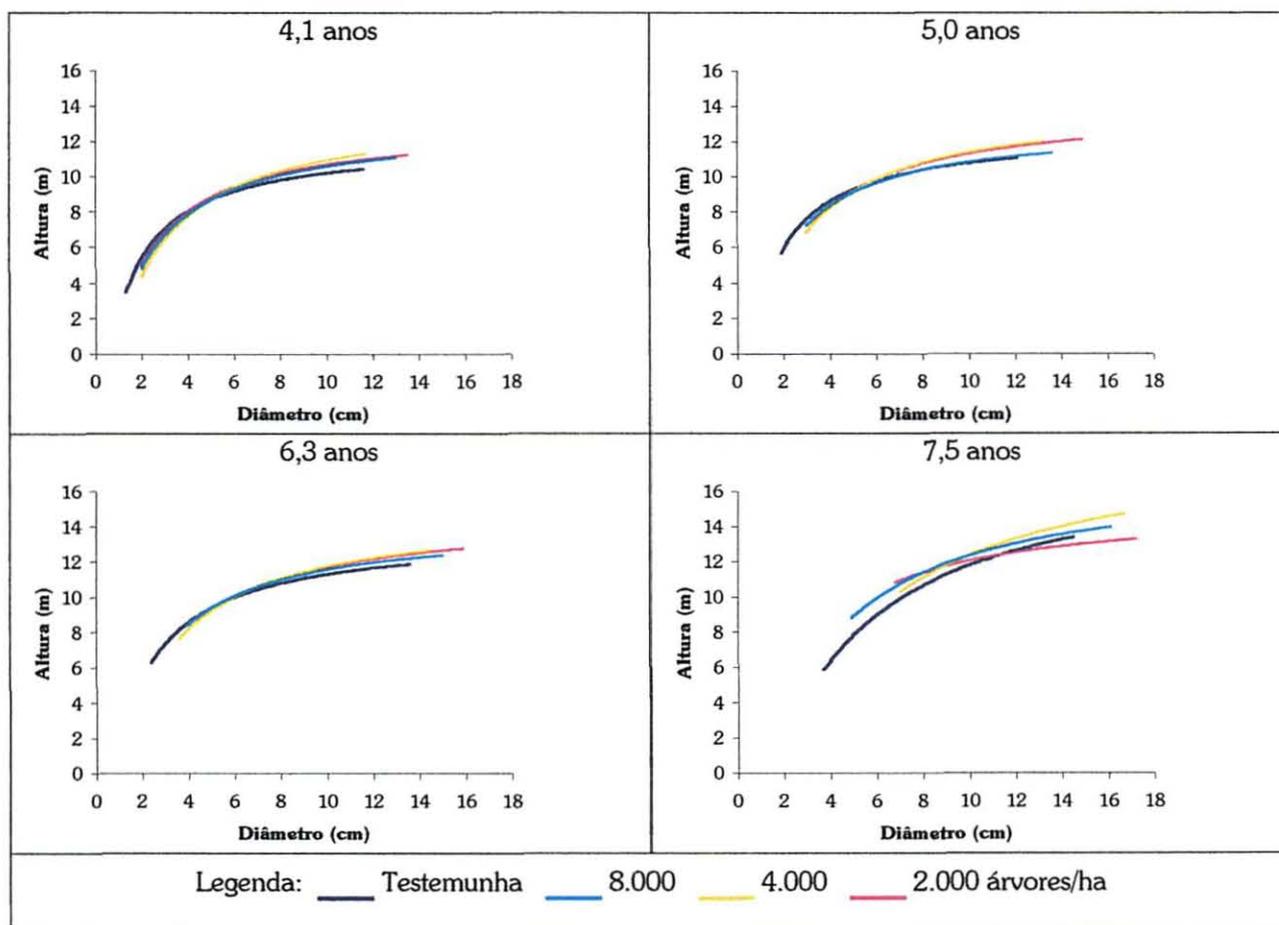
Legenda: ns - não significativo; * - significativo ao nível de 5%; ** - significativo ao nível de 1%, Test - testemunha.

Através dos testes de paralelismo e coincidência, comprovou-se o que foi visualizado na Figura 20, ou seja, as curvas geradas pelas parcelas localizadas no sítio I e

com idade 3,9 e 4,8 anos apresentaram ausência de diferença nos tratamentos testemunha e 8.000 árvores/ha, as outras apresentaram diferenças significativas para a intersecção. Certamente isto ocorreu porque o tratamento de 8.000 árvores/ha apresenta densidade relativamente mais próxima à testemunha.

Nas outras idades de medição do sítio II, também, foi verificado este efeito entre as linhas de regressão para os tratamentos testemunha e 8.000 árvores/ha onde ocorre a sobreposição das mesmas (Figura 21). Pelo teste *F* da análise de covariância se comprovou, novamente, este efeito (Tabela 18).

FIGURA 21 - CURVAS DE RELAÇÃO HIPSONÉTICA, SÍTIO II, IDADES 4,1 A 7,5 ANOS, PARA OS 4 TRATAMENTOS DE DENSIDADE INICIAL



A mesma ausência de diferença significativa encontrada no sítio I ocorreu para as parcelas do Sítio II, na idade 4,1 anos para as densidades 2.000 com a 4.000 árvores/ha e 2.000 com a 8.000 árvores/ha. Na idade 5,0 anos não foram significativos as densidades testemunha com 8.000 e 2.000 com 4.000 árvores/ha. Na idade 6,3 anos, além destas combinações de densidades, as densidades 4.000 com 8.000 não foram

significativos. Para a idade 7,5 anos a única combinação que foi significativa foi o tratamento testemunha com 8.000 árvores/ha. As outras combinações de densidade apresentaram paralelismo, podendo-se concluir que o fator densidade praticamente não afetou a relação hipsométrica neste sítio para estas idades.

TABELA 18 - VALORES DO TESTE F ENCONTRADOS PARA A ANÁLISE DE COVARIÂNCIA, ENVOLVENDO A COMBINAÇÃO DOS 4 TRATAMENTOS DE DENSIDADE INICIAL PARA O SÍTIO II, IDADES 4,1 A 7,5 ANOS, PARA AVALIAÇÃO DO EFEITO DO FATOR DENSIDADE

	Densidade inicial (número de árvores/ha)					
	Test-2.000	Test-4.000	Test-8.000	2.000-4.000	2.000-8.000	4.000-8.000
4,1 anos						
Inclinação	3,3678 ^{ns}	48,3697 ^{**}	19,6456 ^{**}	3,7249 ^{ns}	0,0770 ^{ns}	6,9705 ^{**}
Intersecção	14,7808 ^{**}	4,2704 ^{**}	0,0001 ^{ns}	0,4416 ^{ns}	2,0418 ^{ns}	1,3813 ^{ns}
5,0 anos						
Inclinação	4,4414 ^{ns}	16,8159 ^{**}	1,7626 ^{ns}	0,2207 ^{ns}	2,2264 ^{ns}	7,8324 ^{**}
Intersecção	9,0487 ^{**}	5,8536 [*]	0,2145 ^{ns}	0,1905 ^{ns}	14,6028 ^{**}	16,4658 ^{**}
6,3 anos						
Inclinação	2,8043 ^{ns}	7,2296 ^{**}	1,1852 ^{ns}	0,0465 ^{ns}	0,8893 ^{ns}	2,2915 ^{ns}
Intersecção	7,3136 ^{**}	7,0472 ^{**}	3,3665 ^{ns}	0,1380 ^{ns}	0,6264 ^{ns}	0,8922 ^{ns}
7,5 anos						
Inclinação	2,4132 ^{ns}	0,0738 ^{ns}	1,5806 ^{ns}	2,7529 ^{ns}	0,9993 ^{ns}	1,5841 ^{ns}
Intersecção	0,8291 ^{ns}	3,4707 ^{ns}	7,5893 ^{**}	1,4994 ^{ns}	1,2252 ^{ns}	0,0027 ^{ns}

Legenda: ns - não significativo; * - significativo ao nível de 5%; ** - significativo ao nível de 1%, Test - testemunha

Já para o Sítio III e idade 5,4 anos, os tratamentos 4.000 com o 8.000 árvores/ha, e na idade 7,6 para os tratamentos 2.000 com o 8.000 árvores/ha, apresentaram ausência de significância. Para as outras idades de medição houve diferença significativa entre os tratamentos. Os valores da análise de covariância para este sítio são apresentados na Tabela 19.

Este efeito é bem visualizado na Figura 22 onde as linhas de regressão se apresentaram muito próximas, podendo-se concluir que o fator densidade, também, não afetou a relação hipsométrica neste sítio para estas idades.

FIGURA 22 - CURVAS DE RELAÇÃO HIPSOMÉTRICA, SÍTIO III, IDADES 4,2 A 7,6 ANOS, PARA OS 4 TRATAMENTOS DE DENSIDADE INICIAL

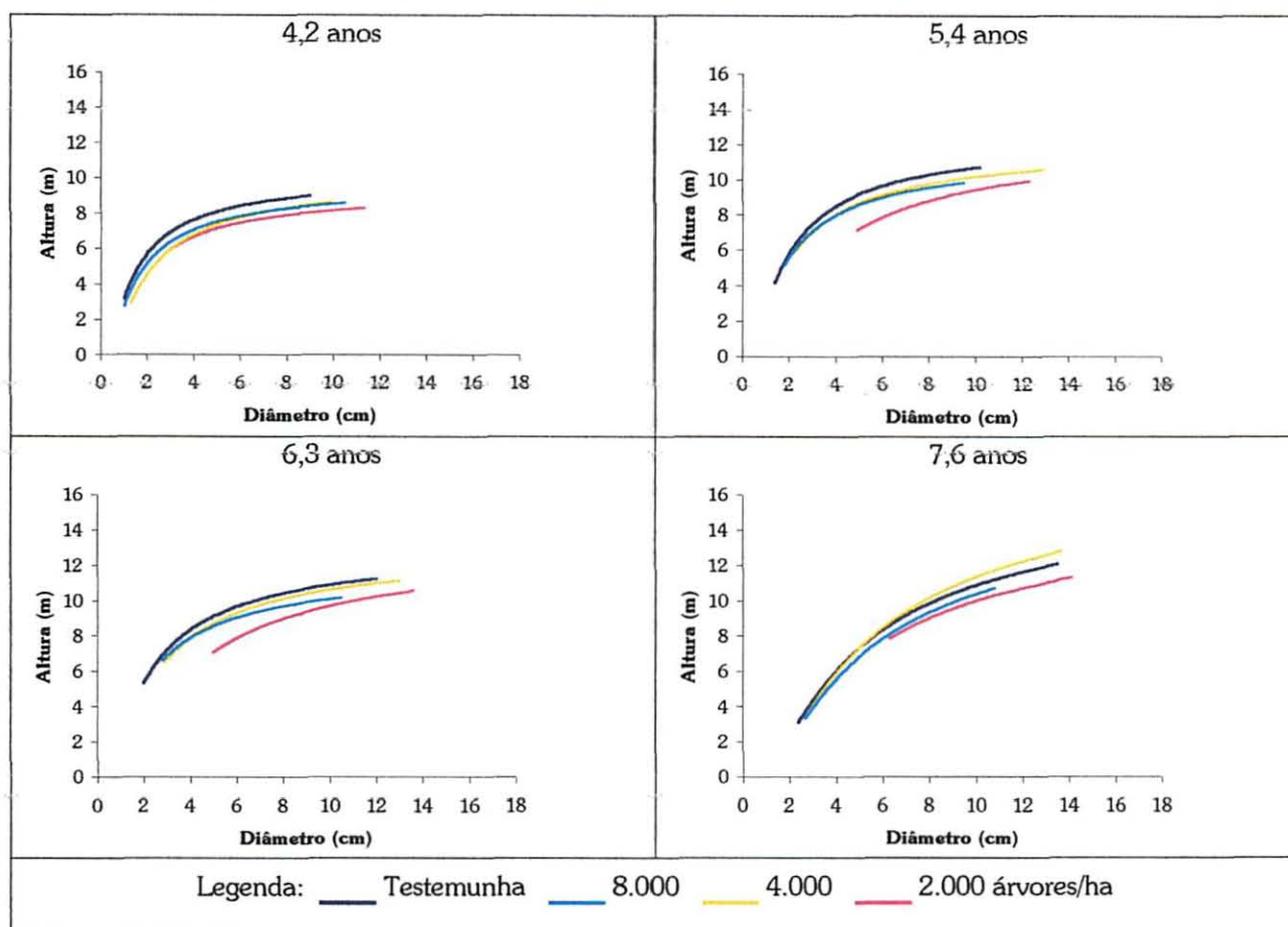


TABELA 19 - VALORES DO TESTE F ENCONTRADOS PARA A ANÁLISE DE COVARIÂNCIA ENVOLVENDO A COMBINAÇÃO DOS 4 TRATAMENTOS DE DENSIDADE INICIAL PARA O SÍTIO III, IDADES 4,2 A 7,6 ANOS, PARA AVALIAÇÃO DO EFEITO DO FATOR DENSIDADE

	Densidade inicial (número de árvores/ha)					
	Test-2.000	Test-4.000	Test-8.000	2.000-4.000	2.000-8.000	4.000-8.000
4,2 anos						
Inclinação	0,4104 ^{ns}	21,7325 ^{**}	1,9752 ^{ns}	0,8359 ^{ns}	0,0776 ^{ns}	9,5841 ^{**}
Intersecção	93,6156 ^{**}	98,7258 ^{**}	118,1602 ^{**}	9,7109 ^{**}	10,4345 ^{**}	3,4047 ^{ns}
5,4 anos						
Inclinação	16,0292 ^{**}	0,2587 ^{ns}	1,6890 ^{ns}	10,9657 ^{**}	17,9312 ^{**}	1,5624 ^{ns}
Intersecção	231,4300 ^{**}	49,1361 ^{**}	129,7005 ^{**}	77,1983 ^{**}	57,2936 ^{**}	3,4365 ^{ns}
6,3 anos						
Inclinação	19,0305 ^{**}	2,7671 ^{ns}	1,6538 ^{ns}	10,5940 ^{**}	18,4634 ^{**}	5,1452 [*]
Intersecção	184,9280 ^{**}	25,4386 ^{**}	127,9685 ^{**}	97,6315 ^{**}	28,8569 ^{**}	17,8291 ^{**}
7,6 anos						
Inclinação	0,0168 ^{ns}	0,9751 ^{ns}	0,4049 ^{ns}	0,1452 ^{ns}	0,0074 ^{ns}	0,2604 ^{ns}
Intersecção	8,6460 ^{**}	4,5659 [*]	10,4582 ^{**}	71,7205 ^{**}	2,2686 ^{ns}	30,7270 ^{**}

Legenda: ns - não significativo; * - significativo ao nível de 5%; ** - significativo ao nível de 1%, Test - testemunha

BRANDI; COUTO & PAULA NETO (1977), verificaram o efeito densidade na relação hipsométrica, trabalhando com *Eucalyptus urophylla*, em Minas Gerais, e obtiveram resultados similares aos encontrados para a maioria das combinações de sítio e idade do presente trabalho. Citaram que através do teste qui-quadrado não houve diferença significativa entre as linhas de regressão, concluindo que, para um mesmo diâmetro, em densidades (espaçamentos) diferentes, apresentaram alturas semelhantes, ou seja, a relação hipsométrica não foi influenciada pelo espaçamento.

5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Baseado nos estudos realizados, pôde-se chegar às seguintes conclusões:

- Dentre os modelos tradicionais de relação hipsométrica, o modelo 10 (Curtis): $\ln h = b_0 + b_1 \cdot \left(\frac{1}{d}\right)$ foi o mais adequado para estimar alturas em povoamentos nativos de bracatinga na Região Metropolitana de Curitiba.
- Quando se dispôs de variáveis do povoamento, tais como: idade, altura dominante, densidade, diâmetro médio quadrático, os modelos hipsométricos de melhor performance foram: $\ln h = b_0 + b_1 h_{dom} + b_2 \ln\left(\frac{d_g}{d}\right) + b_3\left(\frac{1}{d.I}\right) + b_4\left(\frac{1}{d}\right)$ (modelo 15, Scolforo), $\ln h = b_0 + b_1 \ln(d) + b_2 \ln(h_{dom}) + b_3 \ln\left(\frac{d_g}{d}\right) + b_4\left(\frac{1}{d.I}\right)$ (modelo 22, obtido por *stepwise*) e $h = b_0 + b_1 (h_{dom} d) + b_2 (d^2) + b_3\left(\frac{1}{d}\right) + b_4 d_g$ (modelo 23 obtido por *stepwise*), os quais podem ser usados como modelos genéricos que abrangem tanto as parcelas permanentes como as temporárias.
- Os fatores idade e sítio afetaram a relação hipsométrica. O fator densidade não apresentou efeito de forma pronunciada para a maioria dos conjuntos de curvas.
- Com relação à idade, as curvas de altura são mais íngremes para as idades mais jovens, porém sobem suavemente para parcelas mais velhas e se deslocam para a direita.
- Em locais mais produtivos (IS=16,8 m) a inclinação das curvas é ligeiramente mais acentuada do que nos locais menos produtivos (IS=10,2 m).
- As curvas se movem para cima, das menores para as maiores densidades. As densidades testemunha e 8.000 árvores/ha são consideradas similares, estatisticamente, para os sítios I e II.

Como recomendação, sugere-se uma intensificação de pesquisas voltadas à evolução de conhecimentos e informações disponíveis sobre o manejo da bracatinga, de forma que possibilitem tomadas de decisão corretas e econômicas; e o contínuo inventário desta espécie, para que se tenham dados em maior quantidade e seja possível uma avaliação cada vez mais dinâmica do comportamento da mesma.

ANEXOS

ANEXO 1 - ESTATÍSTICAS DESCRITIVAS

**ANEXO 2 - ESTIMATIVAS DOS COEFICIENTES DOS MODELOS DE
RELAÇÃO HIPSOMÉTRICA**

**ANEXO 3 - ESTATÍSTICAS DE AJUSTE PARA AS PARCELAS
PERMANENTES**

**ANEXO 4 - ESTATÍSTICAS DE AJUSTE PARA AS PARCELAS
TEMPORÁRIAS**

ANEXO 1 - ESTATÍSTICAS DESCRITIVAS

TABELA 20 - ESTATÍSTICAS DESCRITIVAS DAS PARCELAS PERMANENTES

Sítio	Idade (anos)	Densidade inicial (n° árv./ha)	N° árvores/ Parcela	Densidade/ha	Diâmetro (cm)					Altura (m)				
					Mínimo	Máximo	Média	Variância	Desvio Padrão	Mínima	Máxima	Média	Variância	Desvio padrão
		Geral	6733	2877	6,6	17,2	6,6	6,62	2,57	2,2	16,4	9,3	3,8	1,9
I	3,9	testemunha	165	5077	2,0	10,0	5,3	3,82	1,95	5,2	13,5	9,7	4,6	2,2
I	3,9	2.000	48	1477	3,0	13,7	9,3	5,51	2,35	5,0	13,0	11,1	2,8	1,7
I	3,9	4.000	79	2431	2,9	11,6	7,5	4,65	2,16	5,0	14,0	11,6	2,7	1,6
I	3,9	8.000	104	3200	2,0	11,1	6,5	3,86	1,96	5,2	13,0	10,7	3,1	1,8
I	4,8	testemunha	77	2369	3,0	10,5	7,1	3,28	1,81	6,9	14,5	11,5	3,8	2,0
I	4,8	2.000	40	1231	2,9	14,7	10,0	5,87	2,42	6,5	13,8	12,2	2,3	1,5
I	4,8	4.000	69	2123	3,0	13,4	8,6	5,63	2,37	6,9	15,0	13,0	2,5	1,6
I	4,8	8.000	76	2338	3,9	12,0	7,7	3,99	2,00	6,9	14,4	11,9	2,5	1,6
II	4,1	testemunha	373	11477	1,3	11,6	5,3	4,77	2,19	3,9	11,0	8,4	2,3	1,5
II	4,1	2.000	121	3723	2,0	13,5	8,2	2,96	1,72	4,7	11,7	10,1	0,9	1,0
II	4,1	4.000	207	6369	2,0	11,7	7,0	4,77	2,18	3,5	12,7	9,6	2,4	1,5
II	4,1	8.000	252	7754	2,0	13,0	6,3	4,89	2,21	3,5	11,3	9,0	2,1	1,5

Continua...

TABELA 20 – Continuação

Sítio	Idade (anos)	Densidade inicial (n° árv./ha)	N° árvores/Parcela	Densidade/ha	Diâmetro (cm)					Altura (m)				
					Mínimo	Máximo	Média	Variância	Desvio Padrão	Mínima	Máxima	Média	Variância	Desvio padrão
II	5	testemunha	234	7200	1,9	12,1	6,4	4,49	2,12	5,4	11,5	9,7	1,6	1,3
II	5	2.000	110	3385	3,4	14,9	8,5	3,34	1,83	6,1	12,1	10,8	0,8	0,9
II	5	4.000	158	4862	3,0	13,2	7,7	4,82	2,20	6,4	12,5	10,4	1,4	1,2
II	5	8.000	178	5477	3,0	13,6	7,6	4,53	2,13	5,8	11,9	10,0	1,1	1,0
II	6,3	testemunha	189	5815	2,4	13,6	7,3	6,32	2,51	6,0	12,5	10,3	1,7	1,3
II	6,3	2.000	114	3508	4,4	15,9	9,4	3,88	1,97	7,0	13,7	11,4	1,1	1,0
II	6,3	4.000	136	4185	3,6	14,5	9,0	4,99	2,23	6,50	13,79	11,2	1,38	1,18
II	6,3	8.000	143	4400	3,9	15,0	8,5	5,12	2,26	7,6	12,8	11,0	1,3	1,1
II	7,5	testemunha	62	1908	3,7	14,5	8,5	6,18	2,49	6,0	14,3	10,6	4,9	2,2
II	7,5	2.000	32	985	6,8	17,2	10,6	5,07	2,25	9,2	14,4	12,1	2,1	1,4
II	7,5	4.000	61	1877	7,0	16,7	11,3	5,55	2,36	7,0	16,2	12,8	3,3	1,8
II	7,5	8.000	62	1908	4,9	16,1	9,8	5,00	2,24	8,9	16,4	12,1	2,4	1,6
III	4,2	testemunha	637	19600	1,0	9,0	3,9	2,49	1,58	2,5	10,3	7,2	1,8	1,4
III	4,2	2.000	103	3169	3,0	11,3	8,0	2,59	1,61	5,3	10,5	7,8	0,8	0,9
III	4,2	4.000	185	5692	1,3	10,0	6,1	3,24	1,80	2,7	10,0	7,6	1,6	1,3
III	4,2	8.000	382	11754	0,8	10,5	4,8	2,29	1,51	2,2	9,7	7,2	1,3	1,2

Continua...

TABELA 20 – Continuação

Sítio	Idade (anos)	Densidade Inicial (n° árv./ha)	N° árvores/ Parcela	Densidade/ha	Diâmetro (cm)					Altura (m)				
					Mínimo	Máximo	Média	Variância	Desvio Padrão	Mínima	Máxima	Média	Variância	Desvio padrão
III	5,4	testemunha	395	12154	1,4	10,2	3,14	4,9	1,77	4,0	11,2	8,8	1,7	1,3
III	5,4	2.000	96	2954	4,9	12,3	2,74	8,6	1,65	6,4	11,6	8,9	1,0	1,0
III	5,4	4.000	166	5108	2,3	12,9	4,23	7,1	2,06	4,9	11,5	9,3	1,1	1,1
III	5,4	8.000	318	9785	1,8	9,5	2,26	5,3	1,50	5,2	11,1	8,5	1,0	1,0
III	6,3	testemunha	312	9600	2,0	12,0	3,58	5,9	1,89	5,0	11,5	9,4	1,4	1,2
III	6,3	2.000	90	2769	5,0	13,8	3,47	9,5	1,86	6,7	12,1	9,4	1,1	1,1
III	6,3	4.000	158	4862	2,9	13,0	4,60	8,0	2,14	5,3	12,3	9,9	1,1	1,1
III	6,3	8.000	270	8308	2,8	10,5	2,27	6,0	1,51	5,3	11,0	8,9	0,8	0,9
III	7,6	testemunha	178	5477	2,4	13,7	4,51	7,0	2,12	4,0	13,9	8,9	5,4	2,3
III	7,6	2.000	69	2123	6,3	14,3	2,70	10,4	1,64	7,2	13,0	10,0	1,4	1,2
III	7,6	4.000	114	3508	3,0	13,9	4,64	8,8	2,15	5,0	13,1	10,4	3,0	1,7
III	7,6	8.000	170	5231	2,7	10,8	2,78	6,8	1,67	5,0	11,8	8,3	3,3	1,8

TABELA 21 - ESTATÍSTICAS DESCRITIVAS DAS PARCELAS TEMPORÁRIAS

Sitio	Idade (anos)	Nº árvores/ Parcela	Área das parcelas	Densidade/ha	Diâmetro (cm)					Altura (m)				
					Mínimo	Máximo	Média	Variância	Desvio Padrão	Mínima	Máxima	Média	Variância	Desvio Padrão
	Geral	4949	26480	1869	3,4	33,6	9,1	11,9	3,5	0,9	23	11,5	6,6	2,6
I	3	31	100	3100	5,4	17,2	11,0	8,3	2,9	7,5	13,5	10,9	2,6	1,6
I	4	36	100	3600	5,1	12,4	11,6	4,8	2,2	8,0	13,0	11,6	1,6	1,2
I	5	400	1380	2899	5,0	21,3	11,6	7,9	2,8	4,5	15,5	11,4	2,8	1,7
I	6	135	640	2109	5,0	15,5	13,2	6,1	2,5	10,3	16,2	13,2	1,6	1,3
I	9	161	1080	1491	5,0	27,5	15,7	12,8	3,6	9,2	20,5	15,6	4,1	2,0
I	10	56	800	700	5,3	25,6	16,5	19,8	4,4	7,8	19,5	16,4	7,0	2,6
II	3	85	200	4250	5,1	12,4	8,8	2,7	1,6	5,0	12,0	8,7	1,8	1,3
II	4	101	400	2525	5,1	16,2	9,7	7,8	2,8	6,0	12,5	9,6	1,9	1,4
II	5	610	2800	2179	5,0	14,0	10,3	2,9	1,7	5,5	13,6	10,2	1,5	1,2
II	6	683	3200	2134	5,0	22,0	12,1	5,6	2,4	1,1	15,2	11,9	2,3	1,5
II	7	623	3100	2010	5,0	19,9	12,1	8,4	2,9	4,1	17,2	12,0	2,2	1,5
II	8-9	248	1310	1893	5,0	27,5	13,5	14,7	3,8	6,7	20,5	13,3	6,5	2,6
II	11-12	323	3630	890	3,4	28,7	12,2	15,7	3,9	7,0	21	14,2	5,4	2,3
II	18	57	1080	528	6,8	33,6	17,6	24,7	5,0	6,8	23,0	17,3	9,1	3,0
III	3	27	100	2700	5,4	12,4	6,9	4,7	2,2	3,5	9,5	6,8	1,8	1,3
III	4	86	200	4300	5,1	15,6	7,9	7,2	2,7	4,0	10,5	7,7	2,6	1,6
III	5	342	1380	2478	5,0	13,7	8,9	2,5	1,6	4,2	12,3	8,8	1,5	1,2
III	6	165	910	1813	5,0	15,0	9,8	4,3	2,1	6,0	13,0	9,7	2,2	1,5
III	7	533	2160	2468	5,0	16,7	9,6	3,6	1,9	0,9	13,2	9,4	1,3	1,1
III	8-9	54	200	2700	5,4	19,1	10,8	12,8	3,6	7,0	13,5	10,7	2,1	1,4
III	10	58	600	967	3,4	19,5	10,9	20,0	4,5	5,5	14,4	10,8	4,2	2,0
III	12-13	135	1110	1216	5,0	26,1	13,1	17,9	4,2	8,4	22,0	12,8	4,8	2,2

ANEXO 2 - ESTIMATIVAS DOS COEFICIENTES DOS MODELOS DE RELAÇÃO HIPSOMÉTRICA

TABELA 22 – ESTIMATIVAS DOS COEFICIENTES DOS MODELOS DE RELAÇÃO HIPSOMÉTRICA QUE MAIS SE DESTACARAM, PARA AS VÁRIAS COMBINAÇÕES DE SÍTIO, IDADE E DENSIDADE INICIAL DAS PARCELAS PERMANENTES

Sítio	Idade (anos)	Densidade (n° árv./ha)	Modelo 5			Modelo 6			Modelo 11			Modelo 10	
			Coeficientes										
			b_0	b_1	b_2	b_0	b_1	b_2	b_0	b_1	b_2	b_0	b_1
I	3,9	testemunha	17,4540	-46,7002	45,5629	0,3586	0,1331	0,0592	2,9819	-4,0516	2,8181	2,8254	-2,6242
I	3,9	2.000	13,1459	-11,7705	-37,1165	1,6132	-0,2283	0,0926	2,5180	0,1432	-8,3542	2,7660	-3,1275
I	3,9	4.000	13,8033	-6,4353	-51,5989	1,3147	-0,2218	0,0886	2,5447	0,8280	-9,3361	2,8416	-2,7458
I	3,9	8.000	16,7615	-43,2088	39,9699	0,4200	0,1164	0,0624	2,9055	-3,6416	2,1782	2,8041	-2,6235
I	4,8	testemunha	20,5347	-81,7177	137,6529	-0,4735	0,4354	0,0337	3,2047	-6,8615	10,7980	2,8848	-2,9822
I	4,8	2.000	15,0999	-27,9167	9,0639	0,5072	0,0641	0,0691	2,7148	-1,8354	-1,7015	2,7616	-2,4824
I	4,8	4.000	15,9150	-21,9486	-6,7564	0,6231	-0,0241	0,0694	2,7614	-1,1630	-3,1144	2,8455	-2,2734
I	4,8	8.000	16,0164	-25,6818	-26,6374	1,0085	-0,0379	0,0695	2,7188	-0,6299	-7,9037	2,8971	-3,0988
II	4,1	testemunha	11,7890	-17,1914	8,6238	0,2376	0,0823	0,0886	2,4925	-1,7194	0,1911	2,4783	-1,6033
II	4,1	2.000	12,0704	-14,9864	-0,4774	0,6666	-0,0411	0,0925	2,4914	-1,1881	-1,5103	2,5584	-1,9230
II	4,1	4.000	13,0809	-23,8094	11,4263	0,3837	0,1047	0,0781	2,5519	-1,6153	-1,4808	2,6156	-2,2934
II	4,1	8.000	12,3151	-19,4663	7,8554	0,4059	0,0565	0,0865	2,5225	-1,6909	-0,5971	2,5510	-1,9757
II	5,0	testemunha	12,3074	-16,6855	7,6127	0,1694	0,0921	0,0825	2,5141	-1,4380	-0,1337	2,5198	-1,4974
II	5,0	2.000	11,5592	2,2862	-65,2428	1,0671	-0,1395	0,0930	2,3944	1,1213	-9,7661	2,6309	-2,0851
II	5,0	4.000	13,7097	-24,9989	11,7767	0,4700	0,0644	0,0773	2,6319	-1,9913	-0,5396	2,6470	-2,1830
II	5,0	8.000	11,7163	-7,5397	-25,5859	0,5358	-0,0016	0,0881	2,4225	-0,0558	-4,9511	2,5512	-1,7328
II	6,3	testemunha	12,9399	-17,3008	0,1809	0,4455	0,0270	0,0822	2,5579	-1,2817	-1,4303	2,6053	-1,8434
II	6,3	2.000	13,5609	-14,7844	-38,6748	0,7757	0,0110	0,0766	2,5609	-0,1973	-8,3250	2,6907	-2,3408
II	6,3	4.000	14,8933	-34,8509	33,3830	0,2488	0,1536	0,0673	2,7107	-2,5376	0,4342	2,7021	-2,4092
II	6,3	8.000	12,8754	-9,7297	-38,2633	0,7235	-0,0181	0,0813	2,5289	-0,2680	-5,9951	2,6497	-2,0521

Continua...

TABELA 22 – Continuação

Sítio	Idade (anos)	Densidade (n° árv./ha)	Modelo 5			Modelo 6			Modelo 11			Modelo 10	
			Coeficientes										
			b_0	b_1	b_2	b_0	b_1	b_2	b_0	b_1	b_2	b_0	b_1
II	7,5	testemunha	16,7447	-55,2287	53,4134	1,5129	-0,0100	0,0707	2,8724	-4,1776	0,2342	2,8671	-4,1027
II	7,5	2.000	21,5257	-158,8275	611,7438	-3,5535	0,9481	0,0257	3,2312	-12,5583	48,4039	2,7110	-2,2857
II	7,5	4.000	15,8539	-14,5906	-188,1782	1,7077	-0,0009	0,0634	2,6628	1,5464	-29,6293	2,9424	-4,3507
II	7,5	8.000	18,0818	-71,2595	135,3793	-0,4129	0,3828	0,0473	2,9280	-4,8852	6,5710	2,8344	-3,2634
III	4,2	testemunha	10,7574	-14,4307	7,8182	0,0169	0,1762	0,0866	2,4305	-1,8035	0,7130	2,3215	-1,1772
III	4,2	2.000	11,6069	-39,5511	75,6509	-1,1494	0,6254	0,0676	2,5314	-4,9735	9,2454	2,2273	-1,3392
III	4,2	4.000	10,2346	-16,3055	9,2955	0,1708	0,1659	0,0964	2,3482	-1,9078	0,4341	2,3107	-1,6071
III	4,2	8.000	9,7139	-11,9268	5,0727	0,1692	0,1014	0,1057	2,3252	-1,6474	0,4199	2,2620	-1,2583
III	5,4	testemunha	12,0152	-15,2964	5,4274	0,2599	0,0465	0,0889	2,5019	-1,3975	-0,2297	2,5191	-1,5338
III	5,4	2.000	12,4227	-33,8008	38,5302	0,1169	0,2857	0,0763	2,5142	-2,7572	0,1226	2,5120	-2,7233
III	5,4	4.000	11,6982	-16,4898	7,4088	0,1960	0,1026	0,0866	2,4589	-1,4205	-0,4027	2,4741	-1,5897
III	5,4	8.000	11,2880	-14,9536	7,0082	0,1776	0,0926	0,0908	2,4369	-1,4679	0,0573	2,4335	-1,4380
III	6,3	testemunha	12,5878	-18,5509	6,9433	0,2549	0,0903	0,0810	2,5251	-1,3907	-0,8602	2,5664	-1,7927
III	6,3	2.000	12,5668	-28,7848	2,8439	1,1771	0,0598	0,0851	2,5246	-2,1294	-4,1209	2,5864	-3,1670
III	6,3	4.000	12,0332	-13,8239	-10,8618	0,6702	-0,0128	0,0895	2,4621	-0,7426	-3,4856	2,5619	-2,0054
III	6,3	8.000	11,7659	-18,0361	10,2321	0,2036	0,1098	0,0866	2,4580	-1,4718	-0,4542	2,4745	-1,6511
III	7,6	testemunha	18,6161	-85,9287	135,7762	0,2340	0,4700	0,0387	3,2297	-9,2963	13,6487	2,7693	-3,9798
III	7,6	2.000	17,6009	-107,9942	311,4961	-2,2060	0,8971	0,0334	2,9533	-8,8035	21,7155	2,7094	-4,1281
III	7,6	4.000	17,0617	-65,1497	80,0288	2,2151	-0,1187	0,0776	2,9402	-5,4510	3,2046	2,8639	-4,3977
III	7,6	8.000	18,7089	-93,6355	161,8168	-0,6887	0,8178	0,0147	3,2991	-10,5910	17,1486	2,7510	-4,2088

TABELA 23 – ESTIMATIVAS DOS COEFICIENTES DOS MODELOS DE RELAÇÃO HIPSOMÉTRICA QUE MAIS SE DESTACARAM, PARA AS VÁRIAS COMBINAÇÕES DE SÍTIO E IDADE DAS PARCELAS TEMPORÁRIAS

Sítio	Idade (anos)	Modelo 5			Modelo 6			Modelo 11			Modelo 10	
		Coeficientes										
		b_0	b_1	b_2	b_0	b_1	b_2	b_0	b_1	b_2	b_0	b_1
I	3	17,7285	-89,9874	215,0961	-0,8617	0,5576	0,0451	2,9435	-7,0156	13,9822	2,7597	-3,6539
I	4	12,6987	11,1415	-150,4429	2,0441	-0,3056	0,0911	2,4933	1,8648	-16,9585	2,7827	-2,7265
I	5	14,8021	-19,0865	-35,0923	0,8319	-0,0030	0,0715	2,6734	-0,8911	-6,0939	2,7730	-2,5152
I	6	18,3027	-54,7524	91,3389	-0,1245	0,2198	0,0521	2,9274	-3,5060	4,1892	2,8649	-2,4432
I	9	20,8606	-59,0664	35,7520	0,6814	0,0898	0,0495	3,0411	-2,9287	-2,5437	3,0665	-3,4577
I	10	19,6335	-17,1827	-249,0458	3,3568	-0,3064	0,0625	2,9305	0,7887	-28,6878	3,2149	-5,4868
II	3	10,2304	5,0373	-96,0622	1,8178	-0,2284	0,1069	2,2525	1,6669	-14,8533	2,5432	-2,5815
II	4	7,8286	52,6149	-278,5825	3,6854	-0,7167	0,1313	2,0266	6,2621	-32,4318	2,5217	-2,1070
II	5	15,4096	-48,6194	88,5946	-0,3015	0,3012	0,0604	2,7808	-4,1359	6,5837	2,6455	-2,2021
II	6	15,2708	-19,3910	-45,1909	0,9336	-0,0174	0,0699	2,7174	-0,9500	-6,9444	2,8296	-2,7763
II	7	15,4370	-27,3117	-8,6774	0,6259	0,0572	0,0672	2,7195	-1,4127	-4,5608	2,7857	-2,5607
II	8	17,5042	-29,1485	-87,1996	1,9892	-0,1320	0,0658	2,8294	-0,9269	-12,8417	2,9774	-3,8356
II	11 12	21,5947	-108,6594	268,0225	-0,8506	0,4320	0,0398	3,1693	-7,6400	17,7236	2,9478	-3,3881
II	18	18,9947	13,4993	-587,4021	4,5972	-0,3479	0,0606	2,9061	2,4755	-53,5252	3,2075	-6,2216
III	3	11,1899	-34,7534	11,4836	2,8078	-0,0335	0,1028	2,2537	-0,1532	-18,1553	2,5526	-4,9653
III	4	7,0290	43,6012	-261,8727	5,9949	-1,1126	0,1642	1,8552	7,0929	-39,9891	2,5182	-3,6728
III	5	14,2253	-49,4521	91,0836	-0,3505	0,3794	0,0638	2,6817	-4,2023	5,5317	2,5625	-2,5424
III	6	9,7905	24,1949	-172,5747	2,3050	-0,3736	0,1095	2,2180	3,3889	-21,4121	2,5893	-2,4195
III	7	15,3270	-60,5779	136,7027	-0,8660	0,4747	0,0554	2,8107	-5,7298	12,1861	2,5731	-2,2370
III	8	11,2402	15,2738	-198,6922	3,1115	-0,3833	0,0996	2,3831	2,2050	-23,1574	2,6341	-2,9198
III	10	14,2794	-34,3404	24,9361	0,4384	0,1592	0,0700	2,6487	-2,3400	-1,4448	2,6762	-2,7975
III	12 13	16,2136	-33,4090	-14,3783	0,9372	0,0457	0,0645	2,7600	-1,6747	-5,6775	2,8172	-2,8848

TABELA 24 – ESTIMATIVAS DOS COEFICIENTES DOS MODELOS GENÉRICOS DE RELAÇÃO DE HIPSOMÉTRICA, PARA AS PARCELAS TEMPORÁRIAS E TEMPORÁRIAS EM CONJUNTO COM AS TESTEMUNHAS DAS PERMANENTES

Modelos Genéricos	Parcelas temporárias					Parcelas temporárias + testemunhas das permanentes				
	Coeficientes									
	b_0	b_1	b_2	b_3	b_4	b_0	b_1	b_2	b_3	b_4
13	3,1423	-4,0668	-2,0961	5,5226		3,2178	-4,7585	-3,0879	13,4776	
14	0,0864	0,5096	0,0551	-0,0225		-0,2502	0,5742	0,0520	-0,0213	
15	1,7805	0,0609	-0,2068	-2,5871	-0,6423	1,6652	0,0660	-0,2304	-1,3390	-0,4650
16	2,0553	0,0520	-2,1751	-0,0022	-1,1962	1,9447	0,0559	-1,8499	-0,0086	1,8544
17	2,5094	0,0428	0,0000	-1,6327	-2,7306	2,3424	0,0444	0,0000	-2,1781	-1,6454
18	0,7579	0,6958	1,5509	-0,0061	-14,2908	-0,3890	0,8040	0,2633	0,0845	-5,2188
19	5,4146	0,1933	-0,0322	0,0612		4,7617	0,3215	-0,0372	0,0610	
Genéricos obtidos por Stepwise	b_0	b_1	b_2	b_3	b_4	b_0	b_1	b_2	b_3	b_4
20	1,7555	0,0609	-0,2723	-3,0342	0,0000					
21	-2,0166	0,0416	-0,0178	-1,8582	4,0613					
22						0,3107	0,1030	0,7610	-0,2051	-1,5585
23						7,8735	0,0695	-0,0299	-5,6264	-0,1349

ANEXO 3 – ESTATÍSTICAS DE AJUSTE PARA AS PARCELAS PERMANENTES

TABELA 25 - ESTATÍSTICAS DE AJUSTE PARA OS DIVERSOS MODELOS DE RELAÇÃO HIPSOMÉTRICA TESTADOS PARA AS IDADES 3,9 E 4,8 ANOS PARA OS 4 TRATAMENTOS DE DENSIDADE INICIAL NO SÍTIO I

Equação	3,9 (anos)								4,1 (anos)							
	Testemunha		2.000 árv./ha		4.000 árv./ha		8.000 árv./ha		Testemunha		2.000 árv./ha		4.000 árv./ha		8.000 árv./ha	
	I.A.	S _{yx} %	I.A.	S _{yx} %	I.A.	S _{yx} %	I.A.	S _{yx} %	I.A.	S _{yx} %	I.A.	S _{yx} %	I.A.	S _{yx} %	I.A.	S _{yx} %
1	0,924	6,106	0,608	9,365	0,665	8,235	0,861	6,172	0,561	11,212	0,522	8,670	0,493	8,619	0,720	6,997
2	0,768	10,671	0,335	12,201	0,432	10,722	0,685	9,296	0,530	11,600	0,333	10,246	0,289	10,202	0,608	8,281
3	0,934	5,674	0,694	8,273	0,734	7,332	0,874	5,868	0,564	11,177	0,530	8,599	0,580	7,847	0,732	6,852
4	0,901	6,973	0,693	8,293	0,746	7,166	0,835	6,714	0,518	11,750	0,555	8,365	0,544	8,170	0,743	6,711
5	0,933	5,728	0,696	8,256	0,762	6,948	0,872	5,918	0,567	11,134	0,544	8,470	0,538	8,230	0,740	6,744
6	0,930	5,876	0,705	8,131	0,765	6,900	0,870	5,964	0,556	11,196	0,544	8,471	0,540	8,148	0,735	6,761
7	0,898	7,083	0,521	10,355	0,598	9,025	0,827	6,843	0,559	11,165	0,484	9,012	0,441	8,986	0,695	7,259
8	0,663	12,856	0,255	12,916	0,372	11,276	0,595	10,485	0,493	11,966	0,291	10,559	0,239	10,482	0,566	8,657
9	0,932	5,773	0,661	8,708	0,697	7,827	0,864	6,070	0,562	11,126	0,511	8,766	0,568	7,893	0,720	6,955
10	0,927	5,962	0,655	8,786	0,704	7,736	0,867	5,997	0,542	11,381	0,552	8,398	0,524	8,287	0,731	6,813
11	0,927	5,995	0,699	8,210	0,764	6,914	0,866	6,037	0,558	11,171	0,544	8,473	0,531	8,227	0,736	6,754
12	0,870	7,966	0,469	10,906	0,548	9,562	0,791	7,537	0,554	11,224	0,430	9,473	0,383	9,436	0,672	7,576

Legenda: IA – índice de Ajuste de Schlaegel, S_{yx}% - erro padrão da estimativa em percentual.

TABELA 26 – ESTATÍSTICAS DE AJUSTE PARA OS DIVERSOS MODELOS DE RELAÇÃO HIPSOMÉTRICA TESTADOS PARA AS IDADES 4,1 E 5,0 ANOS, PARA OS 4 TRATAMENTOS DE DENSIDADE INICIAL NO SÍTIO II

Equação	4,1 (anos)								5,0 (anos)							
	Testemunha		2.000 árv./ha		4.000 árv./ha		8.000 árv./ha		Testemunha		2.000 árv./ha		4.000 árv./ha		8.000 árv./ha	
	I.A.	S _{yx} %	I.A.	S _{yx} %	I.A.	S _{yx} %	I.A.	S _{yx} %	I.A.	S _{yx} %	I.A.	S _{yx} %	I.A.	S _{yx} %	I.A.	S _{yx} %
1	0,764	8,769	0,439	7,114	0,690	8,958	0,708	8,657	0,462	9,730	0,427	6,349	0,722	6,089	0,478	7,384
2	0,517	12,545	0,218	8,395	0,530	11,036	0,512	11,200	0,329	10,864	0,249	7,266	0,561	7,650	0,353	8,221
3	0,776	8,547	0,498	6,725	0,688	8,984	0,712	8,598	0,484	9,533	0,461	6,156	0,736	5,938	0,492	7,289
4	0,780	8,471	0,511	6,638	0,703	8,769	0,732	8,300	0,477	9,593	0,503	5,910	0,744	5,848	0,511	7,153
5	0,789	8,288	0,507	6,666	0,705	8,739	0,733	8,282	0,477	9,594	0,534	5,726	0,743	5,854	0,513	7,133
6	0,789	8,274	0,513	6,596	0,704	8,756	0,755	8,267	0,475	9,592	0,527	7,389	0,745	5,836	0,509	7,163
7	0,723	9,481	0,378	7,456	0,657	9,422	0,674	9,149	0,445	9,862	0,393	8,366	0,700	6,323	0,464	7,483
8	0,434	13,558	0,180	8,564	0,476	11,650	0,443	11,962	0,298	11,086	0,222	9,475	0,522	7,980	0,331	8,361
9	0,754	8,947	0,460	6,949	0,669	9,253	0,691	8,917	0,479	9,558	0,435	8,073	0,726	6,048	0,485	7,335
10	0,788	8,295	0,491	6,746	0,703	8,766	0,731	8,311	0,477	9,576	0,474	7,789	0,743	5,852	0,503	7,209
11	0,787	8,321	0,504	6,657	0,705	8,746	0,732	8,292	0,474	9,595	0,528	7,377	0,743	5,859	0,511	7,152
12	0,656	10,571	0,312	7,846	0,620	9,922	0,623	9,839	0,402	10,236	0,336	8,754	0,653	6,806	0,422	7,770

Legenda: I.A. – índice de Ajuste de Schlaegel, S_{yx}% - erro padrão da estimativa em percentual.

TABELA 27 - ESTATÍSTICAS DE AJUSTE PARA OS DIVERSOS MODELOS DE RELAÇÃO HIPSOMÉTRICA TESTADOS PARA AS IDADES 6,3 E 7,5 ANOS, PARA OS 4 TRATAMENTOS DE DENSIDADE INICIAL NO SÍTIO II

Equação	6,3 (anos)								7,5 (anos)							
	Testemunha		2.000 árv./ha		4.000 árv./ha		8.000 árv./ha		Testemunha		2.000 árv./ha		4.000 árv./ha		8.000 árv./ha	
	I.A.	S _{yx} %	I.A.	S _{yx} %	I.A.	S _{yx} %	I.A.	S _{yx} %	I.A.	S _{yx} %	I.A.	S _{yx} %	I.A.	S _{yx} %	I.A.	S _{yx} %
1	0,602	8,061	0,374	7,186	0,571	6,851	0,511	7,169	0,566	13,836	0,191	10,688	0,337	11,548	0,453	9,515
2	0,416	9,765	0,280	7,703	0,470	7,616	0,397	7,964	0,438	15,753	0,223	10,472	0,309	11,788	0,429	9,720
3	0,624	7,837	0,405	7,004	0,569	6,865	0,520	7,105	0,569	13,794	0,197	10,647	0,323	11,671	0,441	9,616
4	0,643	7,640	0,391	7,087	0,576	6,812	0,538	6,967	0,574	13,708	0,162	10,876	0,343	11,493	0,439	9,636
5	0,641	7,661	0,394	7,067	0,576	6,808	0,539	6,961	0,572	13,744	0,198	10,643	0,334	11,574	0,439	9,633
6	0,643	7,635	0,389	7,094	0,576	6,808	0,538	6,972	0,574	13,714	0,200	10,627	0,330	11,606	0,442	9,606
7	0,575	8,330	0,363	7,246	0,560	6,942	0,498	7,263	0,534	14,348	0,196	10,652	0,332	11,593	0,453	9,513
8	0,384	10,030	0,259	7,817	0,447	7,781	0,374	8,110	0,375	16,607	0,222	10,478	0,299	11,876	0,418	9,812
9	0,610	7,984	0,406	6,999	0,563	6,918	0,513	7,155	0,556	14,007	0,194	10,668	0,318	11,711	0,438	9,647
10	0,637	7,700	0,389	7,094	0,579	6,784	0,532	7,012	0,577	13,662	0,167	10,841	0,340	11,524	0,446	9,576
11	0,641	7,657	0,389	7,097	0,576	6,810	0,538	6,965	0,570	13,782	0,167	10,841	0,331	11,601	0,441	9,620
12	0,514	8,912	0,334	7,409	0,530	7,175	0,461	7,527	0,512	14,674	0,213	10,540	0,326	11,647	0,448	9,554

Legenda: I.A. – índice de Ajuste de Schlaegel, S_{yx}% - erro padrão da estimativa em percentual.

TABELA 28 - ESTATÍSTICAS DE AJUSTE PARA OS DIVERSOS MODELOS DE RELAÇÃO HIPSOMÉTRICA TESTADOS PARA AS IDADES 4,2 E 5,4 ANOS PARA OS 4 TRATAMENTOS DE DENSIDADE INICIAL NO SÍTIO III

Equação	4,2 (anos)								5,4 (anos)							
	Testemunha		2.000 árv./ha		4.000 árv./ha		8.000 árv./ha		Testemunha		2.000 árv./ha		4.000 árv./ha		8.000 árv./ha	
	I.A.	S _{yx} %	I.A.	S _{yx} %	I.A.	S _{yx} %	I.A.	S _{yx} %	I.A.	S _{yx} %	I.A.	S _{yx} %	I.A.	S _{yx} %	I.A.	S _{yx} %
1	0,758	9,216	0,247	9,900	0,499	11,885	0,520	11,065	0,752	7,327	0,386	8,791	0,527	7,877	0,594	7,365
2	0,545	12,623	0,268	9,762	0,344	13,602	0,339	12,981	0,507	10,340	0,361	8,970	0,383	9,000	0,460	8,493
3	0,761	9,161	0,265	9,783	0,518	11,661	0,513	11,151	0,764	7,158	0,375	8,866	0,549	7,692	0,592	7,378
4	0,714	10,016	0,195	10,236	0,485	12,059	0,501	11,281	0,782	6,869	0,384	8,804	0,544	7,733	0,606	7,252
5	0,764	9,092	0,271	9,740	0,508	11,784	0,539	10,849	0,785	6,824	0,379	8,841	0,543	7,743	0,608	7,228
6	0,733	9,671	0,272	9,709	0,508	11,781	0,937	10,869	0,787	6,791	0,379	8,838	0,544	7,741	0,609	7,227
7	0,733	9,671	0,256	9,815	0,471	12,219	0,482	11,498	0,712	7,904	0,384	8,806	0,511	8,013	0,576	7,521
8	0,445	13,944	0,262	9,779	0,301	14,040	0,285	13,503	0,436	11,061	0,354	9,015	0,352	9,223	0,432	8,703
9	0,746	9,441	0,265	9,759	0,512	11,733	0,481	11,509	0,739	7,523	0,372	8,892	0,546	7,725	0,580	7,488
10	0,753	9,314	0,209	10,123	0,509	11,768	0,536	10,876	0,783	6,856	0,386	8,793	0,546	7,723	0,609	7,221
11	0,764	9,099	0,272	9,709	0,508	11,783	0,533	10,914	0,784	6,839	0,379	8,840	0,543	7,744	0,608	7,233
12	0,679	10,605	0,271	9,714	0,429	12,695	0,436	11,997	0,644	8,788	0,377	8,853	0,465	8,383	0,535	7,881

Legenda: I.A. - índice de Ajuste de Schlaegel, S_{yx}% - erro padrão da estimativa em percentual.

TABELA 29 - ESTATÍSTICAS DE AJUSTE PARA OS DIVERSOS MODELOS DE RELAÇÃO HIPSOMÉTRICA TESTADOS PARA AS IDADES 6,3 E 7,6 ANOS PARA OS 4 TRATAMENTOS DE DENSIDADE INICIAL NO SÍTIO III

Equação	6,3 (anos)								7,5 (anos)							
	Testemunha		2.000 árv./ha		4.000 árv./ha		8.000 árv./ha		Testemunha		2.000 árv./ha		4.000 árv./ha		8.000 árv./ha	
	I.A.	S _{yx} %	I.A.	S _{yx} %	I.A.	S _{yx} %	I.A.	S _{yx} %	I.A.	S _{yx} %	I.A.	S _{yx} %	I.A.	S _{yx} %	I.A.	S _{yx} %
1	0,723	6,588	0,396	8,822	0,566	7,127	0,492	7,333	0,635	15,800	0,350	9,450	0,727	8,635	0,684	12,405
2	0,527	8,603	0,333	9,270	0,395	8,419	0,403	7,948	0,561	17,319	0,355	9,416	0,573	10,802	0,675	12,587
3	0,722	6,601	0,395	8,830	0,606	6,790	0,502	7,262	0,646	15,548	0,347	9,470	0,744	8,362	0,702	12,055
4	0,744	6,335	0,406	8,751	0,613	6,735	0,500	7,273	0,564	17,262	0,335	9,558	0,719	8,756	0,609	13,803
5	0,745	6,319	0,399	8,801	0,612	6,742	0,500	7,278	0,653	15,403	0,340	9,526	0,741	8,410	0,709	11,911
6	0,744	6,328	0,399	8,798	0,614	6,727	0,500	7,277	0,642	15,647	0,381	9,538	0,743	8,339	0,701	12,059
7	0,695	6,913	0,387	8,886	0,540	7,341	0,483	7,398	0,636	15,763	0,355	9,470	0,681	9,294	0,701	12,066
8	0,474	9,074	0,318	9,376	0,367	8,610	0,383	8,085	0,435	19,640	0,353	9,483	0,497	11,668	0,617	13,664
9	0,704	6,811	0,391	8,857	0,595	6,889	0,500	7,275	0,652	15,428	0,348	9,518	0,729	8,562	0,707	11,949
10	0,744	6,330	0,404	8,761	0,602	6,824	0,501	7,266	0,620	16,119	0,343	9,558	0,738	8,428	0,668	12,723
11	0,745	6,321	0,399	8,800	0,613	6,735	0,500	7,279	0,646	15,559	0,343	9,557	0,730	8,550	0,709	11,910
12	0,639	7,520	0,369	9,013	0,483	7,780	0,456	7,586	0,627	15,964	0,358	9,450	0,662	9,613	0,701	12,075

Legenda: I.A. - índice de Ajuste de Schlaegel, S_{yx}% - erro padrão da estimativa em percentual.

ANEXO 4 – ESTATÍSTICAS DE AJUSTE PARA AS PARCELAS TEMPORÁRIAS

TABELA 30 - ESTATÍSTICAS DE AJUSTE PARA OS DIVERSOS MODELOS DE RELAÇÃO HIPSOMÉTRICA TESTADOS PARA AS IDADES 3 A 6, 9 A 11 ANOS , SÍTIO I

Equação	Idades (anos)											
	3		4		5		6		9		10-11	
	I.A.	S _{yx} %	I.A.	S _{yx} %	I.A.	S _{yx} %	I.A.	S _{yx} %	I.A.	S _{yx} %	I.A.	S _{yx} %
1	0,603	9,228	0,601	6,789	0,380	11,426	0,681	5,429	0,427	9,743	0,678	9,059
2	0,564	9,674	0,478	7,763	0,258	12,494	0,617	5,949	0,282	10,913	0,362	12,756
3	0,590	9,374	0,656	6,304	0,389	11,339	0,679	5,442	0,424	9,776	0,727	8,348
4	0,573	9,573	0,642	6,429	0,401	11,229	0,675	5,479	0,445	9,597	0,782	7,454
5	0,587	9,413	0,652	6,341	0,400	11,234	0,679	5,447	0,441	9,623	0,798	7,180
6	0,591	9,375	0,657	6,298	0,401	11,220	0,679	5,445	0,442	9,620	0,805	7,058
7	0,607	9,201	0,580	6,964	0,366	12,756	0,678	5,458	0,411	9,880	0,572	10,445
8	0,541	9,972	0,454	7,948	0,226	11,546	0,595	6,118	0,242	11,206	0,270	13,640
9	0,590	9,395	0,652	6,345	0,382	11,400	0,679	5,447	0,414	9,859	0,659	9,326
10	0,591	9,402	0,638	6,550	0,397	11,259	0,679	5,445	0,444	9,602	0,730	8,298
11	0,590	9,392	0,658	6,324	0,401	11,226	0,679	5,446	0,441	9,623	0,803	7,086
12	0,599	9,277	0,543	7,265	0,330	11,874	0,661	5,595	0,368	10,235	0,516	11,105

Legenda: I.A. – índice de Ajuste de Schlaegel, S_{yx}% - erro padrão da estimativa em percentual.

TABELA 31 - ESTATÍSTICAS DE AJUSTE PARA OS DIVERSOS MODELOS DE RELAÇÃO HIPSOMÉTRICA TESTADOS PARA AS IDADES 3 A 9, 11, 12 E 18 ANOS, SÍTIO II

Equação	Idades (anos)															
	3		4		5		6		7		8-9		11-12		18	
	I.A.	S _{yx} %	I.A.	S _{yx} %	I.A.	S _{yx} %	I.A.	S _{yx} %	I.A.	S _{yx} %	I.A.	S _{yx} %	I.A.	S _{yx} %	I.A.	S _{yx} %
1	0,225	13,400	0,203	12,746	0,358	9,436	0,444	9,234	0,474	8,856	0,399	14,652	0,435	10,798	0,228	15,012
2	0,179	13,796	0,095	13,584	0,328	9,656	0,321	10,211	0,357	9,791	0,246	16,420	0,326	11,795	0,095	16,257
3	0,239	13,280	0,329	11,703	0,357	9,441	0,459	9,116	0,482	8,790	0,412	14,495	0,448	10,680	0,254	14,759
4	0,236	13,302	0,254	12,338	0,353	9,475	0,465	9,059	0,491	8,710	0,435	14,214	0,389	11,235	0,285	14,445
5	0,231	13,347	0,322	11,756	0,357	9,439	0,466	9,054	0,491	8,717	0,435	14,213	0,467	10,495	0,295	14,351
6	0,231	13,349	0,328	11,708	0,357	9,439	0,466	9,050	0,491	8,712	0,440	14,144	0,444	12,136	0,294	14,362
7	0,219	13,455	0,189	12,865	0,357	9,439	0,427	9,377	0,462	8,958	0,374	14,953	0,428	12,307	0,176	15,508
8	0,165	13,912	0,085	13,664	0,314	9,750	0,265	10,623	0,328	10,008	0,204	16,860	0,269	13,915	0,061	16,556
9	0,240	13,272	0,324	11,741	0,357	9,439	0,451	9,182	0,476	8,839	0,398	14,661	0,447	12,108	0,220	15,095
10	0,233	13,331	0,241	12,446	0,355	9,451	0,459	9,111	0,489	8,729	0,426	14,320	0,421	12,387	0,250	14,803
11	0,231	13,350	0,326	11,731	0,357	9,438	0,465	9,064	0,491	8,716	0,437	14,186	0,453	12,042	0,294	14,357
12	0,206	13,568	0,147	13,192	0,350	9,489	0,396	9,631	0,427	9,244	0,330	15,472	0,401	12,595	0,156	15,696

Legenda: I.A. - índice de Ajuste de Schlaegel, S_{yx}% - erro padrão da estimativa em percentual.

TABELA 32 - ESTATÍSTICAS DE AJUSTE PARA OS DIVERSOS MODELOS DE RELAÇÃO HIPSOMÉTRICA TESTADOS PARA AS IDADES 3 A 10, 12 E 13 ANOS, SÍTIO III

Equação	Idades (anos)															
	3		4		5		6		7		8-9		10		12-13	
	I.A.	S _{yx} %	I.A.	S _{yx} %	I.A.	S _{yx} %	I.A.	S _{yx} %	I.A.	S _{yx} %	I.A.	S _{yx} %	I.A.	S _{yx} %	I.A.	S _{yx} %
1	0,616	11,995	0,371	16,185	0,316	11,440	0,210	13,491	0,382	9,366	0,340	10,884	0,604	11,786	0,261	14,412
2	0,557	12,879	0,226	17,953	0,289	11,661	0,149	14,009	0,350	9,604	0,207	11,934	0,438	14,034	0,164	15,324
3	0,612	12,056	0,457	15,038	0,314	11,451	0,240	13,235	0,384	9,352	0,381	10,541	0,584	12,074	0,282	14,202
4	0,622	11,902	0,422	15,513	0,310	11,485	0,231	13,317	0,365	9,498	0,394	10,428	0,617	11,588	0,281	14,217
5	0,606	12,147	0,464	14,935	0,314	11,453	0,242	13,219	0,384	9,356	0,414	10,262	0,613	11,654	0,275	14,270
6	0,606	12,150	0,469	14,859	0,314	11,454	0,240	13,236	0,384	9,347	0,418	10,225	0,612	11,660	0,276	14,257
7	0,600	12,253	0,337	16,595	0,314	11,449	0,202	13,570	0,384	9,349	0,319	11,057	0,579	12,151	0,251	14,506
8	0,514	13,504	0,186	18,392	0,273	11,794	0,136	14,117	0,324	9,795	0,190	12,066	0,401	14,489	0,150	15,453
9	0,615	12,021	0,446	15,181	0,314	11,451	0,238	13,257	0,384	9,347	0,368	10,654	0,563	12,371	0,280	14,219
10	0,617	11,978	0,399	15,802	0,313	11,459	0,225	13,373	0,371	9,446	0,379	10,562	0,619	11,551	0,279	14,235
11	0,602	12,210	0,468	14,875	0,314	11,456	0,241	13,231	0,383	9,352	0,416	10,244	0,613	11,653	0,275	14,266
12	0,594	12,335	0,302	17,030	0,309	11,491	0,182	13,736	0,380	9,374	0,272	11,435	0,529	12,849	0,216	14,835

Legenda: I.A. - índice de Ajuste de Schlaegel, S_{yx}% - erro padrão da estimativa em percentual.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AHMED, G.U. Height, diameter and age relationships of *Tectona grandis* L, *Syzygium grande* Sheele and *Dipterocarpus turbinatus* Gaertn. **Chittagong University Studies Part II: Science**. Chittagong, v. 16, n. 2, p. 7-10, 1992.
- AVERY, T.E. & BURKHART, H.E. **Forest measurements**. 3 ed. New York: McGraw-Hill, 1983. 331 p.
- AZEVEDO, C.P.; MUROYA, K.; GARCIA, L.C.; LIMA, R.M.B.; MOURA, J.B.; NEVES, E.J.M. Relação hipsométrica para quatro espécies florestais em plantio homogêneo e em diferentes idades na Amazônia ocidental. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Colombo, n. 39, p. 5-29, 1999.
- BERMEGUI, F.A.S. **Relações hipsométricas e relação entre altura total e altura comercial, na Floresta tropical do Centro Florestal Herrera, Iquitos – Peru**. Curitiba, 1980. 70 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais). Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.
- BAGGIO, A.J. **Estudio sobre el sistema agroforestal tradicional de la bracatinga (*Mimosa scabrella* Benth.) en Brasil: productividad, manejo de residuos y elaboracion de compost**. Madrid, 1994. 242 p. Tese (Doutorado em Ingenieria de Montes). Departamento de silvopascicultura, Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes.
- BLANCO-JORGE, L. A. Equação de relação hipsométrica para povoamentos de *Pinus elliottii* Elgelm na Floresta Nacional de Três Barras, SC. **Brasil Florestal**, Brasília, DF, n. 56, p. 41-47, 1984.
- BRACK, C. **Overview of Forest Measurement and Modelling**. Disponível em: <<http://www.anu.edu.au/Forestry/mensuration/index.htm>>. Acesso em 15 jan. 1999.
- BRANDI, R.M; COUTO, L; NETO, F.P. Influência do espaçamento na sobrevivência, frequência por classe de diâmetro e relação hipsométrica altura-diâmetro do *Eucalyptus urophylla*. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 24, n. 136, p. 617-627, 1977.
- BRUCE, D. & SCHUMACHER, F.X. **Forest mensuration**. New York: McGraw-Hill, 1950. 483 p.
- BRUCHWALD, A.; RYMER-DUDZINSKA, T. Investigations on the relationship between the height and breast height diameter of pine trees according to various variables of the stand in the site classes. In: ANNALS OF WARSAW AGRICULTURAL UNIVERSITY - SGGW-AR, Forestry and Wood Technology, Warsaw, n. 39, p.13-18, 1990.

- BURGER, D. **Ordenamento Florestal I: a Produção Florestal**. 4 ed. Curitiba: FUPEF, 1980. 124 p.
- BUFORD, M.A. Height-diameter relationships at age 15 in loblolly pine seed sources. **Forest Science**, Washington, 32(3): 812-818, 1986.
- BURK, T.E. & BURKHART, H.E. Diameter distributions and yields of natural stands of loblolly pine, School of Forestry and Wildlife Resources, Virginia Polytechnic Institute and State University, Blacksburg. **Publ. FWS**, 1(84), 1984.
- BURKHART, H.E. & STRUB, M.S. A model for simulation of planted loblolly pine stands. *In: IUFRO GROWTH MODELS FOR TREE AND STANDS SIMULATION*. Estocolmo. p. 126-135, 1974.
- CAILLIEZ, F. & ALDER, D. Forest volume estimation and yield prediction-volume estimation. Roma, FAO, 1980. v. 1, 98 p. (**FAO Forestry Paper**, n. 22/1).
- CARDOSO, D.J. **Avaliação da influência dos fatores sítio, idade, densidade e posição sociológica na relação hipsométrica para *Pinus taeda* nas regiões central e sudoeste do Estado do Paraná**. Curitiba, 1989. 106 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais). Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.
- CHAPMAN, H.H. & MEYER, W.H. **Forest mensuration**. New York: McGraw-Hill, 1949. 522 p.
- CHARNET, R.; De LUNA-FREIRE, C.A.; CHARNET, E.M.R.; BONVINO, H. **Análise de modelos de regressão linear com aplicações**. Campinas - São Paulo, Universidade de Campinas (UNICAMP), 1999. 356 p. (livro-texto).
- CLUTTER, J.L.; FORSTON, J.C.; PIENNAR, L.V.; BRISTER, G.H.; BAILEY, R.L. **Timber management: a quantitative approach**. New York: John Wiley & Sons, 1983. 33 p.
- CURTIS, R. O. Height diameter and height diameter age equations for second growth Douglas-fir. **Forest Science**, Washington, v. 13, n. 4, p. 365-375, 1967.
- CRECHI, E.H. **Efeitos da densidade da plantação sobre a produção, crescimento e sobrevivência de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze. em Misiones, Argentina**. Curitiba, 1996. 172 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais). Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.
- CRONQUIST, A. **The evolution and classification of flowering plants**. 2 ed. New York: The New York Botanical Garden, 1988, 555 p.
- DOLPH, K.L.; MORI, S. R.; OLIVER, W.W. **Height-diameter relationships for conifer specie on the Blacks Mountain Experimental Forest**. Albany, CA: Pacific Southwest Research Station, Forest Service, U.S. Department of Agriculture, 1995. 5 p. (Res. Note PSW-RN-418).

- DRAPER, N. & SMITH, H. **Applied regression analysis**. New York: John Wiley & Sons, 1966. 497 p.
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Florestas (Curitiba, PR). **Manual técnico da bracatinga (*Mimosa scabrella* Benth)**. Curitiba: EMBRAPA-CNPQ, 1988. 70 p. (Série Documentos, n. 20).
- FIGUEIREDO-FILHO, A. **Estudos de modelos matemáticos para estimar o volume por unidade de área em uma floresta tropical úmida na Amazônia Brasileira**. Curitiba, 1983. 150 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais). Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.
- FINGER, C.A.G. **Fundamentos de Biometria Florestal**. Santa Maria, Universidade Federal de Santa Maria CEPEF-FATEC, 1992. 269 p.
- FREESE, F. Linear regression methods for forest research. **U.S. Forest Service Research Notes FPL-17**, 136 p. 1964.
- FREESE, F. **Métodos Estadísticos elementares para técnicos forestales**. Buenos Aires Centro Regional de Ayuda técnica. Agencia para el desarrollo internacional (AID) Mexico, 1970. 105 p (Manual da Agricultura nº 317).
- HAMMER, G.L. Site classification and tree diameter-height-age relationships for cypress pine in the Top End of the Northern Territory. **Australian Forestry**. Canberra, v. 44, n. 1, p. 35-41, 1981.
- HOSOKAWA, R.T. **Manejo e Economia de Floresta**. Roma, FAO. 1986. 125 p.
- HUSCH, B., MILLER, C.I., BEERS, T. W. **Forest Mensuration**. 3 ed. New York: John Wiley & Sons, 1982. 401 p.
- IAPAR. **Cartas climáticas do Estado do Paraná: 1994**. Londrina: IAPAR, 1994.
- KOZAK, A. A simple method to test parallelism and coincidence for curvilinear regressions. In: IUFRO, 3rd CONFERENCE ADVISORY GROUP OF FOREST STATISTICIANS, Jouy-en-Josas (France). **Procedures...** Paris: Inst. Nat. Rech. Agr. Sect. 25, 1972, p. 133-145.
- KRUMLAND, B.E. & WENSEL, L.C. A generalized height-diameter equation for coastal California species. **West. J. Appl. For.** Califórnia, v. 3, n. 4, p. 113-115. 1988.
- LAURENT, J.M.E. **Sistema agroflorestal da bracatinga na região metropolitana de Curitiba: contexto socio-econômico**. Curitiba: PDFI/FAO, 1990. 45 p.
- LENHART, J.D. Estimating the amount of wood per acre in Loblolly and Slash Pine plantations in east Texas. General Technical Report. SE. USDA, 1986. p. 485-488. (Forest Service, 42).
- LOETSCH, F.; ZÖHRER, F.; HALLER, K.E. **Forest inventory**. Munchen: BLV, Verlagsgesellschaft. v.2, 1973. 469 p.

- MAACK, R. **Geografia física do Estado do Paraná**. 2 ed. Rio de Janeiro: J. Olympio; Curitiba: Secretaria de Cultura e do Esporte do Governo do Estado do Paraná, 1981. 450 p.
- MACHADO, S.A., BASSO, S.F., BEVILACQUA JR, V.G. Teste de modelos matemáticos para o ajuste da relação hipsométrica em diferentes sítios e idades para plantações de *Pinus elliottii* no Estado do Paraná. In: 1º CONGRESSO FLORESTAL PANAMERICANO, 7º CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, Curitiba. **Anais...** São Paulo: Sociedade Brasileira de Silvicultura, v 2, p. 553-556, 1993.
- MACHADO, S.A., BAYLEY, R.L.; BASSO, S.F., BEVILACQUA JR, V.G. Análise do comportamento da relação hipsométrica com respeito à idade para plantações de *Pinus elliotti* no Estado do Paraná. **Cerne**, Lavras, v.1, n. 1, p. 5-12, 1994.
- MACHADO, S.A.; OLIVEIRA, E.B. de; CARPANEZZI, A.A.; BARTOSZECK, A.C.P.S. Classificação de sítio para bracatingais na região metropolitana de Curitiba. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Colombo, n. 35, p. 21-37. 1997.
- MYERS, C.A. Height-diameter curves for tree species subject to stagnation. **U.S. Forest Service Research Note**. RM-69, 1966. 2 p.
- NOWAK, D.J. Height-diameter relations of maple street trees. **Journal of Arboriculture**, Savoy, v. 16, n. 9, p. 231-235, 1990.
- OLIVEIRA, Y.M.M.; OLIVEIRA, E.B. & HAFLEY, W.L. Classificação de sítio para povoamento de *Pinus taeda* no sul do Brasil. In: 6º CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, Campos do Jordão. **Anais...** p. 357-361. 1990.
- OMULE, S. A. Y.; MCDONALD, R. N. Simultaneous curve fitting for repeated height-diameter measurements, **Canadian Journal of Forestry Research**, Ottawa, v. 21, n. 9, p. 1418-22, 1991.
- PARRESOL, B.R. Baldcypress height-diameter equations and their prediction confidence intervals. **Canadian Journal of Forestry Research**, Ottawa, v. 22, n. 1, p. 1429-34, 1992.
- PIZATTO, W. **Avaliação biométrica da estrutura e da dinâmica de uma Floresta Ombrófila Mista, em São João do Triunfo – PR**. Curitiba, 1999. 172p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais). Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.
- PRODAN, M. **Holzmesslehre**. J.D. Sauerländers Verlag, Frankfurt Am. Main. 1965. 644 p.
- PRODAN, M; PETERS, R.; COX, R.; REAL, P. **Mensura Forestal**. Serie Investigación y Educación en Desarrollo Sostenible. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura(IICA). San José, Costa Rica. 1997. 586 p.
- ROCHADELLI, R. **Contribuição sócio-econômica da bracatinga (*Mimosa scabrella* Bentham) na região metropolitana de Curitiba-Norte. (RMC-N)**. Curitiba, 1997. 83 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais). Curso de Pós-

Graduação em Engenharia Florestal, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

SCOLFORO, J.R. **Mensuração Florestal 3: Relações quantitativas: em volume, peso e a relação hipsométrica**. Lavras: UFLA/ FAEPE, 1993. 292 p.

SCOLFORO, J.R.; MACHADO, S.A.; Curvas de índice de sítio para plantações de *Pinus taeda* nos estados do Paraná e Santa Catarina. **Revista Floresta**, Curitiba, v. 18, n. 12, p. 159-173, 1988.

SCHIMDT, P. B. **Determinação indireta da relação hipsométrica para povoamentos de *Pinus taeda* L.** Curitiba, 1977. 102 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais). Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

SILVA, J.N.M & SCHNEIDER, P.R. Comparação de equações de volume para povoamento de *Acacia mearnsii* de Will (Acácia Negra) no Estado do Rio Grande do Sul. **Revista Floresta**, Curitiba, v. 10, n. 1, p. 36-42, 1979.

SILVA, J.A. **Estimativa do volume por hectare e sua composição em povoamentos de *Eucalyptus* spp nos cerrados em Minas Gerais e Mato Grosso do Sul**. Curitiba, 1979. 85 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais). Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

SILVA, V.S.M. **Produção de *Eucalyptus camaldulensis* Delnh. no Estado de Mato Grosso**. Curitiba, 1999. 179 p. Tese (Doutorado em Ciências Florestais). Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

SNEDECOR, G.W. & COCHRAN, W.G. **Metodos estadísticos**. México: Continental, 1978. 703 p.

SOARES, V.P.; PAULA NETO, F. de; SCOLFORO, J.R.S. Análise da relação hipsométrica diâmetro-altura e das alturas médias, em povoamentos jovens de *Eucalyptus grandis* no município de Lassance-MG. **Silvicultura**, São Paulo, v. 8, n. 28, p. 702-704, 1983.

SPURR, S.H. **Forest Inventory**. New York: Roland Press, 1952. 476 p.

STEEL, R. G. D. & TORRIE, J. H. **Principles and procedures of statistics: a biometrical approach**. 2 ed. New York: McGraw-Hill, 1980. 633 p.

STOFFELS, A. & VAN SOEST, J. The main problems in sample plots. 3. height regression. **Ned. Boschb. Tijdschr.**, v.25, p. 190-199, 1953. **Forest Abstract**, v.15, p. 77. [1953].

TONON, A.E.N. **Efeitos da densidade inicial e do sítio sobre o crescimento e a produção de bracatingais da Região Metropolitana de Curitiba**. Curitiba, 1998. 209 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais). Curso de Pós-

Graduação em Engenharia Florestal, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

TROREY, L.G. A mathematical method for the construction of diameter height curves based on site. **For. Chron.** v. 8, n. 2, p. 121-132, 1932.

CAPÍTULO 2

EVOLUÇÃO DA DISTRIBUIÇÃO DIAMÉTRICA EM FUNÇÃO DOS FATORES IDADE, SÍTIO E DENSIDADE INICIAL EM BRACATINGAIS DA REGIÃO METROPOLITANA DE CURITIBA

1 INTRODUÇÃO

Para o manejo adequado de um povoamento florestal o conhecimento da sua estrutura é fundamental. Esta consiste na distribuição de espécies e dimensões das árvores em relação a uma unidade de área, resultado dos hábitos de crescimento das espécies, das condições ambientais e práticas de manejo. No estudo da estrutura da floresta, a distribuição diamétrica é uma ferramenta básica, atualmente amplamente difundida e aplicada em toda Europa, Estados Unidos e no Brasil, onde já é bastante utilizada ao manejo de florestas, constituindo o meio mais simples e eficaz para descrever as características de um povoamento. Os primeiros trabalhos desenvolvidos, no Brasil, sobre funções probabilísticas aplicadas a distribuições diamétricas em florestas tropicais, surgiram no início da década de 1980.

A distribuição diamétrica é um ótimo indicador do estoque em crescimento das florestas, sendo a forma mais potente para descrever as propriedades de um povoamento. A variável diâmetro, obtida por medição direta das árvores, é bem correlacionada com outras variáveis importantes tais como o volume, além de outras como qualidade de produção e custos de exploração (que são considerações florestais de ordem econômica). Quantificações da distribuição de diâmetro e suas relações com determinados fatores, tais como: sítio, composição do povoamento, idade e densidade, são importantes para propósitos econômicos e biológicos (BAILEY & DELL, 1973; UMAÑA, 1997).

Os estudos descritivos das distribuições diamétricas são insuficientes como subsídios para projetos de manejo em regime de rendimento sustentado, necessitando de estudo de casos envolvendo diferentes formas de distribuições que melhor se adaptem aos objetivos desse tipo de manejo. No caso da análise da estrutura diamétrica existe o interesse em descrever a distribuição de freqüência do diâmetro através do uso de funções de densidade de probabilidade (BARROS, 1980).

As funções de distribuição diamétrica quando associadas à funções de forma, permitem a quantificação do sortimento do povoamento em pé; associando à classes de sortimentos, obtidas com os seus respectivos preços, permite o cálculo da renda bruta e, ainda, quando associada à uma função de produção permite estimativas da evolução

dos sortimentos do povoamento, bem como a evolução de suas rendas (MACHADO; MARQUESINI & BACOVIS, 1990).

A sobrevivência de uma espécie florestal, bem como o seu aproveitamento racional dentro das normas de rendimento sustentado, é garantida por uma distribuição diamétrica regular. Isto implica que classes diamétricas inferiores devem incluir o maior número de indivíduos para substituir os que são explorados e os que sofrem redução natural, de uma classe inferior para uma superior, com o passar do tempo. Para as espécies que apresentam distribuição diamétrica irregular, há comprometimento na existência e sobrevivência por tempo indefinido da associação florestal clímax (FINOL, 1964).

Conhecendo a estrutura diamétrica de um povoamento, será possível avaliar melhor o comportamento da espécie a ser trabalhada, face aos vários fatores que possam vir a interferir em seu crescimento, favorecendo o manejo da mesma, considerando que todo manejo e atividades de exploração comercial conduzem a alterações na estrutura diamétrica. Além disso, a análise da distribuição diamétrica é uma forma de se prever, implicitamente, o rendimento corrente, ou seja, prediz o número de árvores/ha por classe de diâmetro e a altura média para cada classe de diâmetro, permitindo obter informações mais detalhadas da estrutura do povoamento (CLUTTER *et al.*, 1983).

A segunda parte da pesquisa consistiu em:

- Ajustar funções de densidade probabilística e escolher a mais adequada para o conjunto de dados;
- Construir curvas de distribuição diamétrica com o modelo selecionado;
- Utilizar as curvas selecionadas para avaliar a influência dos fatores idade, sítio e densidade na distribuição de diâmetros.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 DIÂMETRO

Segundo LOETSCH; ZÖHRER & HALLER (1973), existem quatro razões pelas quais o diâmetro (d) ou a circunferência (c) à altura do peito sejam de particular importância sobre as demais informações coletadas na realização de um inventário florestal:

- É uma variável de fácil acesso e medição;
- É o elemento de medida mais importante e fornece a base para muitos outros cálculos;
- A frequência de árvores de uma floresta em classes de diâmetro é um resultado essencial advindo do inventário, pela importante base que oferece ao planejamento e aproveitamento econômico das florestas, denotando a estrutura que a mesmas apresentam;
- A partir do (d), a área basal do povoamento (G) é calculada pela soma das áreas transversais (g), sendo este parâmetro importante para a caracterização da densidade e do estoque de crescimento.

2.2 MODELOS QUE DEFINEM A DISTRIBUIÇÃO DIAMÉTRICA

Com os conceitos emitidos por De LIOCOURT¹⁵ em 1898 *apud* BARROS (1980) teve início o estudo de distribuições diamétricas na ciência florestal. De LIOCOURT (*op. cit.*) lançou a teoria de que a distribuição diamétrica de florestas heterogêneas comportava-se como distribuição em forma de “J” invertido e o seu manejo visaria conduzir à uma distribuição “balanceada” capaz de induzir a floresta a um nível de produção sustentada. Desde então, pesquisadores têm usado várias

¹⁵ De LIOCOURT, F. L'aménagement de Sapinieres. **Bull de la Societe For. Franche**, Conte at Belfort. Besnacon, 1898.

distribuições para povoamentos equiâneos e multiâneos, com vários graus de sucesso (ZÖHRER, 1972; BAILEY & DELL 1973; CLUTTER & ALLISON, 1974).

A distribuição diamétrica de um povoamento florestal equiâneo puro, proveniente de plantação, se aproxima da distribuição normal nas idades jovens. Porém, com o passar dos anos, esta curva de distribuição vai se tornando cada vez mais assimétrica, com deslocamento para a direita, aumentando-se cada vez mais a sua assimetria e curtose.

MEYER (1928), estudando a forma apresentada pela distribuição de freqüências, concluiu que quanto mais tolerante é a espécie florestal maior é a assimetria à esquerda, do mesmo modo como ocorre em povoamentos jovens, onde a maior concentração de diâmetros ocorre nas classes menores.

A distribuição do número de árvores por classe de diâmetro pode variar muito de uma espécie para outra ou de um grupo de espécies para outro (LAMPRECHT, 1990).

As distribuições diamétricas são classificadas em: unimodal, multimodal, e decrescente. O termo unimodal caracteriza uma distribuição em forma de monte ou sino, que apresenta um único ponto de maior freqüência, como é o caso da curva de distribuição Normal. As distribuições unimodais são características de florestas equiâneas, como no caso de plantações. Também é característica de florestas ou espécies que se regeneram em ciclos, como no caso do pinheiro-do-paraná, da bracatinga e das florestas de *Dipterocarpus* do sudeste asiático. Algumas espécies de florestas naturais heterogêneas, quando tratadas isoladamente também podem apresentar este tipo de distribuição.

As multimodais apresentam mais de um ponto de maior freqüência, não sendo biologicamente importantes, pois não ocorrem naturalmente. É uma distribuição forçada, apresentando-se apenas em povoamentos florestais onde houve exploração em certas classes diamétricas intermediárias.

As decrescentes se caracterizam por uma curva cuja freqüência diminui ao se aumentar a classe de diâmetro. Esta distribuição, na literatura, é denominada de "J" invertido, pois apresenta forma típica da distribuição exponencial negativa. É uma distribuição muito importante por ser característica de florestas onde há regeneração contínua. É o caso das florestas naturais de composição variada em espécies e idade.

Os fatores diretamente relacionados com a evolução de distribuições diamétricas são as taxas de ingresso, crescimento e mortalidade, isto é, as mudanças no número de novos indivíduos do povoamento, incremento do diâmetro e perdas por mortalidade. Diante de tais condições, a forma da curva das distribuições depende desses fatores. Um balanço entre ingresso e mortalidade determina se a comunidade está aumentando com o tempo.

A partir destes estudos, foram desenvolvidos vários modelos para descrever as distribuições diamétricas e também de outras variáveis dendrométricas. Com o desenvolvimento das técnicas de cálculos, pode-se, atualmente, utilizar modelos complexos para descrever tais distribuições: Normal, Log-normal, Gama, Weibull, S_B , Beta e, ainda dentro das funções decrescentes, as distribuições exponenciais.

Na distribuição Normal, 68% das observações estão dentro do intervalo de mais ou menos um desvio padrão da média, 95% em dois desvios e 99% em três desvios. A função Log-normal é uma alternativa à distribuição Normal, já que o logaritmo dos diâmetros pode seguir a distribuição Normal (MERRIL & FOX¹⁶, 1977 *apud* FINGER, 1982). BLISS & REINEKER (1964) aplicaram a função Lognormal em povoamentos de mesma idade de *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco.

Segundo SCOLFORO (1995), o modelo Gama é uma função flexível, podendo ser aplicada em florestas naturais ou plantadas. Pode assumir ou ajustar-se a diferentes tipos de curvas passando por diversos graus de assimetria. NELSON (1964) testou-a para descrever a estrutura diamétrica e o crescimento de plantações de mesma idade de *Pinus taeda*. Vários outros trabalhos seguiram a este como o de COUTO (1980), FINGER (1982), GLADE (1986).

O modelo Beta é uma função bastante flexível podendo assumir várias formas para uma ampla faixa de distribuição. Foi idealizado por PEARSON¹⁷ em 1894 e introduzido, com sucesso no campo florestal, por ZÖHRER (1969)¹⁸ *apud* LOETSCH; ZÖHRER & HALLER (1973), na Alemanha e, também, por CLUTTER & BENETT (1965) para *Pinus elliottii* nos Estados Unidos.

¹⁶ MERRIL, W.C. & FOX, K.A. **Estatística econômica**. São Paulo, Atlas, 1977. 738p.

¹⁷ PEARSON, K. **Phil. Transactions of the Royal Soc.** A 185, p. 71-110. 1894.

¹⁸ ZÖHRER, F. The application of the beta-function for the best fit of stem diameter-distributions in inventories of tropical forests. **Mitt. Bundesforsch. anst. Forst. u. Holzwirtsch.**, Reinbek/Hamburg, 74: 279-293, 1969.

Dependendo da magnitude dos coeficientes, a Beta é uma função de densidade de probabilidade e tem limites definidos entre o menor e o maior diâmetro encontrados dentro de um povoamento florestal. LOETSCH; ZÖHRER & HALLER (1973) observaram que a função Beta é usada para representar processos dinâmicos, como por exemplo, curvas de incremento e mostrou que esta função também é apropriada para a descrição matemática de algumas distribuições decrescentes. McGEE & DELLA-BIANCA (1967) a utilizaram para estimar a frequência de árvores, por classe de diâmetros, em povoamentos de *Liriodendron tulipifera* L. nas várias combinações de idade, densidade e sítio.

ZÖHRER (1972) considerou a função Beta como a mais adaptável a qualquer distribuição, seja ela unimodal ou decrescente em “J” invertido. Para tanto, ajustou dados de diâmetros de um povoamento de *Picea abies* (L.) Karst, localizado na Alemanha, e outro proveniente da floresta tropical da Malásia, incluindo nesta, diâmetros de várias espécies. A primeira distribuição foi a unimodal e a segunda decrescente.

Segundo BAILEY & DELL (1973), para o estudo de valores extremos, FISHER & TIPPET¹⁹ em 1928 apresentaram uma nova distribuição probabilística a qual foi posteriormente derivada por WEIBULL²⁰ (físico sueco) em 1939, no estudo da resistência dos materiais que, após a segunda Guerra Mundial, se destacou e passou a ser chamada pelo seu nome. No campo florestal BAILEY & DELL (1973) foram os primeiros a usar a função Weibull para ajuste de distribuições diamétricas, tendo sido aplicada principalmente em trabalhos que visavam construir modelos de crescimento e produção florestal. Atualmente, é a mais usada nos Estados Unidos por ser bastante flexível e se ajustar à uma infinidade de formas de curvas, tanto unimodais como decrescentes, sendo eficiente para qualquer tipo florestal.

De acordo com os valores de seus coeficientes, a função Weibull pode assumir formas diferentes, ajustando-se bem aos dados de floresta natural e equiâneas. Segundo BARROS (1980), muitos métodos apropriados têm sido desenvolvidos para o seu ajuste.

¹⁹ FISHER, R.A. & TIPPETT, H.C. Limiting forms of the frequency distribution of the largest or smallest member of a sample. In: **24th Camb.Philod. Soc. Proc.** 1927:180-190. 1928.

²⁰ WEIBULL, W. A statistical theory of the strength of material. **Ing Vetensk Akad Handl** 153, 17p. 1939.

Entre estes, os estimadores de probabilidade máxima são considerados os melhores, mas requerem processos iterativos. COUTO (1980) testou a Weibull em plantações de *Pinus caribaea* var. *caribaea* no Estado de São Paulo. SILVA (1986) utilizou-a para estudar o efeito da adubação em florestas de *Pinus taeda* e HOSOKAWA & GLADE (1986) se basearam na Weibull para construir um modelo de prognose por classes diamétricas.

Uma outra função, que até o momento tem sido pouco usada na ciência florestal, é a função S_B de Johnson. JOHNSON (1949), propôs um sistema de distribuições cujo intervalo dos coeficientes é baseado em transformações da variável normal padrão. Seu sistema consiste basicamente de três distribuições identificadas como S_B , S_L e S_U (algumas vezes a distribuição normal, a qual é um caso especial das três, é incluída e denotada por S_N). A função S_L é uma função lognormal de três parâmetros; a função S_B cobre uma região acima à linha lognormal; e a função S_U cobre uma região abaixo à linha lognormal. Portanto a função S_B é um pouco mais flexível na assimetria e curtose quando comparadas às outras (JOHNSON, 1949a; 1949b).

As distribuições S_B e S_{BB} (S_B bivariada) (JOHNSON, 1949a; 1949b) foram introduzidas na ciência florestal por HAFLEY & SCHREUDER (1977). A função S_B descreve a distribuição marginal das variáveis diâmetro e altura de árvores de um povoamento em diferentes idades e a S_{BB} descreve a distribuição conjunta destas variáveis, pois possibilita uma melhor descrição das características dos povoamentos nas diferentes idades, porque considera medições de diâmetros e alturas de forma inter-relacionadas. Um ano antes estes mesmos autores já haviam estudado as formas bivariadas das distribuições Weibull, Log-Normal e Gama. Entretanto, concluíram que nenhuma destas distribuições (na forma bivariada) poderia ser utilizada sob o ponto de vista florestal devido à impossibilidade de associação de seus parâmetros às relações diâmetro-altura.

JOHNSON & KITCHEN (1971) desenvolveram tabelas para facilitar o ajuste da função S_B pelo método dos momentos. BUKAC (1972) usou o método dos percentis. HILL (1976) desenvolveu algoritmos que transformam a variável normal padrão em variáveis da função S_B e vice-versa, através do método dos momentos. SLIFKER & SHAPIRO (1980) usaram o método dos quatro percentis.

COUTO (1980) foi o primeiro a utilizar a função S_B no Brasil, no estudo de distribuição de diâmetros de plantações de *Pinus caribaea* com presença e ausência de

fertilização mineral, no Município de Agudos-SP.

HAFLEY & SCHREUDER (1977) compararam as distribuições de frequência Beta, S_B , Weibull, Log-Normal, Normal e Gama para povoamentos de *Pinus taeda* em termos de flexibilidade em assumir diferentes formas para a descrição de curvas de distribuição de diâmetros e basearam-se nas relações possíveis entre o coeficiente de assimetria ao quadrado e o coeficiente de curtose, utilizando o método descrito por JOHNSON & KOTZ (1970), em que cada coeficiente é representado em um dos eixos de um sistema cartesiano e os valores das relações possíveis são plotados sobre o plano resultante. As distribuições Normal, Lognormal e Gama foram claramente inferiores em relação à Beta, S_B e Weibull em termos de suas performances gerais. A função S_B apresentou-se como a de melhor performance, sendo a Beta a segunda melhor, seguida da Weibull. Cada uma das distribuições estatísticas tradicionalmente consideradas para ajustar dados de mensuração florestal tem seus pontos fortes e fracos os quais podem resultar em extremos em termos de ajustes de um conjunto de dados para outro. A função S_B , a qual tem sido pouco considerada na área florestal, demonstrou ser relativamente estável através de uma variedade de conjunto de dados. Esta função é muito flexível em termos de sua habilidade para ajustar, de forma empírica, conjunto de dados e é relativamente simples de ser aplicada. Quando os limites superior e inferior do conjunto de dados são conhecidos, a estimativa dos parâmetros da função é facilmente computada.

Contudo, DARLINGTON (1970) e HILDEBRAND (1971) mostraram que em diversos casos a assimetria e curtose podem ser consideradas como uma medida de bimodalidade. Também deve ser observado que, o conhecimento dos valores destes dois coeficientes não definem unicamente uma função. No entanto, é útil na identificação de distribuições que não devem ser ajustadas. HEINSDIJK & BASTOS (1965) desenvolveram um trabalho preliminar e pioneiro sobre distribuição diamétrica para várias espécies da região Amazônica. Concluíram que a estrutura diamétrica dessas florestas é aproximadamente balanceada, como sugerido por MEYER (1930).

BARROS (1980) estudou, detalhadamente, a distribuição diamétrica na floresta tropical úmida do Tapajós (Pará), onde testou vários modelos matemáticos para ajustar a curva de frequência de diâmetros sobre classe de diâmetro. Concluiu que os melhores modelos foram a função polinomial de Goff & West, função Beta e exponencial de

Meyer. Outras pesquisas que merecem destaque nesse campo são as realizadas por: COUTO (1980) desenvolvida para *Pinus caribaea* em São Paulo; CAMPOS & TURNBULL (1981) que testou com sucesso a função Weibull para plantios de *Pinus patula* no sul de Minas Gerais; FINGER (1982) que desenvolveu um estudo intensivo sobre distribuição de diâmetro para plantios de acácia negra no Rio Grande do Sul e; GLADE (1986) com *Eucalyptus grandis*, na Argentina, que comparou a eficiência das funções Normal, Log-Normal, Gama, Beta, Weibull e a S_B de Johnson, concluindo que as funções Weibull, S_B e a Beta ajustaram-se satisfatoriamente, em especial a primeira.

MACHADO; MARQUESINI & BACOVIS (1990) também estudaram a aplicação destas distribuições aos produtos dos três primeiros desbastes de plantações de *Pinus taeda* no Estado do Paraná, levando-se em consideração a influência do sítio, da idade, da densidade e do regime de desbastes. Em relação ao fator sítio, a função Beta foi a que melhor se ajustou aos dados do primeiro desbaste e a Log-Normal para o segundo e terceiro desbaste. Em relação ao fator idade, a função S_B foi a mais adequada ao primeiro desbaste e a Log-Normal ao segundo e terceiro desbastes.

CUNHA (1995) estudou os modelos Weibull, Beta e Exponencial em uma Floresta Tropical Úmida localizada no Estado do Pará, na Estação Experimental de Curuá-Una e concluiu que a função Beta foi a mais adequada para descrever a distribuição diamétrica desta floresta.

THIERSCH (1997) testou a eficiência das distribuições diamétricas Weibull, Gama, Normal, Lognormal, Beta e S_B por diferentes métodos de ajuste para avaliar o desempenho das distribuições de árvores e do volume por classes diamétricas, para diferentes idades e sítios, para *Eucalyptus camaldulensis* no município de João Pinheiro (Minas Gerais). As distribuições S_B e Beta apresentaram os melhores desempenhos para estimar a frequência em função da idade. A função S_B também apresentou melhor desempenho para os sítios mais produtivos e a Beta para os menos produtivos. No entanto, para idades muito jovens (até 20 meses) se restringiu o uso da S_B . A função S_B e a Weibull foram as mais adequadas para a estimativa volumétrica, sendo que a Weibull não apresentou restrição quanto à idades inferiores. Os piores desempenhos foram para as distribuições Log-Normal e Gama.

CLUTTER & BENNETT (1965) utilizaram a função Beta como subsídio aos cálculos para predição de madeira para múltiplos usos em plantações de *Pinus elliottii*.

BAILEY & DELL (1973) indicaram que a função Weibull é mais vantajosa do que a Beta na forma e na derivação matemática. OLIVEIRA (1995) usou com sucesso a função bivariada S_{BB} no seu sistema integrado de prognose de crescimento e produção de *Pinus taeda*.

O processo usual para o desenvolvimento de modelos de distribuição diamétrica dentro de um modelo de crescimento e sistema de modelos de produção tem sido: a) obter conjunto de dados; b) selecionar uma família de distribuições; c) estimar parâmetros indexados de distribuição parcela por parcela; e finalmente d) ajustar regressões para prever os parâmetros de características de plantações em função de variáveis como a idade, índice de sítio e densidade do povoamento.

Na maioria dos trabalhos realizados sobre distribuição de diâmetros em florestas, o pesquisador escolhe uma distribuição que julga eficiente e aplica a seus dados para os estudos de projeções de rendimento de madeira. Porém, outros autores testam várias distribuições antes de recomendar alguma para o ajuste de dados de diâmetros.

O conhecimento da distribuição de diâmetros é útil no cálculo da projeção volumétrica, pois através das funções de probabilidade podem-se relacionar os estimadores dos parâmetros da distribuição e idade, determinando à qualquer idade a estrutura do povoamento e o volume por classe de diâmetro.

O principal problema em ajuste de distribuições tem sido a escolha de funções de densidade de probabilidade para descrever as variáveis de interesse. O critério para escolher uma distribuição é: que esta seja relativamente simples, em termos de ajuste, para obter a estimativa dos parâmetros; suficientemente flexível para ajustar-se a um espectro amplo de formas; facilmente integráveis dentro de vários intervalos de classes e; ajustar-se bem a qualquer conjunto de observações (HAFLEY & SCHREUDER, 1977).

2.3 FUNÇÃO DE DENSIDADE DE PROBABILIDADE

Segundo HUSCH; MILLER & BEERS (1982), classes para variáveis contínuas, como é o caso da variável diâmetro, são, freqüentemente, estabelecidas a fim de facilitar o manuseio de dados nas computações. As freqüências podem ser assinaladas para estas classes, as quais representam a ocorrência ou recorrência de certas medidas de uma

variável contínua que teve que ser organizada em grupo ou classe de limites definidos por razão de conveniência.

Assim, não é possível obter uma função de probabilidade para variáveis aleatórias contínuas, baseada nos mesmos princípios das probabilidades das variáveis discretas, logo, deve-se recorrer à probabilidade acumulada até um diâmetro mínimo específico com os dados tabulados em classes diamétricas (CUNHA, 1995).

À medida que se aumenta o tamanho da amostra de diâmetros, a frequência se aproxima da probabilidade da variável diâmetro ser menor do que um diâmetro (di) de referência. A frequência relativa tem a importante propriedade de fornecer a estimativa da probabilidade, o que permite associar a cada valor di , a probabilidade da variável aleatória contínua ser menor que este valor. A função que associa a probabilidade aos diversos valores da variável diâmetro (di) denomina-se de distribuição, ou seja, a função de distribuição da variável diâmetro (di), no ponto di , é a probabilidade de di ser menor ou igual a di na população (CUNHA, 1995).

Segundo PRODAN (1997), as funções de densidade de probabilidade $f(x)$ devem satisfazer as seguintes condições:

- $f(x) \geq 0$, para todos os valores de x dentro do intervalo considerado;
- $\int f(x) dx = 1$;
- $f(x) = 0$, se x está contido fora do intervalo considerado.

A cada função de densidade de probabilidade existe uma função de distribuição acumulada $F(x)$, que é a sua integral:

$$F(x) = \int_a^b f(x) dx = 1, \text{ cujas propriedades são:}$$

- não é decrescente;
- quando x tende a mais infinito $\rightarrow \lim_{x \rightarrow \infty} F(x) = 1$;
- quando x tende a menos infinito $\rightarrow \lim_{x \rightarrow -\infty} F(x) = 0$.

A probabilidade de que x caia no intervalo entre a e b é dado pela expressão: $P(a \leq x \leq b) = F(b) - F(a)$ para $a < b$. Para exemplificar a função de distribuição $F(x)$, ou função de distribuição acumulada, segue a função Weibull de 2 e 3 parâmetros, as quais são obtidas integrando-se a função de densidade de probabilidade ($f(x)$), resultando em:

- Weibull de 2 parâmetros: $F(x) = 1 - \exp\left[-\left(\frac{x}{b}\right)^c\right]$
- Weibull de 3 parâmetros: $F(x) = 1 - \exp\left[-\left(\frac{x-a}{b}\right)^c\right]$

Onde:

$F(x)$ é a porcentagem do número de árvores menor ou igual a um diâmetro “ x ” especificado;

a , b e c são os parâmetros a estimar e “exp” é a base do logaritmo natural.

A probabilidade (P) é obtida pela diferença entre o valor da função de distribuição acumulada $F(x)$ no limite inferior e o valor no limite superior. A frequência dessa classe é o produto de (P) pelo número total de árvores .

As funções de densidade de probabilidade podem assumir diferentes formas de acordo com os seus parâmetros, e para descrever as distribuições unimodais pode-se lançar mão das funções Normal, Lognormal, Gama, Weibull e S_B entre outras.

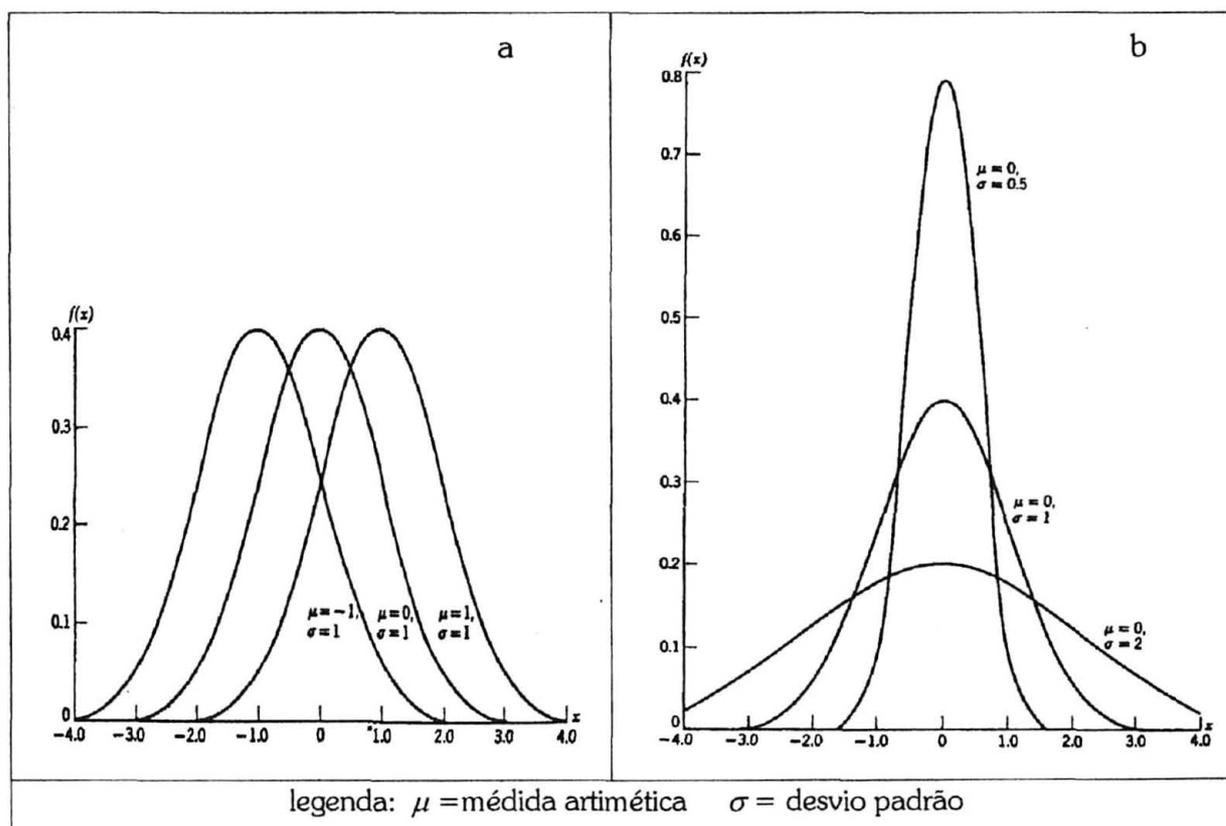
De acordo com a complexidade da função de densidade de probabilidade, a possibilidade de linearização da mesma, a existência de algoritmos e a disponibilidade de recursos computacionais, existem diferentes métodos para o cálculo dos parâmetros. Entre os mais usados, estão o método da máxima verossimilhança, método dos mínimos quadrados, método dos momentos, método dos percentis, os quais são descritos amplamente em muitos trabalhos (PRODAN, 1997).

2.3.1 Formas das funções de densidade de probabilidade

Segundo STEEL & TORRIE (1980), a maior parte dos fenômenos biológicos resultam de dados que estão distribuídos de maneira suficientemente normal. Na Figura 01 podem ser verificados as diferentes formas que a função Normal apresenta de acordo com os seus parâmetros. Com diferentes valores da média para um mesmo desvio padrão (01a) e com diferentes valores do desvio padrão para um mesmo valor da média (01b). Pode-se verificar que as curvas da distribuição Normal são todas simétricas. Se a média é igual a zero e a variância igual a um, tem-se a função de densidade de

probabilidade da chamada distribuição Normal padrão.

FIGURA 01 – FORMAS DA FUNÇÃO NORMAL

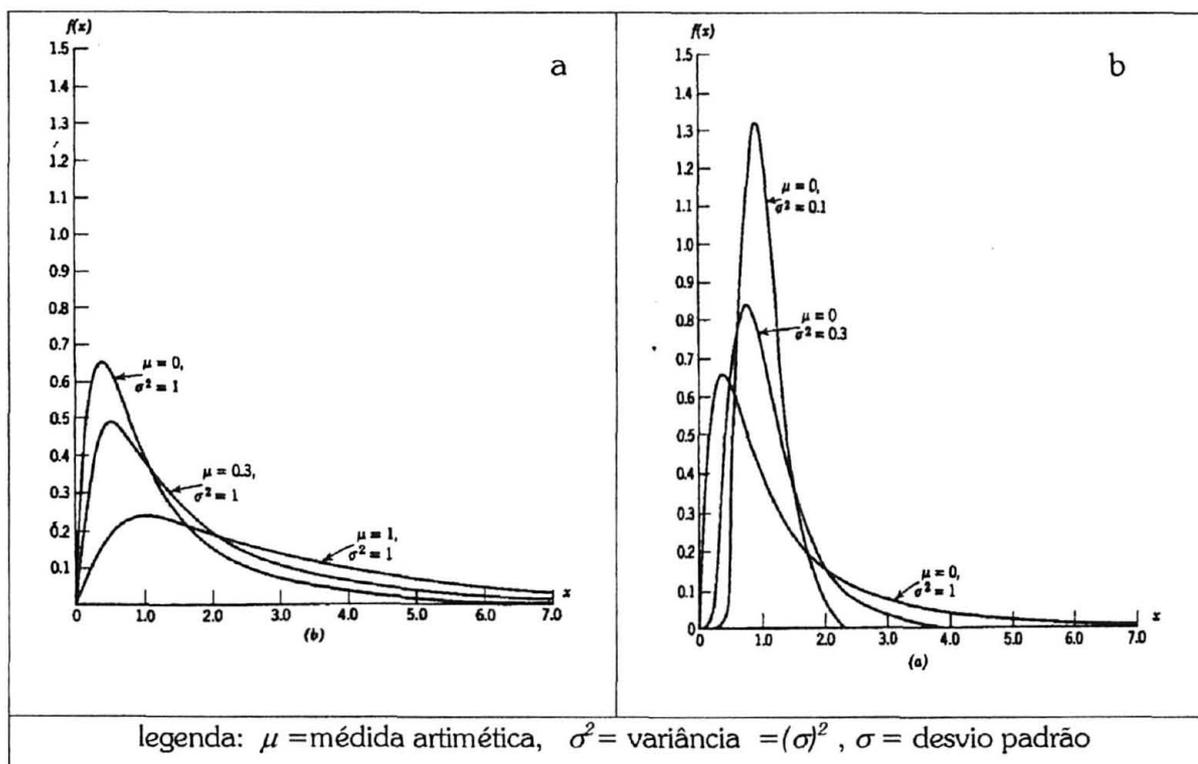


Fonte : HAHN & SHAPIRO (1967)

A função Lognormal é uma alternativa à função Normal, já que o logaritmo dos diâmetros, mais que os diâmetros, podem seguir a função Normal. Neste caso a distinção para a função Normal é que para obter a média e a variância deve-se antes transformar os valores de diâmetro para logaritmo neperiano dos diâmetros. Na Figura 02 verificam-se as formas da função Lognormal de acordo com seus parâmetros. Diferentes valores da média para uma mesma variância (a) e com diferentes valores da variância para um mesmo valor da média. Pode-se verificar que as curvas desta função são todas assimétricas à direita.

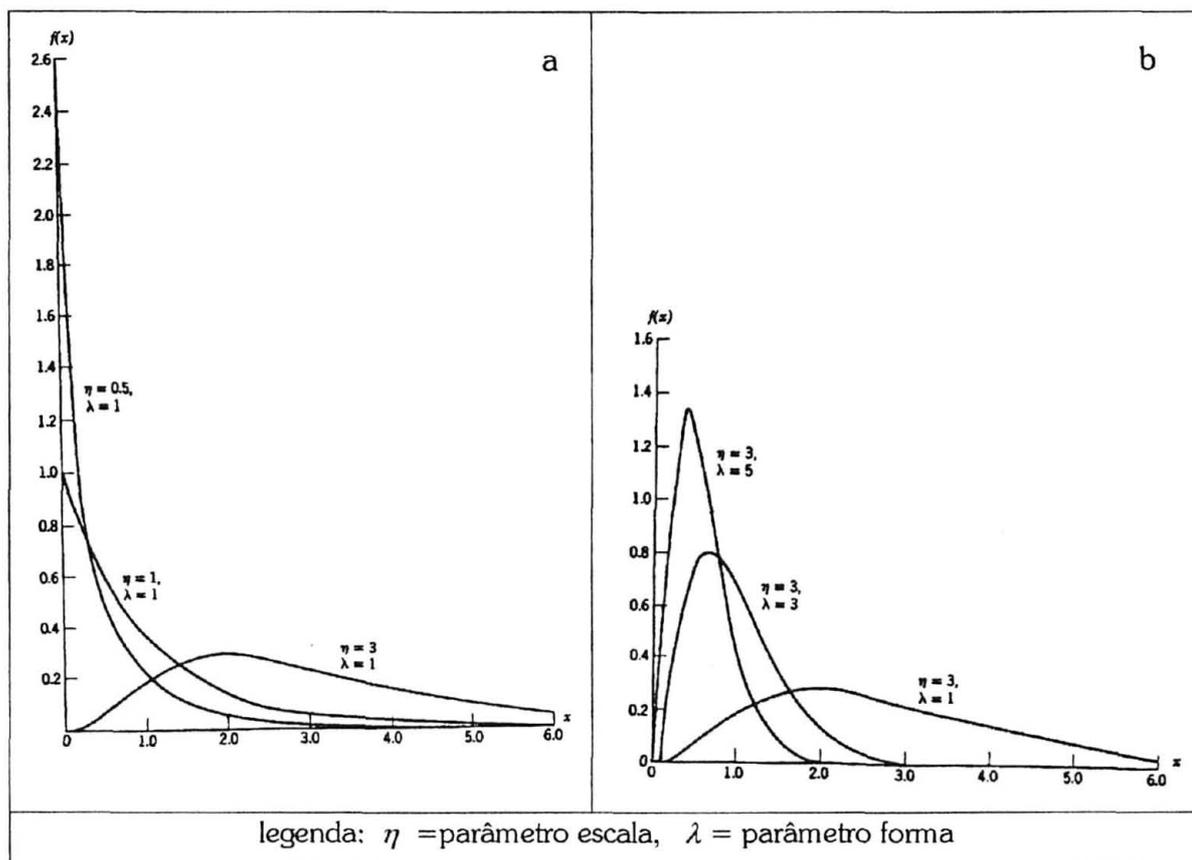
A função Gama é uma função flexível, podendo ser aplicada em florestas nativas ou plantadas. Pode assumir ou ajustar-se a diferentes tipos de curvas, passando por diferentes graus de assimetria de acordo com os seus parâmetros. Diferentes valores do parâmetro escala para um mesmo parâmetro forma (Figura 03a) e com diferentes valores parâmetro forma para um mesmo parâmetro escala (Figura 03b).

FIGURA 02 - FORMAS DA FUNÇÃO LOGNORMAL



Fonte : HAHN & SHAPIRO (1967)

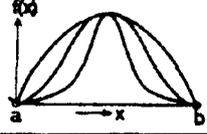
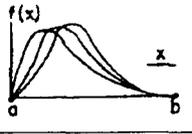
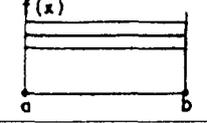
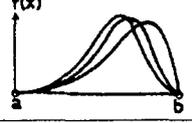
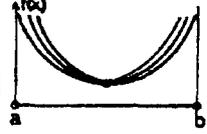
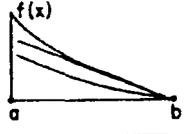
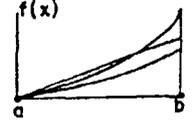
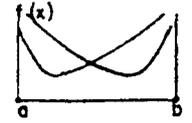
FIGURA 03 - FORMAS DA FUNÇÃO GAMA



Fonte : HAHN & SHAPIRO (1967)

A função Beta é, também, muito flexível, podendo assumir várias formas para uma ampla faixa de distribuição de diâmetros. A função de probabilidade tem limites definidos entre o menor e o maior diâmetro da floresta ou da amostra, os quais restringem todos os diâmetros dentro destes limites. A desvantagem desta função é que a mesma deve ser numericamente integrada para obter as probabilidades nos vários intervalos de classes diamétricas, uma vez que a função de distribuição cumulativa não existe na forma fechada. Pode ser aplicada a florestas nativas e florestas plantadas e ajustar-se a diferentes tipos de curvas, passando por diversos graus de assimetria (KNOEBELL; BURKHART & BECK, 1986). Na Figura 04 são apresentadas as diferentes formas que a função Beta pode assumir, simplesmente variando os parâmetros.

FIGURA 04 - FORMAS DA FUNÇÃO BETA

Distribuições Simétricas			Distribuições Assimétricas		
Tipo de Distribuição	Magnitude dos Expoentes	Representação Gráfica	Tipo de Distribuição	Magnitude dos Expoentes	Representação Gráfica
Distribuição unimodal com ponto máximo	$\alpha = \beta > 0$		Distribuição com assimetria positiva	$\alpha < \beta$ ambos > 0	
Distribuição Retangular	$\alpha = \beta = 0$		Distribuição com assimetria negativa	$\alpha > \beta$ ambos > 0	
Distribuição com ponto de mínimo	$\alpha = \beta < 0$		Distribuição decrescente	$\alpha \leq 0$ $\beta < 0$	
			Distribuição crescente	$\alpha > 0$ $\beta \leq 0$	
			Distribuição com ponto de mínimo	$\alpha \neq \beta$ ambos > 0	

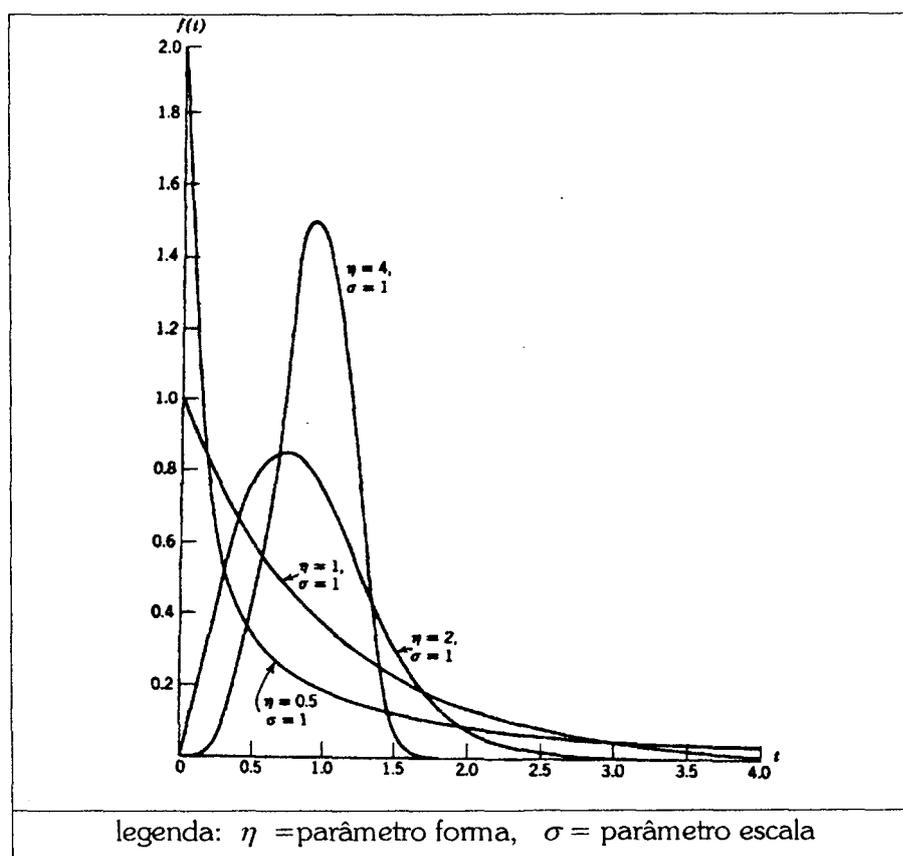
Fonte : LOETSCH; ZÖHRER & HALLER (1973)

A função Weibull se apresenta sob duas formas: a função Weibull de 2 parâmetros assim denominada quando a função inicia-se na origem, ou seja, quando o parâmetro "a" que controla a posição da curva sobre o eixo das abscissas assume o

valor zero e a função Weibull de 3 parâmetros que apresenta um parâmetro a mais no modelo em relação à Weibull 2, o parâmetro “ a ”, que corresponde a um valor menor que o diâmetro mínimo encontrado para o conjunto de dados.

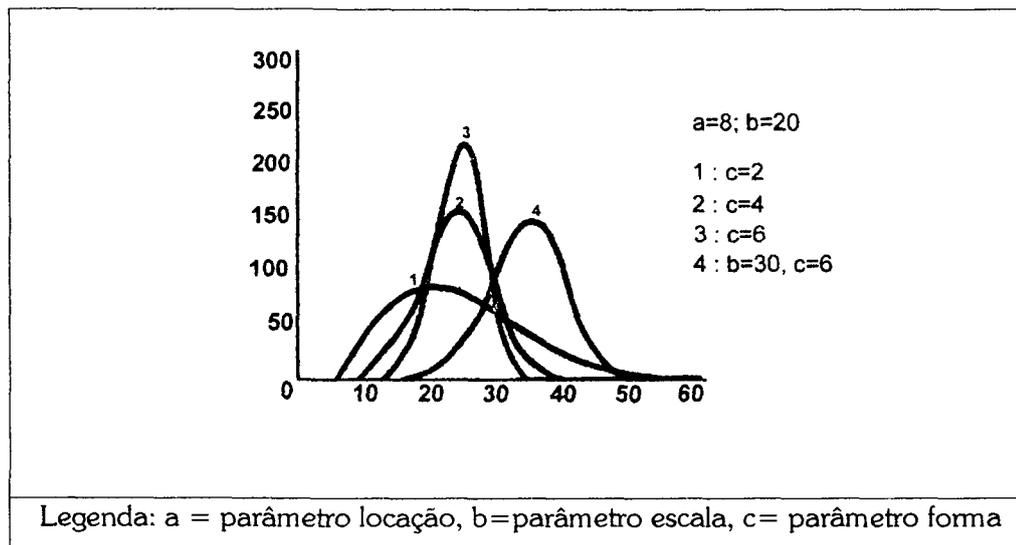
De acordo com os valores dos coeficientes, a função Weibull pode assumir diferentes formas, ajustando-se bem aos dados de floresta nativa, cuja distribuição é decrescente e de florestas homogêneas em que a distribuição é unimodal com diferentes graus de assimetria. O parâmetro escala controla o intervalo de valores que a curva assume, dada uma forma constante e o parâmetro c controla a grande variedade de formas que a distribuição pode assumir: $c < 1$ definem a forma decrescente da distribuição; $c = 1$ uma forma exponencial; $c = 2$ uma forma da distribuição *Ray Leight*, um caso especial da distribuição Qui-quadrado; $c \cong 3,6$ uma forma normal com assimetria negativa mostrando acúmulo de diâmetro para as maiores dimensões e c entre 1 e 3,6 forma normal com assimetria positiva. Algumas destas formas podem ser verificadas nas Figuras 05 e 06.

FIGURA 05 – FORMAS DA FUNÇÃO WEIBULL DE 2 PARÂMETROS



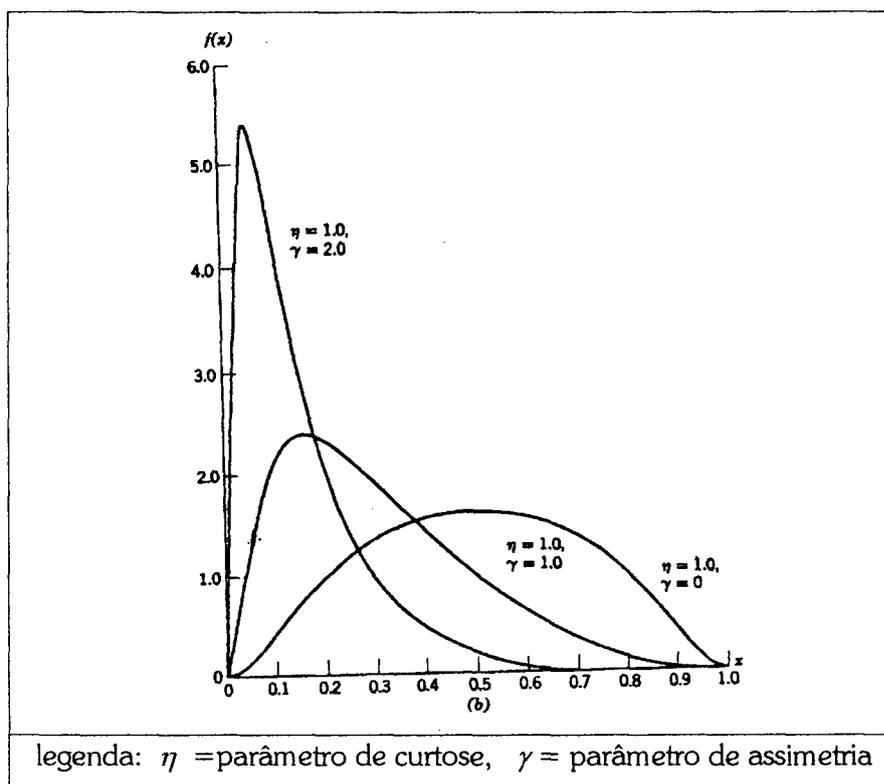
Fonte : HAHN & SHAPIRO (1967)

FIGURA 06 - FORMAS DA FUNÇÃO WEIBULL DE 3 PARÂMETROS



Fonte: GADOW (1983).

A função S_B é, também, uma distribuição flexível desenvolvida por JOHNSON (1949), a qual é associada à função Normal através de transformações logarítmicas, porém descreve os diferentes graus de assimetria de acordo com seus parâmetros. Os parâmetros assimetria e curtose determinam a forma da distribuição (Figura 07).

FIGURA 07 - FORMAS DA FUNÇÃO S_B 

Fonte : HAHN & SHAPIRO (1967)

2.4 FATORES QUE AFETAM A DISTRIBUIÇÃO DIAMÉTRICA

A distribuição diamétrica indica a frequência com que uma certa classe de diâmetro aparece, representada em um povoamento, e permite ter uma visão da estrutura do povoamento. A distribuição diamétrica dentro de uma amplitude diametral não é aleatória, porém obedece certas formas características destes povoamentos. No entanto, estas formas podem ser alteradas de um povoamento para o outro em função de vários fatores, tais como o sítio, idade, densidade, espécie, posição sociológica, tamanho da copa. Portanto, qualquer influência destes fatores na variável diâmetro de um povoamento irá automaticamente alterar sua distribuição diamétrica.

McCLURKIN (1965), pesquisando o crescimento do diâmetro em árvores de diferentes espécies e em diferentes sítios, demonstrou que o sítio afetou o incremento em diâmetro e conseqüentemente a distribuição diamétrica. CLUTTER & BENETT (1965) e SMITH (1967), trabalhando com *Pinus elliottii*, observaram que a distribuição diamétrica variou em função da idade, índice de sítio e densidade inicial.

COELHO; MELLO & SIMÕES (1970), estudando o comportamento de quatro diferentes espécies de *Eucalyptus*, sob dois espaçamentos e em diferentes idades, concluíram que o espaçamento teve ação positiva sobre o crescimento no diâmetro médio e, conseqüentemente, na distribuição diamétrica para a mesma espécie a uma determinada idade.

COUTO *et al.* (1971) estudando a influência do espaçamento no crescimento de *Eucalyptus urophylla* em diferentes idades, concluíram que houve influência do mesmo no crescimento em diâmetro das árvores, onde o espaçamento mais amplo correspondeu a diâmetros médios maiores, afetando assim a distribuição diamétrica do povoamento, pois encontrou um número maior de árvores nas classes de diâmetros superiores, fazendo com que a curva de distribuição se mova para o lado direito.

SCHÖNAU (1975) estudou o efeito da qualidade de sítio e da densidade inicial de plantação sobre o diâmetro médio, em *Acacia mearnsii* De Wild (Quênia) e investigou a relação da variável diâmetro com a idade, densidade e sítio. Através de regressão múltipla, concluiu que estas variáveis foram significativas para descrever a evolução do diâmetro em diferentes densidades de plantios e, conseqüentemente, para a estrutura diamétrica.

CRECHI (1996), trabalhando com *Araucaria angustifolia*, concluiu que a densidade de plantação afetou significativamente o crescimento do diâmetro médio e, para esta variável, houve relação direta com a idade e inversa com a densidade, ou seja, quanto maior a idade e menor a densidade, maiores foram os valores do diâmetro médio.

MACHADO; BACOVIS & MARQUESINI (1990) avaliaram o efeito do sítio, idade e densidade na distribuição diamétrica para *Pinus taeda* no Estado do Paraná e verificaram diferença significativa entre os sítios, com assimetria pronunciada para a direita das curvas de distribuição, diferença entre as idades, também com assimetria e deslocamento à direita e diferença significativa com as densidades com deslocamento à esquerda.

2.5 COMPARAÇÃO ENTRE AS DISTRIBUIÇÕES

Ao se fazer comparações entre as distribuições é necessário que as amplitudes de classes sejam iguais e os limites de classes coincidentes, atendendo as condições necessárias quando uma mesma variável está sendo investigada. Para comparações de diferentes variáveis sob investigação, as distribuições podem ter amplitudes de classes diferentes ou iguais, mas diferindo em seus limites de classes (LOETSCH; ZÖHRER & HALLER, 1973).

Transformações das freqüências para intervalos de classes comparáveis podem ser alcançadas, aproximadamente, pelas médias da curva de freqüências cumulativas. Deve-se comparar não somente pelas quantidades absolutas, mas pelas relações entre as classes de interesse. Freqüências comparáveis podem ser obtidas de várias maneiras (LOETSCH; ZÖHRER & HALLER, 1973):

- Pelo uso de valores índice, ou seja, número de fustes por unidade de área, onde são eliminadas as diferenças resultantes das populações por áreas;
- Pelo uso de freqüências relativas para comparação, o que permite melhor reconhecimento dos fatores comuns das distribuições diamétricas de freqüências de diferentes variáveis;
- Pela formulação matemática da distribuição empírica dos diâmetros através de

funções de distribuição flexíveis, tais como a Beta, Gama, Normal, Lognormal, Weibull, entre outras.

2.6 SELEÇÃO DE MODELOS

As formas de avaliar o melhor ajuste das funções são as mais variadas, pois cada método enfatiza aspectos diferentes das distribuições podendo originar resultados contraditórios entre si. Por isso, SCHREUDER *et al.* (1978) recomendaram usar o teste D de Kolmogorov-Smirnov para verificar o melhor ajuste e além deste o teste χ^2 (qui-quadrado). No entanto, este último não pode ser calculado para classes com menos de cinco observações, pois o valor pode não ser real e se levado em conta que em muitas classes a ocorrência de menos de cinco observações é muito comum, esta estatística não deve ser a única como fator de decisão na escolha de um modelo.

GADOW (1983) afirma que somente o teste de Kolmogorov é adequado para avaliar os ajustes das distribuições quando comparado com o teste χ^2 . A vantagem do teste de Kolmogorov-Smirnov em relação ao χ^2 é que ele pode ser aplicado sem restrição para pequenas amostras e, além disso, trata os dados individualmente, não perdendo informações devido a agrupamentos.

A estatística de Kolmogorov-Smirnov é definida por KENDALL & STUART (1978) como sendo a diferença máxima absoluta entre a frequência observada acumulada ($Fo_{(x)}$) e a frequência estimada acumulada ($Fe_{(x)}$), ou seja, segundo CAMPOS (1979), o teste de Kolmogorov-Smirnov compara estas frequências e o ponto de maior divergência entre as duas distribuições é o valor D de Kolmogorov-Smirnov. O menor valor de D indicará a melhor função que se ajusta aos dados estudados.

Uma outra forma de seleção é a análise gráfica dos resíduos, a qual visa interpretar o comportamento do erro aleatório em relação às classe diamétricas, o que se constitui num dos objetivos básicos da maioria das análises estruturais e fitossociológicas realizadas sobre povoamentos florestais (CUNHA, 1995).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 MATERIAIS

Os dados utilizados para a realização deste capítulo são os mesmos utilizados no capítulo anterior para o ajuste das relações hipsométricas, ou seja, as remedições de 20 parcelas permanentes e as 124 parcelas temporárias instaladas em várias localidades da Região Metropolitana de Curitiba, abordando os quatro tratamentos de densidade inicial e a classificação de sítio em três classes.

3.2 MÉTODOS

3.2.1 Número e amplitude de classes diamétricas

Distribuição de freqüência é definida como a apresentação tabular de dados para mostrar a freqüência em que algo ocorre, dentro de um certo intervalo de classe. Geralmente, costuma-se trabalhar com o centro de classe, onde os valores sucessivos são eqüidistantes, permitindo comparar o número de observações nas diferentes classes.

Existem algumas fórmulas para a estimativa do número aproximado de classes, mas os seus usos são muito genéricos e é necessário que se façam testes para avaliar qual a melhor amplitude de classes para determinada região e espécie. Para evitar que cada parcela resultasse em número de classes com intervalos de classes diferentes, visto que as mesmas apresentam amplitude diamétricas diferentes, o que impossibilitaria análises posteriores para se comparar os dados de uma parcela com outra, decidiu-se pela escolha de intervalos de classes de 1 cm.

3.2.2 Funções de distribuições diamétricas testadas

Foram testados sete funções de densidade probabilística para a obtenção das

distribuições de freqüências de árvores em cada classe de diâmetro para as várias combinações de idade, sítio e densidade, abrangendo 240 combinações para as parcelas permanentes e 132 para as parcelas temporárias, perfazendo um total de 372 análises.

Para estimar os parâmetros das funções de densidade de probabilidade e posterior estimativa do número de árvores em classes diamétricas, foi utilizado o pacote estatístico STATISTICA 5.1²¹. Este pacote estima os parâmetros das funções das distribuições Normal, Lognormal, Weibull-2 parâmetros e Gama através do Método da Máxima Verossimilhança e da função Beta pelo método dos momentos. Para estimar os parâmetros das distribuições Weibull-3 parâmetros e S_B , foi criada uma rotina de trabalho no programa MS EXCEL 97²² utilizando o método dos momentos.

O método dos momentos consiste em igualar o momento teórico ao momento amostral, substituindo a média e variância amostral pela média e variância da população. Já o método da máxima verossimilhança estima os parâmetros que maximizam a densidade de probabilidade de se obter a amostra observada para a função dada. Este método utiliza o algoritmo de NEWTON-RAPHSON, o qual é um procedimento iterativo numérico, capaz de resolver equações não lineares (CUNHA, 1995).

As funções de densidade de probabilidade correspondentes às distribuições ajustadas são as seguintes:

3.2.2.1 Função Normal:

$$f(x) = \left(\frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \right) e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{x - \mu}{\sigma} \right)^2}$$

²¹ STATISTICA. Software estatístico de utilização licenciada para o do laboratório de processamento de dados do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal da Universidade Federal do Paraná (Curitiba, Brasil).

²² MS EXCEL. Panilha eletrônica de cálculo de utilização licenciada para o do laboratório de processamento de dados do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal da Universidade Federal do Paraná (Curitiba, Brasil).

onde:

x é a variável aleatória cuja distribuição se deseja estudar (diâmetro em cm)

μ é a média aritmética da variável aleatória x (diâmetro médio em cm);

σ é o desvio padrão da variável aleatória x ;

σ^2 é a variância da variável aleatória x ;

π é a constante "pi" (3,1416);

e é a base do logaritmo natural;

Devem satisfazer as seguintes condições:

$$\sigma > 0;$$

$$-\infty < x < +\infty;$$

$$-\infty < \mu < +\infty.$$

As estimativas dos parâmetros μ e σ^2 podem ser feitos pelo método da máxima verossimilhança e pelo método dos momentos. A função Normal fica definida com a media aritmética e o desvio padrão dos dados originais a partir das seguintes fórmulas, pelo método da máxima verossimilhança:

Média aritmética:

$$\mu = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$$

Desvio padrão:

$$s = \sqrt{\frac{n \sum_{i=1}^n x_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n x_i \right)^2}{n(n-1)}}$$

Onde:

n é o tamanho da amostra de dados (número de diâmetros);

x_i são os dados (diâmetros) cuja distribuição está sendo estudada, com i variando de 1 a n .

Se $\mu = 0$ e $\sigma^2 = 1$, então tem-se a função de densidade de probabilidade da chamada função Normal padrão, $N(0,1)$.

3.2.2.2 Função Lognormal:

Seja x uma variável aleatória positiva e seja uma nova variável aleatória y

definida como $y = \ln(x)$. Se x tem distribuição normal então y é dita ter distribuição lognormal. A função de densidade probabilística é:

$$f(x) = \frac{1}{x(\sqrt{2\pi}\sigma^2)} \cdot e^{\left(-\frac{1}{2}\right) \frac{(\ln(x)-\mu)^2}{\sigma^2}}$$

Onde:

$x, \mu, \sigma, \sigma^2, \pi, e, n$ já foram definidos anteriormente.

Devem satisfazer as seguintes condições:

$$x \geq 0;$$

$$\sigma > 0;$$

$$-\infty < \mu < +\infty;$$

$$-\infty < x < +\infty.$$

As estimativas dos parâmetros μ e σ^2 podem ser feitas pelo método da máxima verossimilhança e pelo método dos momentos. A função lognormal fica definida com a média aritmética e o desvio padrão dos dados originais a partir das seguintes fórmulas, pelo método da máxima verossimilhança:

Média aritmética:

$$\mu = \frac{\sum_{i=1}^n \ln(x_i)}{n}$$

Desvio padrão:

$$s = \sqrt{\frac{n \sum_{i=1}^n \ln((x_i^2)) - \left(\frac{\sum_{i=1}^n \ln(x_i)}{n}\right)^2}{(n-1)}}$$

3.2.2.3 Função Gama:

$$f(x) = \frac{x^{\alpha-1} e^{-x/\beta}}{\beta^\alpha \cdot \Gamma(\alpha)}$$

Onde:

α e β são os parâmetros de forma (α) e escala (β) da função a serem estimados;
 e é a base do logaritmo natural;

Γ é a função gama caracterizada pela seguinte expressão (para qualquer $\alpha \geq 0$):

$$\Gamma(\alpha) = \int_0^{\infty} u^{\alpha-1} e^{-u} \delta u$$

Existem diferentes métodos para a estimativas dos parâmetros da função Gama, destacando-se os métodos da máxima verossimilhança e dos momentos. Para este trabalho utilizou-se o da máxima verossimilhança:

$$\text{Parâmetro } \alpha: \quad \hat{\alpha} = \frac{\left[1 + \frac{4}{3} \left(\ln(\bar{x}) - \sum_{i=1}^n \ln x_i \right) \right]^{\frac{1}{2}}}{4 \left[\ln(\bar{x}) - \sum_{i=1}^n \ln x_i \right]}$$

$$\text{Parâmetro } \beta: \quad \hat{\beta} = \frac{\bar{x}}{\hat{\alpha}}, \text{ onde: } x \text{ é a variável de interesse (diâmetro)}$$

Devem satisfazer as seguintes condições:

$$\begin{aligned} x &\geq 0; \\ \alpha, \beta &> 0. \end{aligned}$$

3.2.2.4 Função Beta:

$$f(x) = \frac{\Gamma(\alpha + \beta)}{\Gamma(\alpha) \cdot \Gamma(\beta) \cdot (b-a)^{\alpha+\beta-1}} (x-a)^{\alpha-1} (b-x)^{\beta-1}$$

Onde:

α e β são os parâmetros da função beta a serem estimados;

Γ é a função matemática gama;

a e b são os limites inferior e superior da função. Os limites podem ser os diâmetros mínimo e máximo absolutos reais (SCOLFORO, 1995) ou os limites inferior e superior da primeira e última classes diamétricas (LOETSCH; ZÖHRER & HALLER, 1973). A variável aleatória “ x ” deverá variar entre o intervalo compreendido entre a e b .

Devem satisfazer as seguintes condições:

$$\begin{aligned} a &< x < b; \\ \alpha, \beta &> 0; \\ -\infty &< a < b < +\infty. \end{aligned}$$

Existem diferentes formas de ajustar a função Beta, tais como o método dos momentos, da regressão, da média aritmética e variância, dentre outras. Para este trabalho foi usado o método dos momentos, sendo que o primeiro passo consistiu em transformar os dados originais de maneira que todos eles ficassem compreendidos entre o intervalo 0-1. A razão desta transformação é pelo fato de que a função Beta está definida para o intervalo 0-1. Conseqüentemente foi necessário subtrair de cada diâmetro d_i o menor diâmetro d_0 e, após esta, dividir todos os valores pela diferença entre o menor diâmetro e o maior diâmetro d_m . Desta maneira todos os dados ficaram compreendidos entre 0 e 1:

$$\frac{d_i - d_0}{d_m - d_0}$$

A estimativa dos parâmetros pelo métodos dos momentos emprega as seguintes fórmulas:

$$\text{Parâmetro } \alpha: \quad \hat{\alpha} = \frac{(\bar{d} - d_{min})[(d_{max} - \bar{d})(\bar{d} - d_{min}) - \sigma^2]}{\sigma^2(d_{max} - d_{min})}$$

$$\text{Parâmetro } \beta: \quad \hat{\beta} = \frac{(d_{max} - \bar{d})[(d_{max} - \bar{d})(\bar{d} - d_{min}) - \sigma^2]}{\sigma^2(d_{max} - d_{min})}$$

Onde:

\bar{d} - média aritmética dos diâmetros

d_{max}, d_{min} - diâmetros máximos e mínimos

σ^2 = variância

3.2.2.5 Função Weibull 2 parâmetros:

$$f(x) = \frac{c}{b} \left(\frac{x}{b}\right)^{c-1} e^{-\left(\frac{x}{b}\right)^c}$$

Onde:

b, c são os parâmetros de escala (b) e forma (c) da função a ser estimada
 x é a variável de interesse

Devem satisfazer as seguintes condições:

$$x \geq 0;$$

$$c, b > 0.$$

Os parâmetros da função Weibull 2 podem ser obtidos por vários métodos entre eles a máxima verossimilhança, momentos, percentis e método gráfico. Neste trabalho foi usado o método da máxima verossimilhança:

$$\text{Parâmetro } b \text{ (escala): } b = \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i^c \right)^{1/c}$$

$$\text{Parâmetro } c \text{ (forma): } c = n / \left[\frac{1}{\hat{b}^c} \sum_{i=1}^n x_i^{\hat{c}} \ln x_i - \sum_{i=1}^n \ln x_i \right]$$

3.2.2.6 Função Weibull 3 parâmetros:

$$f(x) = \frac{c}{b} \left(\frac{x-a}{b} \right)^{c-1} e^{-\left(\frac{x-a}{b} \right)^c}$$

Onde:

a, b, c são os parâmetros de locação (a), escala (b) e forma (c) da função.

Os parâmetros da função Weibull 3 podem ser obtidos por vários métodos entre eles a máxima verossimilhança, momentos, percentis e método gráfico. No presente trabalho foi utilizado o método dos momentos. Este método permite obter os 3 parâmetros simultaneamente a partir das seguintes equações (PRADO²³ et al., 1993 apud ARCE et al., 1999; SCOLFORO, 1995):

²³ PRADO C.; FUENTES J.E.; PRADO C.D.; DONOSO, P. Caracterización de la estructura, crecimiento y respuesta a raleos de renovales de roble (*Nothofagus obliqua*), raulí (*N. alpina*) y coigüe (*N. dombeyi*) mediante modelos estadísticos estructurales. Investigación y Desarrollo Forestal. Proyecto CONAF/PNUD/CHI/89/003. Contrato 22/92. Informe Final. 1993. 72 p.

$$\text{Parâmetro } a \text{ (locação): } a = \frac{\bar{x} - (\bar{x}_g - x_{\min})}{\left[1 - \frac{1}{n^{(1+1/c)}}\right]}$$

$$\text{Parâmetro } b \text{ (escala): } b = \left[\frac{\bar{x} - x_{\min}}{\Gamma(1 + \frac{1}{c})} \right] \cdot \left[1 - \frac{1}{n^{(1+1/c)}} \right]$$

$$\text{Parâmetro } c \text{ (forma): } \bar{x}_g^2 = \bar{x}^2 + (\bar{x} - x_{\min})^2 \frac{\left[\Gamma(1 + \frac{2}{c}) / \Gamma(1 + \frac{1}{c})^2 \right] - 1}{\left[1 - \left(\frac{1}{n} \right)^{(1+1/c)} \right]^2}$$

Onde:

\bar{x} é a média aritmética dos diâmetros;

\bar{x}_g é o diâmetro quadrático médio (d_g);

x_{\min} é o diâmetro mínimo considerado (limite inferior da primeira classe diamétrica). A função de distribuição $F(x)$, ou função de distribuição acumulada, é obtida integrando-se a função de densidade de probabilidade (fdp), resultando em:

$$F(x) = 1 - \exp \left[- \left(\frac{x - a}{b} \right)^c \right]$$

3.2.2.7 Função S_B de Johnson:

$$f(x) = \frac{\delta \lambda}{\sqrt{2\pi(x - \varepsilon)(\lambda + \varepsilon - x)}} e^{\left[-\frac{1}{2} \left(\gamma + \delta \ln \frac{x - \varepsilon}{\lambda + \varepsilon - x} \right)^2 \right]}$$

Onde:

ε , λ , δ e γ são os parâmetros locação (ε), escala (λ), parâmetro que expressa a assimetria (δ) e curtose (γ) da função a serem estimados.

O parâmetro ε deve ser um valor menor que o diâmetro mínimo observado, ou seja, é o limite inferior. O parâmetro λ expressa a amplitude entre o menor e o maior diâmetro observados.

Para a obtenção do valor ε compreendido entre zero e o diâmetro mínimo da parcela, foram fixados uma série de possíveis valores de ε como: $0,05(d_{min})$, $0,15(d_{min})$, $0,25(d_{min})$, $0,35(d_{min})$, $0,45(d_{min})$, $0,55(d_{min})$, $0,65(d_{min})$, $0,75(d_{min})$, $0,85(d_{min})$, $0,95(d_{min})$ e $1(d_{min})$. Para cada valor de ε foi ajustada a função em cada uma das combinações das parcelas permanentes e das parcelas temporárias. Desta maneira, houve um valor correspondente de λ , δ e γ para cada valor de ε . Utilizando-se o teste de aderência de Kolmogorov-Smirnov para cada valor de ε , pode-se estabelecer o valor que propiciou um melhor ajuste.

Os parâmetros da função S_B de Johnson podem ser obtidos por vários métodos, entre eles: método da máxima verossimilhança, momentos, Knoebel-Burkhart, da moda, da regressão linear. O método utilizado neste trabalho foi o dos momentos, conforme formulação a seguir:

$$\text{Parâmetro } \delta \text{ (assimetria): } \delta = \frac{\mu(1-\mu)}{Sd(x)} + \frac{Sd(x)}{4} \left[\frac{1}{\mu(1-\mu)} - 8 \right]$$

$$\text{Parâmetro } \gamma \text{ (curtose): } \gamma = \delta \ln \left(\frac{1-\mu}{\mu} \right) + \left(\frac{0,5-\mu}{\delta} \right),$$

Sendo:

$$\mu = \frac{\bar{d} - \varepsilon}{\lambda} \qquad Sd(x) = \frac{\sigma}{\lambda}$$

Onde: \bar{d} = média aritmética dos diâmetros da parcela;

$Sd(x)$ = desvio padrão modificado;

σ = desvio padrão da parcela.

Devem satisfazer as seguintes condições:

$$\varepsilon < x < \varepsilon + \lambda;$$

$$-\infty < \gamma < +\infty;$$

$$-\infty < \gamma < +\infty;$$

$$\lambda > 0, \delta > 0.$$

3.2.3 Seleção dos modelos ajustados

Para comparar a precisão das freqüências estimadas através dos modelos de distribuição diamétrica testados com as freqüências observadas foi usado o teste D de Kolmogorov-Smirnov: $D = \sup_x |F_{o(x)} - F_{e(x)}|$, onde:

$F_{o(x)}$ - freqüência observada acumulada;

$F_{e(x)}$ - freqüência estimada acumulada;

D é o ponto de maior divergência entre as freqüências.

Para a conclusão do teste, ou seja, verificar se é significativo, calcula-se $D_{cal} = \frac{D}{N}$, onde N é o número total de indivíduos. Se o D_{cal} for menor que o D_{tab} aceita-se o ajuste. D_{tab} é um valor tabulado ao nível α de probabilidade, sendo testado para os níveis α 1% e 5% de significância se referindo ao teste bilateral. A tabela 29 do anexo 03 apresenta os limites de D para este teste.

Foram traçadas curvas das freqüências estimadas sobre o histograma das observadas, por classe de diâmetro, para todas as funções ajustadas. A análise destas freqüências, para as parcelas que apresentaram valor Kolmogorov-Smirnov não significativo, foi finalizada através da adoção de um *ranking* entre as sete distribuições diamétricas, para saber qual distribuição que na média de todas as análises teve a melhor performance.

3.2.4 Análise dos fatores sítio, idade e densidade

Após a escolha do melhor modelo de ajuste, foram construídas tabelas de freqüências por classes de diâmetro por hectare e posteriormente foram traçadas curvas da distribuição diamétrica ao longo das várias idades, sítios e densidades. Para fazer a comparação entre as curvas foi necessário verificar a existência de diferença significativa entre as linhas de regressão, aplicando o teste estatístico qui-quadrado (χ^2). Para as classes que apresentaram freqüências inferiores a cinco, foi necessário agrupá-las com as classes subseqüentes para realizar o teste.

O χ^2 (Qui-quadrado) é obtido pela expressão:

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^n \frac{(n f_i - n F_i)^2}{n F_i}$$

onde:

f_i - probabilidade observada na classe i ;

F_i - probabilidade calculada na classe i ;

n - freqüência total.

O teste foi empregado em cada classe diamétrica. O somatório dos valores deste teste, para todas as classes, forneceu um valor calculado que foi comparado com um valor tabelado, testado para os níveis α 1% e 5% de significância.

3.2.4.1 Assimetria e Curtose

As medidas de assimetria e curtose servem para descrever as formas e a evolução das curvas de distribuição em função de vários fatores. Assimetria é o grau de desvio, ou afastamento da simetria, de uma distribuição de freqüência em relação à curva Normal. A distribuição será simétrica se a média aritmética, moda e mediana forem iguais, portanto o coeficiente de assimetria de Pearson será igual a zero. A distribuição de freqüência será assimétrica quando a média, mediana e a moda recaírem em pontos diferentes da distribuição, sendo o deslocamento dos pontos para a direita ou para a esquerda. Se uma curva de freqüência de uma distribuição tem uma “cauda” mais longa à direita da ordenada máxima do que à esquerda, diz-se que a distribuição é assimétrica para a direita, ou que ela tem assimetria positiva. Se ocorrer o inverso, a assimetria é negativa, ou seja, a distribuição é assimétrica para a esquerda (PEREIRA & TANAKA, 1990; SPIEGEL, 1993; CRESPO, 1998).

Portanto, em distribuições assimétricas tem-se:

- assimetria à direita ou positiva se: moda < mediana < média aritmética;
- assimetria à esquerda ou negativa se: moda > mediana > média aritmética;

Se o coeficiente de assimetria, em módulo, estiver entre 0,15 e 1 a assimetria é considerada moderada e se o mesmo for maior que 1 a assimetria é forte.

Já a curtose é o grau de achatamento ou elevação relativa de uma distribuição,

considerado usualmente em relação à distribuição Normal. Para a curva Normal, o coeficiente de curtose será zero e se este for positivo a distribuição é mais elevada e se for negativo indicará uma curva mais achatada.

PEREIRA & TANAKA (1990) e CRESPO (1998) definem três tipos de curvas em relação à curtose:

- leptocúrtica é a distribuição que tem um pico relativamente alto, com excesso negativo, ou seja, coeficiente de curtose $< 0,263$;
- platicúrtica é a curva que apresenta um topo mais achatado, com excesso positivo, isto é, coeficiente de curtose $> 0,263$;
- mesocúrtica é a curva intermediária, com coeficiente de curtose $= 0,263$.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 CARACTERIZAÇÃO DOS DADOS DAS PARCELAS PERMANENTES

Para avaliar a estrutura diamétrica de uma floresta é necessário fazer um levantamento quantitativo dos elementos que a compõem. Algumas estatísticas descritivas foram elaboradas para auxiliar na transformação e preparação dos dados para a análise desta estrutura. Estas informações são fornecidas para o total dos dados e para os dados estratificados por sítio, idade e densidade das parcelas permanentes avaliando-se a variável diâmetro à altura do peito (d). Para o total dos dados foi encontrado uma amplitude diamétrica 0,8 a 17,2 cm, uma média diamétrica de 6,6 cm e um desvio padrão de 2,57 cm (Tabela 01).

Com base nas amplitudes diamétricas das parcelas permanentes estratificadas por sítio, idade e densidade inicial, os dados puderam ser tabulados em classes de diâmetro com intervalos de 1 cm, resultando em número diferente de classes para cada parcela, conforme a amplitude dos dados das mesmas.

A avaliação da concentração das árvores nas classes diamétricas inferiores ou superiores, também, foi um fato levantado, tomando-se como base o cálculo das freqüências relativas em percentual originadas das freqüências observadas/ha, ou seja, baseado no número de árvores/ha em percentual, originados do número de árvores/ha (Tabela 02a). O valor médio desta freqüência relativa (%) em relação a todas as parcelas permanentes (envolvendo todos os sítios, idades e densidades) permitiu evidenciar que a maior concentração das árvores se encontra na classe diamétrica de 7 a 8 cm (14,2 %) e que até a classe de 8 cm perfazem um total de 57,5% e a partir desta um percentual de 42,5% (Tabela 02b). Resultados, estes, que vem corroborar com o que foi avaliado em trabalho com bracatingais da Região Metropolitana de Curitiba realizada por BAGGIO & CARPANEZZI (1997), onde relataram que em média 36,5 % das árvores não ultrapassam 7 cm de diâmetro e maior freqüência de árvores se encontra na classe de 7,1 a 9 cm de diâmetro, alegando que a tendência em bracatingais é de uma concentração de árvores nas classes diamétricas inferiores, mas que a mesma pode ser influenciada pelo manejo realizado em cada bracatingal, além de outros fatores, como os ambientais.

TABELA 01 – ESTATÍSTICAS DESCRITIVAS DAS PARCELAS PERMANENTES

Sítio	Idade (anos)	Densidade Inicial	Nº árvores/ Parcela	Área parcela	Densidade /ha	Diâmetro Médio (cm)	Diâmetro Mínimo (cm)	Diâmetro Máximo (cm)	Variância (cm ²)	Desvio Padrão (cm)	Assimetria	Curtose
	Total		6733	23400	2877	6,6	0,8	17,2	6,62	2,57	0,356	-0,293
I	3,9	testemunha	165	325	5077	5,3	2,0	10,0	3,82	1,95	0,398	-0,832
I	3,9	2.000	48	325	1477	9,3	3,0	13,7	5,51	2,35	-0,881	0,816
I	3,9	4.000	79	325	2431	7,5	2,9	11,6	4,65	2,16	-0,107	-0,626
I	3,9	8.000	104	325	3200	6,5	2,0	11,1	3,86	1,96	0,061	-0,618
I	4,8	testemunha	77	325	2369	7,1	3,0	10,5	3,28	1,81	0,167	-0,766
I	4,8	2.000	40	325	1231	10,0	2,9	14,7	5,87	2,42	-0,771	0,994
I	4,8	4.000	69	325	2123	8,6	3,0	13,4	5,63	2,37	-0,107	-0,307
I	4,8	8.000	76	325	2338	7,7	3,9	12,0	3,99	2,00	0,076	-0,931
II	4,1	testemunha	373	650	5738	5,3	1,3	11,6	4,77	2,19	0,397	-0,541
II	4,1	2.000	121	650	1862	8,2	2,0	13,5	2,96	1,72	-0,280	1,565
II	4,1	4.000	207	650	3185	7,0	2,0	11,7	4,77	2,18	-0,194	-0,679
II	4,1	8.000	252	650	3877	6,3	2,0	13,0	4,89	2,21	0,201	-0,572
II	5	testemunha	234	650	3600	6,4	1,9	12,1	4,49	2,12	0,330	-0,495
II	5	2.000	110	650	1692	8,5	3,4	14,9	3,34	1,83	0,131	1,460
II	5	4.000	158	650	2431	7,7	3,0	13,2	4,82	2,20	-0,057	-0,625
II	5	8.000	178	650	2738	7,6	3,0	13,6	4,53	2,13	0,269	-0,281
II	6,3	testemunha	189	650	2908	7,3	2,4	13,6	6,32	2,51	0,370	-0,587
II	6,3	2.000	114	650	1754	9,4	4,4	15,9	3,88	1,97	0,135	0,227
II	6,3	4.000	136	650	2092	9,0	3,6	14,5	4,99	2,23	0,038	-0,287
II	6,3	8.000	143	650	2200	8,5	3,9	15,0	5,12	2,26	0,063	-0,444

Continua...

TABELA 01 – Continuação

Sítio	Idade (anos)	Densidade Inicial	Nº árvores/ Parcela	Área parcela	Densidade /ha	Diâmetro Médio (cm)	Diâmetro Mínimo (cm)	Diâmetro Máximo (cm)	Variação (cm ²)	Desvio Padrão (cm)	Assimetria	Curtose
II	7,5	testemunha	62	650	954	8,5	3,7	14,5	6,18	2,49	0,257	-0,392
II	7,5	2.000	32	650	492	10,6	6,8	17,2	5,07	2,25	0,487	1,009
II	7,5	4.000	61	650	938	11,3	7,0	16,7	5,55	2,36	0,028	-0,763
II	7,5	8.000	62	650	954	9,8	4,9	16,1	5,00	2,24	0,155	-0,113
III	4,2	testemunha	637	650	9800	3,9	1,0	9,0	2,49	1,58	0,531	-0,109
III	4,2	2.000	103	650	1585	8,0	3,0	11,3	2,59	1,61	-0,690	1,153
III	4,2	4.000	185	650	2846	6,1	1,3	10,0	3,24	1,80	-0,232	-0,408
III	4,2	8.000	382	650	5877	4,8	0,8	10,5	2,29	1,51	0,227	0,262
III	5,4	testemunha	395	650	6077	4,9	1,4	10,2	3,14	1,77	0,528	0,000
III	5,4	2.000	96	650	1477	8,6	4,9	12,3	2,74	1,65	-0,259	-0,248
III	5,4	4.000	166	650	2554	7,1	2,3	12,9	4,23	2,06	-0,107	-0,482
III	5,4	8.000	318	650	4892	5,3	1,8	9,5	2,26	1,50	0,337	-0,186
III	6,3	testemunha	312	650	4800	5,9	2,0	12,0	3,58	1,89	0,586	0,280
III	6,3	2.000	90	650	1385	9,5	5,0	13,8	3,47	1,86	0,022	0,080
III	6,3	4.000	158	650	2431	8,0	2,9	13,0	4,60	2,14	-0,098	-0,518
III	6,3	8.000	270	650	4154	6,0	2,8	10,5	2,27	1,51	0,399	-0,177
III	7,6	testemunha	178	650	2738	7,0	2,4	13,7	4,51	2,12	0,566	0,325
III	7,6	2.000	69	650	1062	10,4	6,3	14,3	2,70	1,64	0,070	0,254
III	7,6	4.000	114	650	1754	8,8	3,0	13,9	4,64	2,15	-0,002	-0,231
III	7,6	8.000	170	650	2615	6,8	2,7	10,8	2,78	1,67	0,256	-0,499

TABELA 02a – NÚMERO DE ÁRVORES/HA POR CLASSE DIAMÉTRICA PARA OS DIFERENTES SÍTIOS IDADES E DENSIDADES DAS PARCELAS PERMANENTES

Centro de classe	Sitio I								Sitio II															
	3,9 anos				4,8 anos				4,1 anos				5,0 anos				6,3 anos				7,5 anos			
	Tratamentos																							
	T1	T2	T3	T4	T1	T2	T3	T4	T1	T2	T3	T4	T1	T2	T3	T4	T1	T2	T3	T4	T1	T2	T3	T4
0,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1,5	-	-	-	-	-	-	-	-	307,7	-	-	-	15,4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2,5	830,8	61,5	61,5	61,5	-	30,8	-	-	707,7	15,4	138,5	276,9	92,3	-	-	-	46,2	-	-	-	-	-	-	-
3,5	1230,8	0,0	61,5	276,9	123,1	0,0	92,3	30,8	1061,5	30,8	292,3	492,3	400,0	30,8	107,7	138,5	169,2	-	15,4	30,8	46,2	-	-	-
4,5	461,5	30,8	246,2	615,4	246,2	30,8	61,5	276,9	784,6	30,8	246,2	523,1	553,8	0,0	261,5	276,9	369,2	15,4	61,5	138,5	0,0	-	-	15,4
5,5	923,1	61,5	276,9	307,7	553,8	0,0	153,8	276,9	953,8	123,1	400,0	600,0	584,6	107,7	184,6	430,8	369,2	30,8	123,1	230,8	107,7	-	-	30,8
6,5	615,4	123,1	338,5	646,2	400,0	123,1	276,9	430,8	676,9	215,4	492,3	569,2	584,6	246,2	307,7	307,7	476,9	215,4	230,8	200,0	153,8	30,8	15,4	30,8
7,5	553,8	92,3	492,3	615,4	338,5	30,8	400,0	276,9	584,6	400,0	538,5	523,1	600,0	261,5	476,9	553,8	476,9	184,6	384,6	323,1	184,6	46,2	76,9	184,6
8,5	369,2	215,4	369,2	400,0	369,2	123,1	307,7	400,0	400,0	538,5	461,5	523,1	307,7	476,9	353,8	400,0	276,9	307,7	261,5	338,5	76,9	15,4	92,3	123,1
9,5	92,3	307,7	276,9	215,4	184,6	215,4	307,7	369,2	123,1	323,1	446,2	215,4	261,5	276,9	353,8	353,8	246,2	292,3	323,1	292,3	107,7	92,3	153,8	92,3
10,5	-	276,9	153,8	30,8	153,8	307,7	276,9	215,4	123,1	107,7	107,7	107,7	123,1	215,4	230,8	153,8	184,6	338,5	323,1	400,0	123,1	123,1	61,5	215,4
11,5	-	215,4	153,8	30,8	-	153,8	61,5	61,5	15,4	46,2	61,5	30,8	61,5	46,2	123,1	61,5	215,4	276,9	215,4	107,7	61,5	30,8	138,5	138,5
12,5	-	61,5	-	-	-	123,1	123,1	-	-	15,4	0,0	15,4	15,4	0,0	15,4	46,2	30,8	46,2	76,9	92,3	61,5	123,1	123,1	46,2
13,5	-	30,8	-	-	-	61,5	61,5	-	-	15,4	0,0	0,0	0,0	15,4	15,4	15,4	46,2	30,8	46,2	30,8	15,4	15,4	200,0	61,5
14,5	-	0,0	-	-	-	30,8	-	-	-	-	-	-	-	15,4	0,0	0,0	-	0,0	30,8	15,4	15,4	0,0	30,8	0,0
15,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	15,4	-	-	-	0,0	30,8	0,0
16,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,0	15,4	15,4
17,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	15,4	-	-

T1 = Testemunha; T2= 2.000 árvores/ha ; T3= 4.000 árvores/ha; T4 = 8.000 árvores/ha

TABELA 02a – Continuação

Centro de classe	Sítio III															
	4,1 anos				5,0 anos				6,3 anos				7,5 anos			
	Tratamentos															
	T1	T2	T3	T4	T1	T2	T3	T4	T1	T2	T3	T4	T1	T2	T3	T4
0,5	-	-	-	46,2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1,5	1015,4	-	46,2	138,5	169,2	-	-	46,2	-	-	-	-	-	-	-	-
2,5	2292,3	30,8	107,7	615,4	800,0	-	46,2	215,4	200,0	-	46,2	30,8	30,8	-	-	15,4
3,5	2307,7	15,4	292,3	1138,5	1107,7	-	153,8	846,2	492,3	-	30,8	261,5	169,2	-	30,8	46,2
4,5	2015,4	46,2	461,5	1661,5	1523,1	46,2	261,5	1230,8	1046,2	15,4	138,5	923,1	200,0	-	15,4	323,1
5,5	1123,1	46,2	492,3	1138,5	938,5	61,5	276,9	1138,5	892,3	30,8	261,5	1000,0	630,8	-	138,5	646,2
6,5	753,8	261,5	523,1	784,6	800,0	169,2	492,3	830,8	907,7	76,9	323,1	984,6	415,4	15,4	184,6	523,1
7,5	169,2	384,6	584,6	261,5	400,0	215,4	461,5	400,0	676,9	138,5	446,2	461,5	538,5	76,9	292,3	492,3
8,5	123,1	415,4	230,8	61,5	230,8	430,8	353,8	138,5	292,3	307,7	353,8	353,8	292,3	107,7	369,2	276,9
9,5	-	246,2	107,7	15,4	46,2	292,3	323,1	46,2	169,2	338,5	384,6	107,7	261,5	246,2	246,2	230,8
10,5	-	123,1	-	15,4	61,5	169,2	169,2	-	30,8	215,4	230,8	30,8	76,9	323,1	184,6	61,5
11,5	-	15,4	-	-	-	76,9	0,0	-	92,3	153,8	184,6	-	46,2	169,2	138,5	-
12,5	-	-	-	-	-	15,4	15,4	-	-	46,2	30,8	-	61,5	61,5	123,1	-
13,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	61,5	-	-	15,4	46,2	30,8	-
14,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	15,4	-	-
15,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
16,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
17,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

T1 = Testemunha; T2= 2.000 árvores/ha ; T3= 4.000 árvores/ha; T4 = 8.000 árvores/ha

TABELA 02b – NÚMERO DE ÁRVORES/HA EM PORCENTAGEM POR CLASSE DIAMÉTRICA PARA OS DIFERENTES SÍTIOS, IDADES E DENSIDADES DAS PARCELAS PERMANENTES

Centro de classe	Sitio I								Sitio II															
	3,9 anos				4,8 anos				4,1 anos				5,0 anos				6,3 anos				7,5 anos			
	Tratamentos																							
	T1	T2	T3	T4	T1	T2	T3	T4	T1	T2	T3	T4	T1	T2	T3	T4	T1	T2	T3	T4	T1	T2	T3	T4
0,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1,5	-	-	-	-	-	-	-	-	5,4	-	-	-	0,4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2,5	16,4	4,2	2,5	1,9	-	2,5	-	-	12,3	0,8	4,3	7,1	2,6	-	-	-	1,6	-	-	-	-	-	-	
3,5	24,2	-	2,5	8,7	5,2	-	4,3	1,3	18,5	1,7	9,2	12,7	11,1	1,8	4,4	5,1	5,8	-	0,7	1,4	4,8	-	-	
4,5	9,1	2,1	10,1	19,2	10,4	2,5	2,9	11,8	13,7	1,7	7,7	13,5	15,4	0,0	10,8	10,1	12,7	0,9	2,9	6,3	-	-	1,6	
5,5	18,2	4,2	11,4	9,6	23,4	-	7,2	11,8	16,6	6,6	12,6	15,5	16,2	6,4	7,6	15,7	12,7	1,8	5,9	10,5	11,3	-	3,2	
6,5	12,1	8,3	13,9	20,2	16,9	10,0	13,0	18,4	11,8	11,6	15,5	14,7	16,2	14,5	12,7	11,2	16,4	12,3	11,0	9,1	16,1	6,3	1,6	3,2
7,5	10,9	6,3	20,3	19,2	14,3	2,5	18,8	11,8	10,2	21,5	16,9	13,5	16,7	15,5	19,6	20,2	16,4	10,5	18,4	14,7	19,4	9,4	8,2	19,4
8,5	7,3	14,6	15,2	12,5	15,6	10,0	14,5	17,1	7,0	28,9	14,5	13,5	8,5	28,2	14,6	14,6	9,5	17,5	12,5	15,4	8,1	3,1	9,8	12,9
9,5	1,8	20,8	11,4	6,7	7,8	17,5	14,5	15,8	2,1	17,4	14,0	5,6	7,3	16,4	14,6	12,9	8,5	16,7	15,4	13,3	11,3	18,8	16,4	9,7
10,5	-	18,8	6,3	1,0	6,5	25,0	13,0	9,2	2,1	5,8	3,4	2,8	3,4	12,7	9,5	5,6	6,3	19,3	15,4	18,2	12,9	25,0	6,6	22,6
11,5	-	14,6	6,3	1,0	-	12,5	2,9	2,6	0,3	2,5	1,9	0,8	1,7	2,7	5,1	2,2	7,4	15,8	10,3	4,9	6,5	6,3	14,8	14,5
12,5	-	4,2	-	-	-	10,0	5,8	-	-	0,8	-	0,4	0,4	0,0	0,6	1,7	1,1	2,6	3,7	4,2	6,5	25,0	13,1	4,8
13,5	-	2,1	-	-	-	5,0	2,9	-	-	0,8	-	-	-	0,9	0,6	0,6	1,6	1,8	2,2	1,4	1,6	3,1	21,3	6,5
14,5	-	-	-	-	-	2,5	0,0	-	-	-	-	-	-	0,9	-	-	-	-	1,5	0,7	1,6	-	3,3	-
15,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3,3	-
16,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,6	1,6
17,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3,1	-	-

T1 = Testemunha; T2= 2.000 árvores/ha ; T3= 4.000 árvores/ha; T4 = 8.000 árvores/ha

TABELA 02b – Continuação

Centro de classe	Sitio III																Média do número de árvores/ha em porcentagem nas várias classes diamétricas		
	4,1 anos				5,0 anos				6,3 anos				7,5 anos						
	Tratamentos																		
	T1	T2	T3	T4	T1	T2	T3	T4	T1	T2	T3	T4	T1	T2	T3	T4			
0,5	-	-	-	0,8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
1,5	10,4	-	1,6	2,4	2,8	-	-	0,9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,6
2,5	23,4	1,9	3,8	10,5	13,2	-	1,8	4,4	4,2	-	1,9	0,7	1,1	-	-	0,6	-	3,1	
3,5	23,5	1,0	10,3	19,4	18,2	-	6,0	17,3	10,3	-	1,3	6,3	6,2	-	1,8	1,8	-	6,2	
4,5	20,6	2,9	16,2	28,3	25,1	3,1	10,2	25,2	21,8	1,1	5,7	22,2	7,3	-	0,9	12,4	-	9,2	
5,5	11,5	2,9	17,3	19,4	15,4	4,2	10,8	23,3	18,6	2,2	10,8	24,1	23,0	-	7,9	24,7	-	11,1	
6,5	7,7	16,5	18,4	13,4	13,2	11,5	19,3	17,0	18,9	5,6	13,3	23,7	15,2	1,4	10,5	20,0	-	13,1	
7,5	1,7	24,3	20,5	4,5	6,6	14,6	18,1	8,2	14,1	10,0	18,4	11,1	19,7	7,2	16,7	18,8	-	14,2	
8,5	1,3	26,2	8,1	1,0	3,8	29,2	13,9	2,8	6,1	22,2	14,6	8,5	10,7	10,1	21,1	10,6	-	12,9	
9,5	-	15,5	3,8	0,3	0,8	19,8	12,7	0,9	3,5	24,4	15,8	2,6	9,6	23,2	14,0	8,8	-	11,3	
10,5	-	7,8	-	0,3	1,0	11,5	6,6	-	0,6	15,6	9,5	0,7	2,8	30,4	10,5	2,4	-	8,8	
11,5	-	1,0	-	-	-	5,2	0,0	-	1,9	11,1	7,6	-	1,7	15,9	7,9	-	-	4,7	
12,5	-	-	-	-	-	1,0	0,6	-	-	3,3	1,3	-	2,2	5,8	7,0	-	-	2,7	
13,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4,4	-	-	0,6	4,3	1,8	-	-	1,6	
14,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,4	-	-	-	0,3	
15,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,1	
16,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,1	
17,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,1	

T1 = Testemunha; T2= 2.000 árvores/ha ; T3= 4.000 árvores/ha; T4 = 8.000 árvores/ha

4.2 CARACTERIZAÇÃO DOS DADOS DAS PARCELAS TEMPORÁRIAS

O mesmo procedimento efetuado com as parcelas permanentes foi efetuado com as parcelas temporárias. As estatísticas descritivas das parcelas temporárias para todos os dados e para os dados separados para as combinações de sítio e idade são mostrados na Tabela 03. Para o total dos dados (4.979 árvores) foi encontrado uma amplitude diamétrica de 3,4 cm a 33,6 cm, uma média diamétrica de 9,1 cm e um desvio padrão de 3,5 cm.

TABELA 03 - ESTATÍSTICAS DESCRITIVAS DAS PARCELAS TEMPORÁRIAS

Sítio	Idade (anos)	Nº de árvores/parcela	Área das parcelas	Nº de árvores /ha	Diâmetro (cm)					Assimetria	Curtose
					Média	Mínimo	Maximo	Variância (cm ²)	Desvio padrão		
Geral		4949	26480	1869	9,1	3,4	33,6	11,9	3,5	1,564	3,650
I	3	31	100	3100	10,6	5,4	17,2	8,3	2,9	0,144	-0,336
I	4	36	100	3600	8,6	5,1	12,4	4,8	2,2	0,029	-1,162
I	5	400	1380	2899	8,2	5,0	21,3	7,9	2,8	1,485	2,789
I	6	135	640	2109	9,1	5,0	15,5	6,1	2,5	0,278	-0,750
I	9	161	1080	1491	11,7	5,0	27,5	12,8	3,6	1,502	4,251
I	10	56	800	700	14,5	5,3	25,6	19,8	4,4	0,087	0,201
II	3	85	200	4250	7,2	5,1	12,4	2,7	1,6	1,040	0,720
II	4	101	400	2525	8,9	5,1	16,2	7,8	2,8	0,653	-0,311
II	5	610	2800	2179	7,2	5,0	14,0	2,9	1,7	0,920	0,756
II	6	683	3200	2134	8,6	5,0	22,0	5,6	2,4	0,898	1,589
II	7	623	3100	2010	9,4	5,0	19,9	8,4	2,9	0,779	0,508
II	8-9	248	1310	1893	10,9	5,0	27,5	14,7	3,8	1,008	1,343
II	11-12	323	3630	890	12,2	3,4	28,7	15,7	3,9	0,818	1,199
II	18	57	1080	528	19,0	6,8	33,6	24,7	5,0	0,278	1,380
III	3	27	100	2700	8,3	5,4	12,4	4,7	2,2	0,312	-1,189
III	4	86	200	4300	8,5	5,1	15,6	7,2	2,7	0,662	-0,195
III	5	342	1380	2478	6,9	5,0	13,7	2,5	1,6	1,080	1,333
III	6	165	910	1813	8,2	5,0	15,0	4,3	2,1	0,571	-0,121
III	7	533	2160	2468	7,3	5,0	16,7	3,6	1,9	1,432	3,238
III	8-9	54	200	2700	12,2	5,4	19,1	12,8	3,6	0,032	-0,630
III	10	58	600	967	11,3	3,4	19,5	20,0	4,5	-0,005	-0,918
III	12-13	135	1110	1216	12,5	5,0	26,1	17,9	4,2	0,666	0,073

4.3 AJUSTE DAS FUNÇÕES DE DENSIDADE PROBABILÍSTICA PARA AS PARCELAS PERMANENTES

As sete funções de densidade probabilística, citadas anteriormente nos métodos, foram ajustadas para as 40 parcelas permanentes, resultando em 280 análises. Observa-se na Tabela 04 a saída do pacote estatístico utilizado para o ajuste das distribuições, neste caso para uma das análises efetuadas com a função Weibull para a parcela permanente correspondente ao sítio II, idade 4,1 anos e densidade inicial testemunha. Pode-se observar a frequência por classe diamétrica, estimado para a unidade de área da parcela (650 m^2), frequências acumuladas e percentuais, as estatísticas descritivas, tais como média e desvio padrão, os parâmetros da função, o teste qui-quadrado e o Kolmogorov-Smirnov.

Para o teste qui-quadrado o programa reconhece classes com frequência inferior a quatro e faz o agrupamento com a classe adjacente. Ao lado dos testes, aparece a probabilidade de ocorrência da função testada, sendo possível avaliar se é significativa ou não (Tabela 04).

Com base nas 280 análises, pôde-se montar tabelas para a comparação das distribuições. O critério estatístico para a escolha do melhor modelo de distribuição se baseou na estatística Kolmogorov-Smirnov ao nível de 5% e 1% de significância. A decisão da escolha de determinado modelo para o ajuste das distribuições dependeu da comparação dos resultados obtidos deste teste com os valores tabelados do mesmo, como pode ser visualizado no Anexo 03, através do teste bilateral de Kolmogorov-Smirnov. Valores menores que o tabelado, indicaram a aceitação da hipótese de nulidade, o que significa que as frequências esperadas e observadas são similares estatisticamente, recomendando a utilização do modelo, descrevendo bem o conjunto de dados. Já, valores maiores indicam uma inadequação do uso do modelo.

Os resultados do teste Kolmogorov-Smirnov (K-S) apresentaram uma amplitude de 0,0135 a 0,3360. Na maioria das combinações estes resultados não foram significativos para o teste, indicando aderência dos dados à função proposta, mas houve casos em que a significância do teste indicou que as distribuições não são apropriadas para descrever a frequência de diâmetros (Tabelas 05 a 07).

TABELA 04 - DISTRIBUIÇÃO DE FREQUÊNCIA DIAMÉTRICA PELA FUNÇÃO WEIBULL, SAÍDA DO PROGRAMA STATISTICA 5.1, PARA O SÍTIO II, IDADE 4,1 ANOS E DENSIDADE INICIAL TESTEMUNHA

Limite Superior da classe	Frequência Observada	Observada Acumulada	Observada Percentual	Observada Acumulada %	Frequência Estimada
2	20	20	5,4	5,4	20,0
3	46	66	12,3	17,7	35,4
4	69	135	18,5	36,2	53,1
5	51	186	13,7	49,9	63,8
6	62	248	16,6	66,5	63,9
7	44	292	11,8	78,3	54,1
8	38	330	10,2	88,5	38,9
9	26	356	7,0	95,4	23,7
10	8	364	2,1	97,6	12,2
11	8	372	2,1	99,7	5,2
12	1	373	0,3	100,0	2,6

Limite Superior da classe	Estimada Acumulada	Estimada Percentual	Estimada Acum. %	Observada-Estimada	Qui-quadrado (se N>4)
2	20,0	5,4	5,4	0,0	0,00
3	55,5	9,5	14,9	10,6	3,14
4	108,6	14,2	29,1	15,9	4,74
5	172,4	17,1	46,2	-12,8	2,56
6	236,3	17,1	63,3	-1,9	0,06
7	290,4	14,5	77,9	-10,1	1,89
8	329,3	10,4	88,3	-0,9	0,02
9	353,0	6,4	94,6	2,3	0,22
10	365,2	3,3	97,9	-4,2	1,43
11	370,4	1,4	99,3	2,8	-
12	373,0	0,7	100,0	-1,6	0,18

Variável: d médio= 5,31 cm, desvio padrão=2,18 cm

Weibull, Thresh.:0,0000, Par.1: 5,9919, Par.2: 2,6396 (coeficientes)

Qui-quadrado=14,249 df=7 p=,04697 (probabilidade)

K-S (Kolmogorov-Smirnov) d =0,07075 p<0,05000 (probabilidade)

Legenda: N – frequência observada na classe i

Ao se analisar a função S_B , procurou-se escolher a função de densidade que apresentou o menor valor de Kolmogorov-Smirnov, sendo esta função de densidade sempre associada a diferentes valores do parâmetro locação (ε), que corresponde a um valor menor que o diâmetro mínimo da parcela. Avaliando este diâmetro mínimo, das 62 análises, envolvendo as parcelas permanentes e temporárias, 17 análises foram melhores quando a função estava associada ao parâmetro locação (ε) a 100% do diâmetro mínimo, 13 análises com (ε) à 85%, 9 análises com (ε) à 75%, 6 análises com (ε) à 95 e 65 %, 5 análises com (ε) à 55%, 4 análises com (ε) à 45%, 3 análises com (ε) à 5 e 25%, 2 análises com (ε) à 35% e nenhuma análise com (ε) à 15%. Diante desta heterogeneidade, não pode-se escolher qual parâmetro foi o mais adequado, então decidiu-se pela escolha da função com seu respectivo parâmetro que apresentasse o menor valor de Kolmogorov-Smirnov, para cada parcela ajustada.

Esta heterogeneidade dos parâmetros se deve além do tamanho das parcelas, pois quanto maiores forem os tamanhos das parcelas, maior será a relação percentual entre ε e o diâmetro mínimo, logo mais verdadeiro será o diâmetro mínimo que compõe a amostra, os valores devem mudar, também, à medida que o povoamento florestal for se tomando mais velho, corroborando com comentários de TABAI (1999), que complementa dizendo que as prognoses que vierem a ser feitas a partir destas informações devem ser restritas ao curto e médio prazos.

Avaliando o sítio I, para a parcela com idade de 3,9 anos e densidade inicial testemunha, somente a função S_B se ajustou bem aos dados, enquanto as outras distribuições foram inadequadas. Para o tratamento de densidade inicial 2.000 árvores/ha as distribuições Lognormal, Gama, Beta e Weibull 2 foram inadequadas, restando as distribuições Normal, Weibull 3 e a S_B para descrever os dados desta parcela. Já para a idade 4,8 anos, com densidade inicial de 2.000 árvores/ha, a Weibull 2 parâmetros foi inadequada. Para as demais idades e densidades deste sítio todas as distribuições são adequadas para descrever o conjunto de dados (Tabela 05).

Para as parcelas com a primeira idade de medição, aos 4,1 anos, do sítio II, e tratamento de densidade inicial testemunha se ajustaram bem a Weibull 3 parâmetros, a Beta e a S_B . Para a parcela com densidade de 2.000 árvores/ha as distribuições Gama e Beta foram inadequadas e na densidade 4.000 e 8.000 árvores/ha as distribuições

Lognormal e Gama não são indicadas. Para as demais idades e densidades deste sítio todas as distribuições são adequadas para descrever o conjunto de dados (Tabela 06).

Avaliando as parcelas do sítio III que não apresentaram adequação das distribuições, ocorreu a falta de ajuste para todas as distribuições à exceção da função S_B para a primeira idade de medição, aos 4,2 anos, e testemunha. Na densidade 2.000 árvores/ha a Weibull 2 foi inadequada; na densidade 4.000 árvores/ha a Lognormal foi inadequada; e na densidade 8.000 árvores/ha a Lognormal, Gama e Weibull 3 não se ajustaram bem. Para a idade de 5,4 anos e testemunha, a Normal, Lognormal e Weibull 2 não são indicadas para o uso. A Weibull 3 não se ajustou bem aos dados das parcelas com densidade 8.000 árvores/ha nas idades, 5,4; 6,3 e 7,6 anos. Para as demais idades e densidades deste sítio todas as distribuições são adequadas para descrever o conjunto de dados (Tabela 07).

Foi verificado que esta falta de ajuste, praticamente, se repetiu na primeira idade de medição para todos os sítios, independente da densidade inicial, provavelmente devido à uma distribuição diamétrica irregular nesta idade e que vai se regularizando ao longo do tempo.

Diante desta heterogeneidade, decidiu-se efetuar um *ranking* entre as distribuições e concluiu-se que a função S_B de Johnson ficou em primeiro lugar, seguida pelas funções Weibull 3 parâmetros, Gama, Normal, Weibull 2 parâmetros, Beta e em último a Lognormal. Logo, a função S_B foi a indicada para o ajuste das distribuições diamétricas. Os valores em destaque nas Tabelas 05 a 07 indicam a função com a menor pontuação, e como pode ser observado nestas tabelas a S_B aparece na maioria dos casos, o que dispensaria o trabalho de realizar um *ranking* para a escolha da função mais adequada.

Mas para complementar a decisão de escolha, foram traçadas as curvas das distribuições sobre o histograma das freqüências observadas e verificadas as tendenciosidades ao longo das classes diamétricas para todas as combinações. Para visualizar bem estas tendenciosidades, como forma de ilustração, foram selecionadas três parcelas para demonstrar o ajuste das distribuições, com ênfase àquelas em que as distribuições não foram adequadas (Figuras 08 a 10).

TABELA 05 - ESTATÍSTICA KOLMOGOROV-SMIRNOV PARA AS FUNÇÕES PROBABILÍSTICAS TESTADAS PARA AS PARCELAS PERMANENTES, NAS IDADES 3,9 E 4,8 ANOS, NOS 4 TRATAMENTOS DE DENSIDADE INICIAL E NO SÍTIO I

Função	Idade 3,9 anos				Idade 4,8 anos			
	Tratamentos				Tratamentos			
	Test.	2.000	4.000	8.000	Test.	2.000	4.000	8.000
Normal	0,148**	0,154 ^{ns}	0,054 ^{ns}	0,079 ^{ns}	0,115 ^{ns}	0,117 ^{ns}	0,064 ^{ns}	0,081 ^{ns}
Lognormal	0,108*	0,217*	0,092 ^{ns}	0,095 ^{ns}	0,089 ^{ns}	0,171 ^{ns}	0,105 ^{ns}	0,094 ^{ns}
Gama	0,125*	0,199*	0,082 ^{ns}	0,082 ^{ns}	0,090 ^{ns}	0,145 ^{ns}	0,093 ^{ns}	0,085 ^{ns}
Weibull 2	0,136**	0,296**	0,045 ^{ns}	0,076 ^{ns}	0,120 ^{ns}	0,291**	0,072 ^{ns}	0,084 ^{ns}
Weibull 3	0,078**	0,111 ^{ns}	0,077 ⁿ	0,095 ^{ns}	0,048 ^{ns}	0,110 ^{ns}	0,041 ^{ns}	0,073 ^{ns}
Beta	0,103**	0,219*	0,049 ^{ns}	0,074 ^{ns}	0,095 ^{ns}	0,111 ^{ns}	0,145 ^{ns}	0,073 ^{ns}
S_B	0,066 ^{ns}	0,072 ^{ns}	0,049 ^{ns}	0,042 ^{ns}	0,061 ^{ns}	0,069 ^{ns}	0,057 ^{ns}	0,046 ^{ns}

Legenda: ns - não significativo; * - significativo à 5%; ** - significativo à 1%; Test. – tratamento de densidade inicial testemunha.

TABELA 06 - ESTATÍSTICA KOLMOGOROV-SMIRNOV PARA AS FUNÇÕES PROBABILÍSTICAS TESTADAS PARA AS PARCELAS PERMANENTES, NAS IDADES 4,1 A 7,5 ANOS, NOS 4 TRATAMENTOS DE DENSIDADE INICIAL E NO SÍTIO II

Função	Idade 4,1 anos				Idade 5,0 anos				Idade 6,3 anos				Idade 7,5 anos			
	Tratamentos				Tratamentos				Tratamentos				Tratamentos			
	Test.	2.000	4.000	8.000												
Normal	0,088**	0,068 ^{ns}	0,077 ^{ns}	0,099 ^{ns}	0,063 ^{ns}	0,081 ^{ns}	0,060 ^{ns}	0,079 ^{ns}	0,074 ^{ns}	0,047 ^{ns}	0,057 ^{ns}	0,060 ^{ns}	6,638 ^{ns}	0,085 ^{ns}	0,099 ^{ns}	0,117 ^{ns}
Lognormal	0,087**	0,119 ^{ns}	0,141**	0,114**	0,063 ^{ns}	0,128 ^{ns}	0,107 ^{ns}	0,102 ^{ns}	0,057 ^{ns}	0,082 ^{ns}	0,065 ^{ns}	0,090 ^{ns}	0,080 ^{ns}	0,090 ^{ns}	0,113 ^{ns}	0,110 ^{ns}
Gama	0,070*	0,102*	0,122**	0,099**	0,052 ^{ns}	0,111 ^{ns}	0,086 ^{ns}	0,083 ^{ns}	0,058 ^{ns}	0,069 ^{ns}	0,056 ^{ns}	0,071 ^{ns}	0,064 ^{ns}	0,083 ^{ns}	0,109 ^{ns}	0,103 ^{ns}
Weibull 2	0,071*	0,077 ^{ns}	0,070 ^{ns}	0,061 ^{ns}	0,053 ^{ns}	0,082 ^{ns}	0,056 ^{ns}	0,068 ^{ns}	0,062 ^{ns}	0,056 ^{ns}	0,060 ^{ns}	0,062 ^{ns}	0,093 ^{ns}	0,104 ^{ns}	0,083 ^{ns}	0,109 ^{ns}
Weibull 3	0,062 ^{ns}	0,078 ^{ns}	0,081 ^{ns}	0,079 ^{ns}	0,051 ^{ns}	0,054 ^{ns}	0,100 ^{ns}	0,060 ^{ns}	0,067 ^{ns}	0,070 ^{ns}	0,053 ^{ns}	0,079 ^{ns}	0,073 ^{ns}	0,097 ^{ns}	0,117 ^{ns}	0,092 ^{ns}
Beta	0,056 ^{ns}	0,129*	0,093 ^{ns}	0,075 ^{ns}	0,047 ^{ns}	0,110 ^{ns}	0,107 ^{ns}	0,083 ^{ns}	0,066 ^{ns}	0,076 ^{ns}	0,047 ^{ns}	0,084 ^{ns}	0,077 ^{ns}	0,119 ^{ns}	0,087 ^{ns}	0,092 ^{ns}
S_B	0,033 ^{ns}	0,048 ^{ns}	0,043 ^{ns}	0,031 ^{ns}	0,019 ^{ns}	0,049 ^{ns}	0,041 ^{ns}	0,046 ^{ns}	0,086 ^{ns}	0,038 ^{ns}	0,027	0,037	0,023	0,089 ^{ns}	0,055 ^{ns}	0,048 ^{ns}

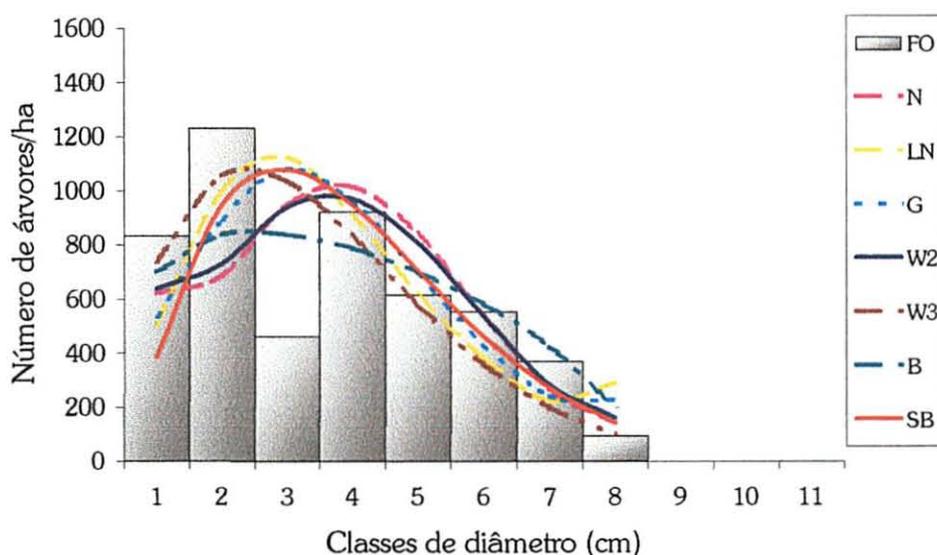
Legenda: ns - não significativo; * - significativo à 5%; ** - significativo à 1%; Test. – tratamento de densidade inicial testemunha.

TABELA 07 - ESTATÍSTICA KOLMOGOROV-SMIRNOV PARA AS FUNÇÕES PROBABILÍSTICAS TESTADAS PARA AS PARCELAS PERMANENTES, NAS IDADES 4,2 A 7,6 ANOS, NOS 4 TRATAMENTOS DE DENSIDADE INICIAL E NO SÍTIO III

Função	Idade 4,2 anos				Idade 5,4 anos				Idade 6,3 anos				Idade 7,6 anos			
	Tratamentos				Tratamentos				Tratamentos				Tratamentos			
	Test.	2.000	4.000	8.000												
Normal	0,096**	0,105 ^{ns}	0,079 ^{ns}	0,062 ^{ns}	0,090**	0,090 ^{ns}	0,057 ^{ns}	0,072 ^{ns}	0,074 ^{ns}	0,070 ^{ns}	0,043 ^{ns}	0,054 ^{ns}	0,066 ^{ns}	0,075 ^{ns}	0,054 ^{ns}	0,085 ^{ns}
Lognormal	0,101**	0,146 ^{ns}	0,104**	0,095*	0,088**	0,127 ^{ns}	0,096 ^{ns}	0,073 ^{ns}	0,046 ^{ns}	0,101 ^{ns}	0,086 ^{ns}	0,041 ^{ns}	0,058 ^{ns}	0,081 ^{ns}	0,072 ^{ns}	0,049 ^{ns}
Gama	0,077**	0,134 ^{ns}	0,100 ^{ns}	0,071*	0,067 ^{ns}	0,116 ^{ns}	0,076 ^{ns}	0,058 ^{ns}	0,036 ^{ns}	0,088 ^{ns}	0,069 ^{ns}	0,036 ^{ns}	0,040 ^{ns}	0,070 ^{ns}	0,057 ^{ns}	0,056 ^{ns}
Weibull 2	0,075**	0,336**	0,071 ^{ns}	0,064 ^{ns}	0,075*	0,089 ^{ns}	0,053 ^{ns}	0,075 ^{ns}	0,064 ^{ns}	0,095 ^{ns}	0,039 ^{ns}	0,061 ^{ns}	0,065 ^{ns}	0,107 ^{ns}	0,071 ^{ns}	0,088 ^{ns}
Weibull 3	0,065**	0,057 ^{ns}	0,068 ^{ns}	0,026**	0,047 ^{ns}	0,065 ^{ns}	0,072 ^{ns}	0,031**	0,063 ^{ns}	0,069 ^{ns}	0,070 ^{ns}	0,041**	0,081 ^{ns}	0,046 ^{ns}	0,037 ^{ns}	0,035**
Beta	0,080**	0,096 ^{ns}	0,075 ^{ns}	0,057 ^{ns}	0,068 ^{ns}	0,091 ^{ns}	0,071 ^{ns}	0,071 ^{ns}	0,070 ^{ns}	0,115 ^{ns}	0,044 ^{ns}	0,053 ^{ns}	0,073 ^{ns}	0,091 ^{ns}	0,090 ^{ns}	0,084 ^{ns}
S_B	0,014 ^{ns}	0,035 ^{ns}	0,039 ^{ns}	0,034 ^{ns}	0,030 ^{ns}	0,037 ^{ns}	0,023 ^{ns}	0,020 ^{ns}	0,027 ^{ns}	0,04 ^{ns}	0,016 ^{ns}	0,015 ^{ns}	0,037 ^{ns}	0,044 ^{ns}	0,034 ^{ns}	0,036 ^{ns}

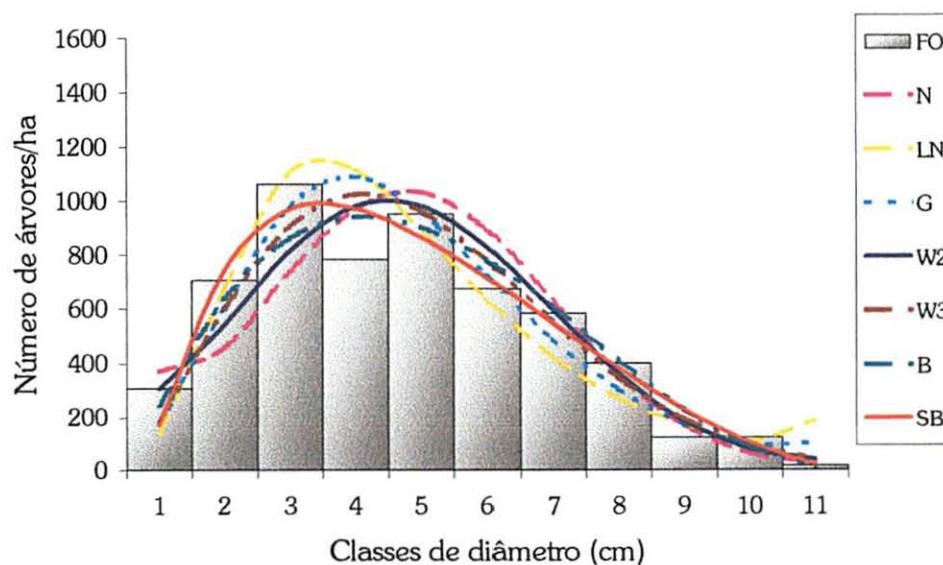
Legenda: ns - não significativo; * - significativo à 5%; ** - significativo à 1%; Test. – tratamento de densidade inicial testemunha.

FIGURA 08- CURVAS DA DISTRIBUIÇÃO DIAMÉTRICA ESTIMADAS PELAS FUNÇÕES NORMAL, LOGNORMAL, GAMA, WEIBULL 2 , WEIBULL 3, BETA E S_B PARA A PARCELA DO SÍTIO I, IDADE 3,9 ANOS E TESTEMUNHA



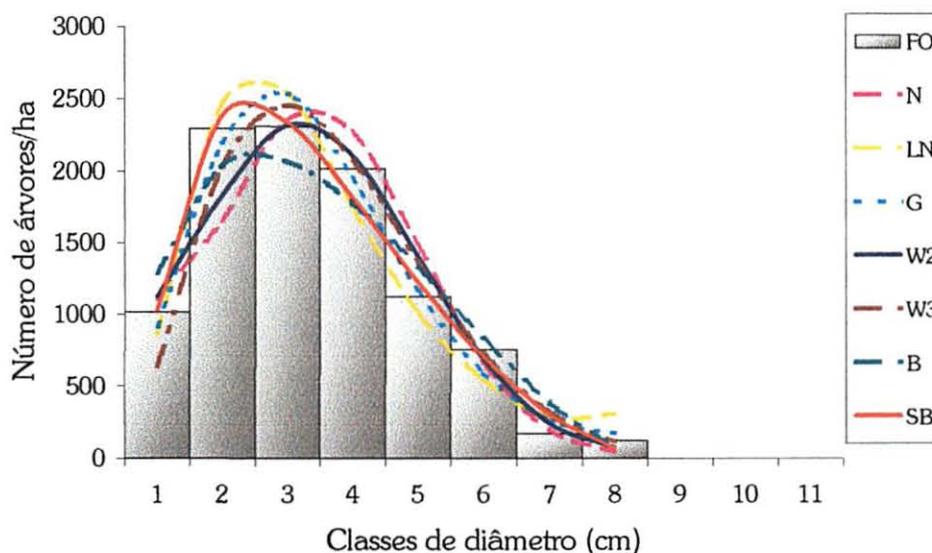
Legenda: FO – Frequência observada, N - Normal, LN - lognormal, G - Gama, W2 – Weibull de 2 parâmetros, W3 - Weibull de 3 parâmetros, B - Beta e S_B

FIGURA 09 - CURVAS DA DISTRIBUIÇÃO DIAMÉTRICA ESTIMADAS PELAS FUNÇÕES NORMAL, LOGNORMAL, GAMA, WEIBULL 2 , WEIBULL 3, BETA E S_B PARA A PARCELA DO SÍTIO II, IDADE 4,1 ANOS E TESTEMUNHA



Legenda: FO – Frequência observada, N - Normal, LN - lognormal, G - Gama, W2 – Weibull de 2 parâmetros, W3 - Weibull de 3 parâmetros, B - Beta e S_B

FIGURA 10 - CURVAS DA DISTRIBUIÇÃO DIAMÉTRICA ESTIMADAS PELAS FUNÇÕES NORMAL, LOGNORMAL, GAMA, WEIBULL 2 , WEIBULL 3, BETA E S_B PARA A PARCELA DO SÍTIO III, IDADE 4,2 ANOS E TESTEMUNHA



Legenda: FO – Frequência observada, N - Normal, LN - lognormal, G - Gama, W2 – Weibull de 2 parâmetros, W3 - Weibull de 3 parâmetros, B - Beta e S_B

4.4 AJUSTE DAS FUNÇÕES DE DENSIDADE PROBABILÍSTICA PARA AS PARCELAS TEMPORÁRIAS

Para cada combinação de sítio e idade foram ajustados as sete funções de densidade probabilística citadas anteriormente, resultando em 154 análises. Estas análises forneceram resultados do teste Kolmogorov-Smirnov (K-S) de 0,0219 a 0,1610.

Para as parcelas do sítio I, nas idades 3, 4, 9 e 10-11 anos, todas funções tiveram bons desempenhos, visto que não apresentaram significância nos valores dos testes estatísticos, mas, para a idade 5 anos, somente a S_B e a Weibull 3 parâmetros foram adequadas e as outras funções apresentaram significância nos valores dos testes estatísticos, indicando inadequabilidade de uso (Tabela 08). A mesma falta de ajuste ocorreu para as parcelas do sítio II nas idades 5 e 6 para todas as distribuições. Na idade 7 anos, a falta de ajuste apareceu para a distribuições Weibull 2 parâmetros e Beta e, na idade 11-12 anos, para a Normal e Weibull 2 parâmetros (Tabela 09).

Avaliando as parcelas do sítio III, a falta de ajuste ocorreu nas idades 5 e 7 anos com todas as distribuições à exceção da função S_B . Na idade 12-13 anos somente a

Normal não foi adequada. Para as outras idades todas as distribuições são indicadas (Tabela 08).

Ao se fazer um *ranking* das distribuições, em função do K-S, pôde-se concluir que em primeiro lugar apareceu a função S_B , seguida pelas funções Lognormal, Gama, Weibull 3 parâmetros, Beta, Normal e por último a Weibull 2 parâmetros.

Os valores do K-S para todas as análises efetuadas para as parcelas temporárias se encontram nas Tabelas 08 e 09. Os valores destacados indicam a função com o menor valor, portanto como pode ser observado nestas tabelas, a S_B aparece na maioria dos casos, igualmente como ocorreu com as parcelas permanentes, o que dispensaria realizar um *ranking* para a escolha da função mais adequada.

TABELA 08 - ESTATÍSTICA KOLMOGOROV-SMIRNOV PARA AS FUNÇÕES PROBABILÍSTICAS TESTADAS PARA AS PARCELAS TEMPORÁRIAS NAS IDADES 3 A 6 E 9 A 11 ANOS, SÍTIO I

Função	Idades					
	3	4	5	6	9	10-11
Normal	0,073 ^{ns}	0,091 ^{ns}	0,125 ^{**}	0,095 ^{ns}	0,097 ^{ns}	0,076 ^{ns}
Lognormal	0,126 ^{ns}	0,111 ^{ns}	0,077 [*]	0,102 ^{ns}	0,046 ^{ns}	0,142 ^{ns}
Gama	0,106 ^{ns}	0,104 ^{ns}	0,094 ^{**}	0,091 ^{ns}	0,057 ^{ns}	0,118 ^{ns}
Weibull 2	0,076 ^{ns}	0,103 ^{ns}	0,152 ^{**}	0,089 ^{ns}	0,106 ^{ns}	0,082 ^{ns}
Weibull 3	0,097 ^{ns}	0,096 ^{ns}	0,095 ^{ns}	0,118 ^{ns}	0,086 ^{ns}	0,120 ^{ns}
Beta	0,121 ^{ns}	0,078 ^{ns}	0,105 ^{**}	0,078 ^{ns}	0,116 [*]	0,135 ^{ns}
S_B	0,048 ^{ns}	0,048 ^{ns}	0,032 ^{ns}	0,068 ^{ns}	0,051 ^{ns}	0,070 ^{ns}

Legenda: ns - não significativo; * - significativo à 5%; ** - significativo à 1%.

TABELA 09 - ESTATÍSTICA KOLMOGOROV-SMIRNOV PARA AS FUNÇÕES PROBABILÍSTICAS TESTADAS PARA AS PARCELAS TEMPORÁRIAS PARA AS IDADES 3 A 9, 11, 12 E 18 ANOS NO SÍTIO II E PARA AS IDADES 3 A 10, 12, 13 ANOS NO SÍTIO III

Função	Sítio II								Sítio III							
	Idades															
	3	4	5	6	7	8-9	11-12	18	3	4	5	6	7	8-9	10	12-13
Normal	0,144 ^{ns}	0,106 ^{ns}	0,101 ^{**}	0,069 [*]	0,073 ^{ns}	0,082 ^{ns}	0,081 [*]	0,096 ^{ns}	0,149 ^{ns}	0,116 ^{ns}	0,115 ^{**}	0,083 ^{ns}	0,111 ^{**}	0,082 ^{ns}	0,072 ^{ns}	0,121 [*]
Lognormal	0,127 ^{ns}	0,078 ^{ns}	0,071 ^{**}	0,061 ^{**}	0,049 ^{ns}	0,042 ^{ns}	0,037 ^{ns}	0,149 ^{ns}	0,159 ^{ns}	0,110 ^{ns}	0,088 ^{**}	0,081 ^{ns}	0,073 ^{**}	0,136 ^{ns}	0,112 ^{ns}	0,055 ^{ns}
Gama	0,135 ^{ns}	0,090 ^{ns}	0,079 ^{**}	0,059 ^{**}	0,052 ^{ns}	0,056 ^{ns}	0,040 ^{ns}	0,129 ^{ns}	0,161 ^{ns}	0,110 ^{ns}	0,092 ^{**}	0,082 ^{ns}	0,082 ^{**}	0,116 ^{ns}	0,084 ^{ns}	0,078 ^{ns}
Weibull 2	0,143 ^{ns}	0,096 ^{ns}	0,138 ^{**}	0,088 ^{**}	0,080 ^{**}	0,081 ^{ns}	0,081 [*]	0,107 ^{ns}	0,142 ^{ns}	0,117 ^{ns}	0,158 ^{**}	0,097 ^{ns}	0,157 ^{**}	0,090 ^{ns}	0,071 ^{ns}	0,113 ^{ns}
Weibull 3	0,067 ^{ns}	0,072 ^{ns}	0,072 ^{**}	0,071 ^{**}	0,070 ^{ns}	0,077 ^{ns}	0,068 ^{ns}	0,130 ^{ns}	0,127 ^{ns}	0,129 ^{ns}	0,052 ^{**}	0,059 [*]	0,056 ^{**}	0,152 ^{ns}	0,106 ^{ns}	0,083 ^{ns}
Beta	0,090 ^{ns}	0,044 ^{ns}	0,113 ^{**}	0,121 ^{**}	0,065 [*]	0,055 ^{ns}	0,076 ^{ns}	0,130 ^{ns}	0,147 ^{ns}	0,089 ^{ns}	0,117 ^{**}	0,089 ^{ns}	0,131 ^{**}	0,111 ^{ns}	0,075 ^{ns}	0,080 ^{ns}
S_B	0,045 ^{ns}	0,022 ^{ns}	0,062 [*]	0,055 [*]	0,047 ^{ns}	0,026 ^{ns}	0,036 ^{ns}	0,078 ^{ns}	0,151 ^{ns}	0,113 ^{ns}	0,057 ^{ns}	0,069 ^{ns}	0,047 ^{ns}	0,060 ^{ns}	0,034 ^{ns}	0,043 ^{ns}

Legenda: ns - não significativo; * - significativo à 5%; ** - significativo à 1%.

Após as análises, tanto das parcelas permanentes como das temporárias, que em conjunto foi possível realizar 434 análises, envolvendo as combinações de sítio, idade e densidade, a função S_B foi a que melhor se ajustou em todas as combinações, apresentando valores não significativos para o testes estatístico K-S, os quais indicam presença de ajuste, ou seja, adequabilidade do modelo aos dados. Pela análise visual gráfica das curvas ajustadas sobre as observadas e a análise de resíduos foi a função que apresentou melhor ajuste e menores resíduos. Diante de todas as evidências pôde-se selecionar esta função para construção das curvas de distribuição diamétrica e prosseguir as análises visual gráfica e estatística dos efeitos dos fatores idade, densidade e sítio na distribuição de diâmetros em bracingais.

Este comportamento foi similar ao trabalho de FINGER (1982), com *Acacia mearnsii* que também comprovou, através dos testes Komogorov-Smirnov e do Logaritmo da Probabilidade, que a função S_B foi a melhor para descrever a distribuição de diâmetros em todas as idades estudadas (3,5 a 7,5 anos).

Resultados similares foram encontrados por THIERSCH (1997), para *Eucalyptus camaldulensis*, onde se destacou a função S_B de Johnson seguida da função Beta, ambas com ajuste pelo método dos momentos. Observou-se que estas distribuições se mantiveram estáveis para a maioria das idades, muito provavelmente pela grande flexibilidade de suas formas. As outras distribuições, embora inferiores à S_B , apresentaram desempenhos satisfatórios, à exceção das distribuições Gama e Lognormal que apresentaram desempenhos inferiores.

TABAI (1999) estudou a acuracidade da função S_B na estimativa da distribuição diamétrica de *Pinus taeda* por cinco métodos de ajuste para analisar a influência da idade e do espaçamento nos ajustes e avaliar a correlação dos parâmetros estimados pelos vários métodos com a idade, para fazer inferências sobre prognose. Concluiu que o método dos momentos, o mesmo utilizado neste trabalho, deve ser o preferível para estimar a freqüência para esta espécie.

SILVA (1999), trabalhando com a produção de *Eucalyptus camaldulensis* no Estado do Mato Grosso, concluiu para avaliação da estrutura diamétrica que o melhor ajuste também foi, conseguindo com a função S_B e pelo mesmo método usado do atual trabalho, ou seja, o método dos momentos e a 35% do diâmetro mínimo, seguidos pelas proporções de 45 e 25%, ocupando as três primeiras posições no *ranking*.

4.5 ANÁLISE DO FATOR IDADE NA DISTRIBUIÇÃO DIAMÉTRICA

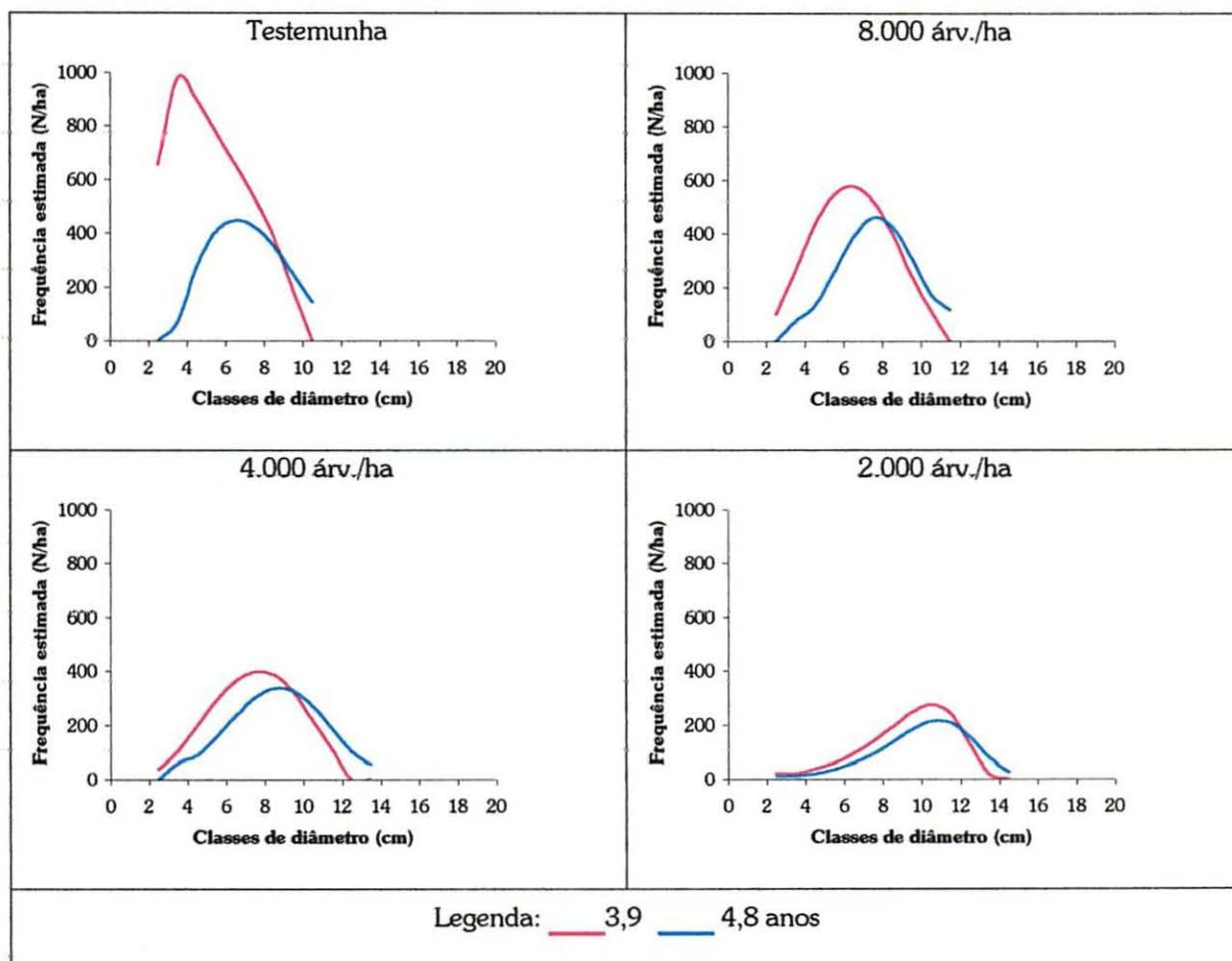
Para avaliar a evolução da distribuição diamétrica ao longo do tempo e o efeito do mesmo nas curvas de distribuição diamétrica, estimadas pela função S_B de Jonhson, foram traçadas curvas para cada idade de medição das parcelas permanentes, onde foram fixados os fatores do sítio e densidade para avaliar somente a idade.

Verificou-se um aumento na amplitude total dos diâmetros com o passar do tempo. O número de árvores diminuiu nas menores classes e aumentou nas maiores e, além disso, as curvas se movimentaram para a direita. Segundo os índices de assimetria e curtose, encontrados na Tabela 02, observou-se uma distribuição assimétrica à direita ou positiva para idades 3,9 e 4,8 anos, nas densidades testemunha e 8.000 árvores/ha, e um excesso negativo quanto à curtose (curvas leptocúrticas) em comparação à curva normal. Para as outras densidades destas medições observou-se assimetrias negativas (ou à esquerda) e quanto à curtose foram platicúrticas, ou seja, mais achatadas. Mas todas as curvas apresentaram assimetria moderada (coeficiente entre 0,15 e 1). Portanto, com o aumento da idade as curvas que eram assimétricas à direita passaram a ser assimétricas à esquerda e se tornaram mais achatadas (Figura 11).

ROCHADELI (1997) também verificou, para bracatingais da porção norte da Região Metropolitana de Curitiba, que nas menores idades a assimetria à direita é mais significativa que nas maiores idades, além disso, nestas idades algumas parcelas apresentaram um certo achatamento nas suas curvas de frequência. Da mesma forma, as maiores classes diamétricas apresentaram um desvio menor, no que se refere à diferença entre os dados observados e esperados, enquanto que as classes médias e inferiores apresentaram um desvio maior.

Esta evolução de assimetria e curtose, também, foi verificada por SCOLFORO (1990) para povoamento de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* com índice de sítio 29 m, 500 árvores/ha, nas idades 15 a 19 anos.

FIGURA 11 - EVOLUÇÃO DAS FREQUÊNCIAS ESTIMADAS POR HECTARE PELA FUNÇÃO S_B , PARA AS PARCELAS DO SÍTIO I, NAS IDADES 3,9 E 4,8 ANOS, PARA OS 4 TRATAMENTOS DE DENSIDADE INICIAL



Para os sítio II e III as tendências encontradas não foram diferentes do sítio I, nas várias densidades, no entanto como esses sítios se apresentaram com mais idades, é mais fácil e evidente verificar os efeitos da idade nas curvas de distribuição diamétrica, visto que, mais idades aparecem para reforçar o que já foi encontrado no sítio I (Figuras 12 e 13).

Nas primeiras idades do povoamento a frequência estimada/ha é maior nas menores classes diamétricas e vai diminuindo com o aumento das idades, deslocando a curva para a direita, com assimetrias positivas, com um alongamento na *cauda* da curva para a direita. No entanto, uma assimetria negativa foi verificada nas curvas das idades 4,1 anos para 2.000 e 4.000 árvores/ha e 5,0 anos para a densidade 4.000 árvores/ha. Os achatamentos foram bem evidenciados das menores para as maiores idades (todas as curvas leptocúrticas) (Figuras 12 e 13). Conforme os índices de assimetria e curtose encontrados na Tabela 02, ratificam-se estas análises visuais e ainda pode-se concluir

que todas as curvas apresentaram assimetria moderada (coeficientes entre 0,15 e 1).

NEGREIROS; DIAS & COUTO (1990), apesar de terem utilizado a função Beta para o ajuste de dados da distribuição de diâmetros de uma floresta pluvial tropical, verificaram alterações similares nas distribuições diamétricas, com o maior número de indivíduos nas menores classes e um menor número nas maiores classes.

FIGURA 12 - EVOLUÇÃO DAS FREQUÊNCIAS ESTIMADAS POR HECTARE PELA FUNÇÃO S_B PARA AS PARCELAS DO SÍTIO II, IDADES 4,1 A 7,5 ANOS, PARA OS 4 TRATAMENTOS DE DENSIDADE INICIAL

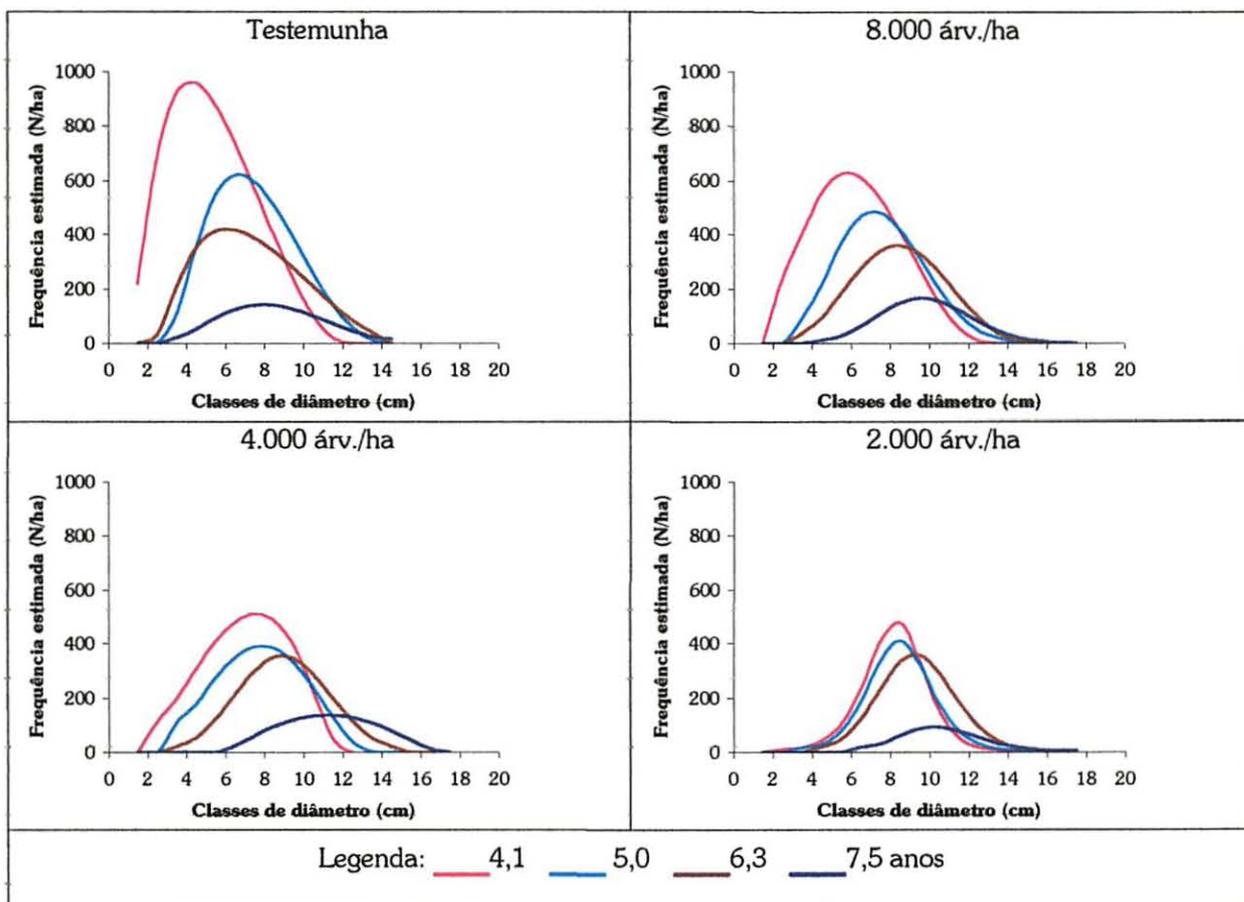
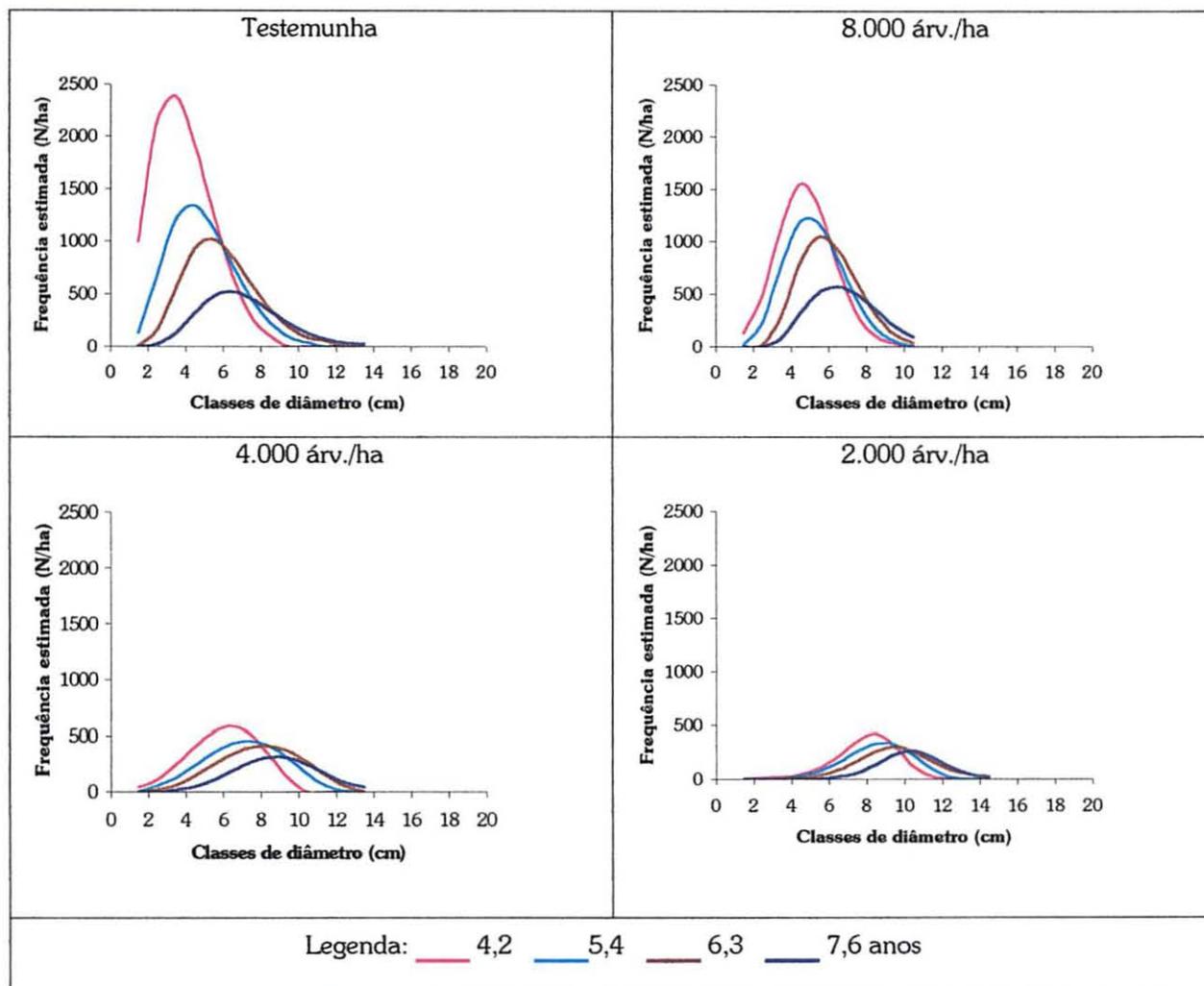


FIGURA 13 - EVOLUÇÃO DAS FREQUÊNCIAS ESTIMADAS POR HECTARE PELA FUNÇÃO S_B PARA AS PARCELAS DO SÍTIO III, IDADES 4,2 A 7,6 ANOS, PARA OS 4 TRATAMENTOS DE DENSIDADE INICIAL



Visualmente pode-se verificar que há uma diferença bem aparente entre as curvas (Figuras 11, 12 e 13), pois o diâmetro tende a aumentar com o aumento das idades deslocando a curva ao longo das classes diamétricas, pois há uma mudança de árvores de uma classe para outra ao mesmo tempo que há mortalidade de árvores, reduzindo a frequência total ao longo do tempo nas maiores classes. Para comprovar, estatisticamente, a diferença da forma das curvas entre as várias combinações de idade, utilizou-se o teste estatístico qui-quadrado para avaliar se há ou não efeito do fator idade na distribuição diamétrica.

Tabelas contendo as frequências estimadas por hectare ao longo do tempo por classes diamétricas foram construídas para fazer a comparação entre as curvas. As classes com frequências inferiores a cinco foram agrupadas com as classes adjacentes

para ser possível a comparação entre as linhas de regressão através do teste estatístico, de forma que, no momento da comparação, todas as parcelas tivessem número de classes similares. Na Tabela 10 estas freqüências por classes diamétricas podem ser observadas para as idades 3,9 e 4,8 do sítio I.

TABELA 10 - NÚMERO DE ÁRVORES ESTIMADAS POR HECTARE ATRAVÉS DA FUNÇÃO S_B , POR CLASSE DIAMÉTRICA PARA AS IDADES 3,9 E 4,8 ANOS, NO SÍTIO I, PARA OS 4 TRATAMENTOS DE DENSIDADE INICIAL

Centro de classe	Testemunha		2.000 árv./ha		4.000 árv./ha		8.000 árv./ha	
	Idades (anos)							
	3,9	4,8	3,9	4,8	3,9	4,8	3,9	4,8
2,5	654,3	-	22,1	12,1	36,8	-	100,7	-
3,5	979,5	69,8	21,1	11,0	104,9	59,6	260,0	75,0
4,5	898,0	275,6	36,6	20,1	199,2	89,0	431,5	131,8
5,5	778,9	406,4	60,3	35,2	292,4	157,5	546,1	255,6
6,5	658,3	447,5	94,3	59,0	363,9	235,2	577,3	387,7
7,5	533,1	424,2	139,6	93,4	398,3	302,2	523,5	460,0
8,5	386,6	354,0	193,7	137,2	385,4	337,1	401,6	427,1
9,5	188,1	248,5	246,4	182,7	322,0	325,9	244,2	310,2
10,5	-	143,2	274,6	213,3	216,2	270,1	115,1	176,3
11,5	-	-	241,8	207,5	111,8	187,1	-	114,8
12,5	-	-	128,6	155,5	-	103,7	-	-
13,5	-	-	17,8	79,2	-	55,6	-	-
14,5	-	-	-	24,4	-	-	-	-

Há diferença significativa entre os os valores calculados (Tabela 11) e tabelados (Tabela 12) do teste χ^2 para 5% e 1% de significância para até 20 graus de liberdade (GL). Para um mesmo nível de significância, quanto maior o valor do GL, maior o valor tabelado. Esta diferença comprovou o que foi avaliado visualmente, ou seja, uma grande diferença entre as curvas e um forte efeito da idade na distribuição diamétrica.

TABELA 11 - VALORES DO TESTE χ^2 (QUI-QUADRADO) ENVOLVENDO A COMBINAÇÃO DAS IDADES 3,9 E 4,8 ANOS, NO SÍTIO I, PARA OS 4 TRATAMENTOS DE DENSIDADE INICIAL, PARA AVALIAÇÃO DO FATOR IDADE

	Testemunha	2.000 árv./ha	4.000 árv./ha	8.000 árv./ha
χ^2	37000,8	237,4	642,4	2324,0
GL	6	11	8	7

TABELA 12 - LIMITES DA DISTRIBUIÇÃO DE QUI-QUADRADO (χ^2)

GL	Significância		GL	Significância		GL	Significância		GL	Significância	
	0,05	0,01		0,05	0,01		0,05	0,01		0,05	0,01
1	3,84	6,63	6	12,6	16,8	11	19,7	24,7	16	26,3	32
2	5,99	9,21	7	14,1	18,5	12	21	26,2	17	27,6	33,4
3	7,81	11,3	8	15,5	20,1	13	22,4	27,7	18	28,9	34,8
4	9,49	13,3	9	16,9	21,7	14	23,7	29,1	19	30,1	36,2
5	11,1	15,1	10	18,3	23,2	15	25	30,6	20	31,4	37,6

GL (Graus de Liberdade) = n^o de classes - 1

A freqüência estimada nas diferentes idades do sítio II pode ser observado na Tabela 13. A Tabela de freqüência e o teste qui-quadrado para o sítio III se encontram no Anexo 2, visto que os efeitos para este se repetem.

Foi observado que quanto maior a diferença entre duas idades comparadas, maior o valor do χ^2 . Estes valores foram significativos à 1% para as idades nas várias densidades do sítio II e III (Tabela 14).

Os resultados apresentados comprovaram a teoria a respeito da variável idade. As diferenças significativas causadas pela idade na distribuição diamétrica eram esperadas.

Os comportamentos das curvas no presente trabalho, ao se avaliar as idades, estão em conformidade com o trabalho de CLUTTER & BENETT (1965), onde observaram que as curvas de distribuição diamétrica para *Pinus elliottii* deslocaram-se para a direita em função do fator idade, ocorrendo um decréscimo do número de árvores nas classes inferiores e um acréscimo nas classes superiores.

Esta mesma evolução foi encontrada por ARCE *et al.* (1999) para *Populus deltoides* Marsh, nas curvas de distribuição diamétrica estimadas pela função Weibull para as medições de 1987 até 1995, com deslocamentos e achatamentos bem destacados (Figura 14). As linhas tracejadas correspondem a curvas simuladas para o ano de 1988 por um modelo genérico de predição de parâmetros contendo um atributo do povoamento, o d_g (diâmetro da área transversal média).

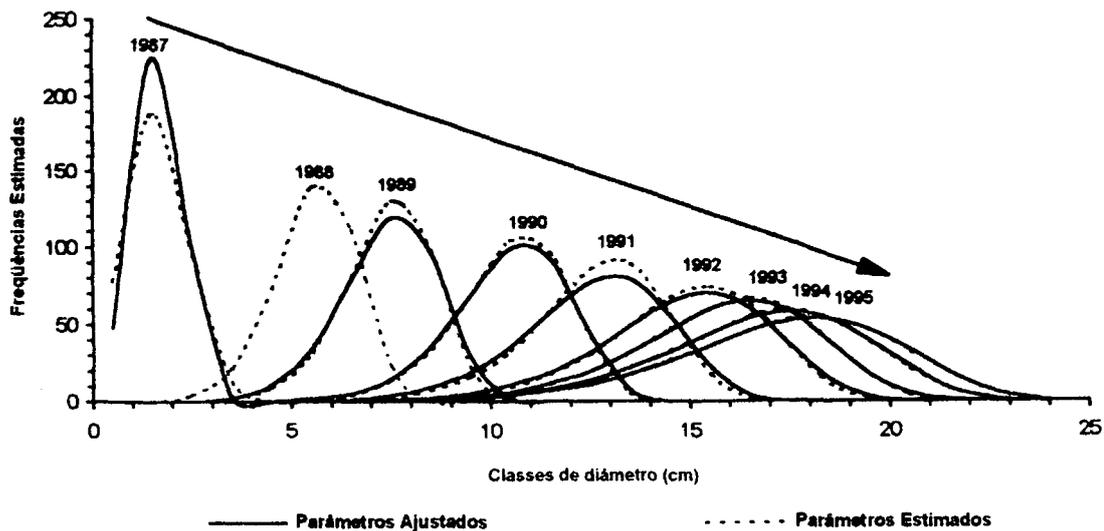
TABELA 13 - NÚMERO DE ÁRVORES ESTIMADAS POR HECTARE POR MEIO DA FUNÇÃO SB, POR CLASSE DIAMÉTRICA PARA AS IDADES 4,1 A 7,5 ANOS, NO SÍTIO II, PARA OS 4 TRATAMENTOS DE DENSIDADE INICIAL

Centro de Classe	Testemunha				2.000 árv./ha				4.000 árv./ha				8.000 árv./ha			
	Idades (anos)															
	4,1	5,0	6,3	7,5	4,1	5,0	6,3	7,5	4,1	5,0	6,3	7,5	4,1	5,0	6,3	7,5
1,5	219,3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2,5	686,9	2,4	32,8	-	11,3	-	-	-	113,8	-	-	-	238,3	-	-	-
3,5	925,0	110,1	208,6	20,7	16,6	16,5	-	-	199,1	110,1	20,4	-	402,6	93,1	37,5	-
4,5	960,7	356,7	352,1	52,2	42,2	29,2	20,2	-	311,1	179,9	54,6	-	555,8	216,8	94,4	10,4
5,5	880,0	546,7	413,4	92,4	104,6	78,5	49,0	-	410,0	275,4	123,6	-	625,3	368,6	183,6	27,2
6,5	738,8	620,3	417,9	124,9	233,2	185,7	122,5	18,6	481,2	350,5	214,5	24,1	612,7	468,1	274,5	62,1
7,5	570,5	596,1	388,0	141,4	408,9	337,2	232,8	32,2	511,3	389,5	300,8	60,6	534,8	482,5	339,0	107,7
8,5	396,9	507,6	337,9	140,3	477,1	410,7	332,4	61,6	486,2	383,5	351,0	95,5	414,6	420,1	358,7	148,0
9,5	235,1	386,3	276,7	124,7	336,2	322,6	356,8	87,4	392,3	331,0	345,8	120,3	277,6	313,9	329,4	165,8
10,5	103,1	257,9	210,7	99,9	153,0	178,3	292,2	93,1	228,0	239,6	288,4	133,7	150,0	200,9	261,8	154,4
11,5	22,2	143,4	144,7	71,9	53,6	79,8	187,0	77,7	51,6	130,0	202,0	135,7	55,8	108,2	176,2	120,8
12,5	-	58,8	83,9	45,7	16,9	32,4	96,6	53,6	-	39,0	116,2	126,8	9,5	47,1	95,9	79,9
13,5	-	13,6	40,9	24,8	7,9	12,8	41,6	32,3	-	2,4	52,8	107,4	-	19,2	38,6	44,7
14,5	-	-	-	14,9	-	8,8	15,4	17,8	-	-	22,2	78,6	-	-	10,5	21,0
15,5	-	-	-	-	-	-	7,2	9,2	-	-	-	43,6	-	-	-	8,2
16,5	-	-	-	-	-	-	-	4,6	-	-	-	12,2	-	-	-	3,5
17,5	-	-	-	-	-	-	-	4,4	-	-	-	-	-	-	-	-

TABELA 14 - VALORES DO TESTE χ^2 ENVOLVENDO A COMBINAÇÃO DAS IDADES 4,1 A 7,5 ANOS, PARA O SÍTIO II E OS 4 TRATAMENTOS DE DENSIDADE INICIAL, PARA AVALIAÇÃO DO FATOR IDADE

		Idades					
		Testemunha					
		4,1-5,0	4,1-6,3	4,1-7,5	5,0-6,3	5,0-7,5	6,3-7,5
χ^2		343877,1	2208,9	11714,2	417,5	11646,4	10821,0
		2.000 árv./ha					
		4,1-5,0	4,1-6,3	4,1-7,5	5,0-6,3	5,0-7,5	6,3-7,5
χ^2		89,5	753,3	18678,9	307,9	10193,5	5875,7
		4.000 árv./ha					
		4,1-5,0	4,1-6,3	4,1-7,5	5,0-6,3	5,0-7,5	6,3-7,5
χ^2		817,2	5353,5	106902,0	1139,3	36380,9	8787,8
		8.000 árv./ha					
		4,1-5,0	4,1-6,3	4,1-7,5	5,0-6,3	5,0-7,5	6,3-7,5
χ^2		5101,7	11478,9	20465,6	636,9	17561,1	4119,9

FIGURA 14 - EVOLUÇÃO DAS FREQUÊNCIAS ESTIMADAS PELA FUNÇÃO WEIBULL AJUSTADAS AOS DADOS ORIGINAIS E ESTIMADA EM FUNÇÃO DE D_G



Fonte: ARCE *et al.* (1999)

Um enfoque bastante importante a ser avaliado é a correlação dos parâmetros da função de distribuição com a idade, uma vez que quanto maiores forem estas, maiores as chances de sucesso por ocasião do uso da distribuição para fins de prognose.

Os efeitos dos parâmetros δ e γ da função S_b são distintamente diferentes sendo que δ afeta a curtose e γ afeta a assimetria. Através de uma análise de regressão linear

simples, pôde-se observar a baixa correlação dos parâmetros desta função com a idade. A curtose apresentou uma correlação de 0,2563, a assimetria de 0,4135. Os valores do estimador δ foram inconstantes em função da idade, subindo e descendo sem uma correlação definida. A maior correlação encontrada foi para o parâmetro amplitude (λ), com 0,5540. Os valores dos parâmetros da função S_B para todas as combinações de idade das parcelas permanentes se encontram na Tabela 19 do Anexo 01.

COUTO (1980), trabalhando com plantios de *Pinus caribaea*, encontrou resultados similares, onde os valores do estimador δ (curtose) da função S_B foram inconstantes em função da idade, subindo e descendo sem uma correlação definida com a idade, independente dos tratamentos aplicados (fertilização). O estimador γ (assimetria) apresentou uma tendência de aumentar com a idade, para os plantios sem tratamento, não ocorrendo para os plantios com tratamento.

TABAI (1999) estudou a distribuição diamétrica de *Pinus taeda* através da função S_B e também avaliou a correlação dos parâmetros com a idade e concluiu que, o parâmetro locação (ε) é altamente correlacionado com a idade; o parâmetro escala (λ) também; parâmetro assimetria (γ) tem correlação significativa usando o método da Moda. Para os outros métodos, indicaram uma grande flutuação nos valores de correlação deste com a idade. O parâmetro curtose (δ) é o que menos apresentou correlação com a idade.

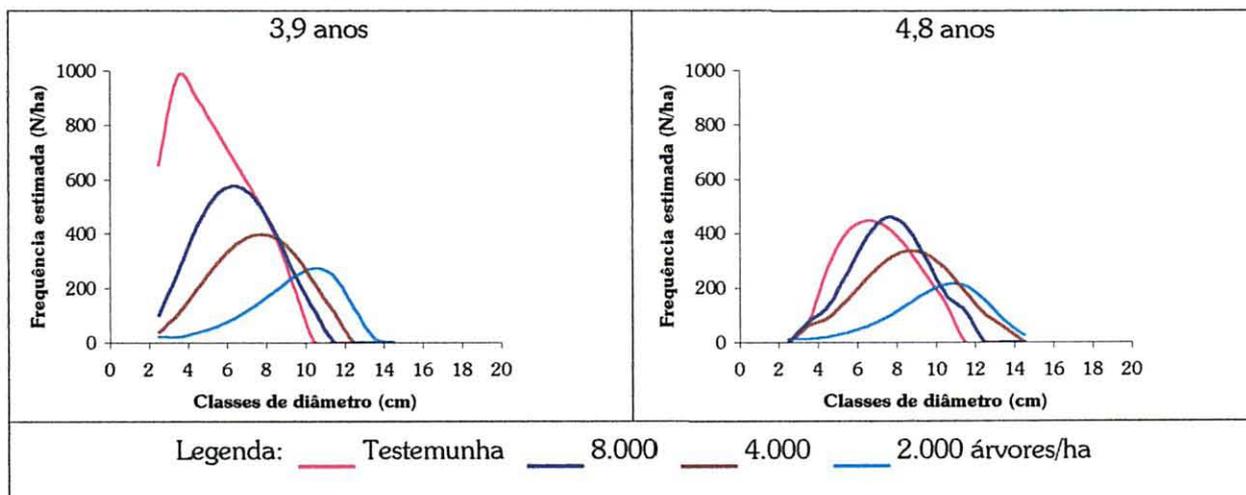
4.6 ANÁLISE DO FATOR DENSIDADE NA DISTRIBUIÇÃO DIAMÉTRICA

Foram traçadas as curvas da distribuição diamétrica usando a função S_B , para as diferentes densidades, nas várias idades e sítios. Ao se avaliar o efeito da densidade na distribuição diamétrica, foram fixados os efeitos do sítio e idade.

Verificou-se que a evolução das curvas ao longo dos tratamentos de densidade inicial foi apresentando uma amplitude diamétrica relativamente maior para densidades menores e evidenciou-se uma assimetria negativa, com as curvas da densidade de 2.000 árvores/ha e 4.000 árvores/ha para as duas idades do sítio I. No entanto, para as outras densidades, as curvas foram assimétricas à direita (Figura 15), conforme os coeficientes citados anteriormente na Tabela 01. Observou-se que o achatamento (curtose) vai aumentando da maior para a menor densidade. Para o tratamento de 2.000 árvores/ha

as curvas são platicúrticas, visto que o tratamento de densidade inicial é mais drástico, e para as demais densidades as curvas são leptocúrticas. Além disso, todas as curvas apresentaram assimetria moderada (coeficientes entre 0,15 e 1).

FIGURA 15 - EVOLUÇÃO DAS FREQUÊNCIAS ESTIMADAS POR HECTARE PELA FUNÇÃO S_B PARA AS PARCELAS DO SÍTIO I, EM FUNÇÃO DAS DENSIDADES INICIAIS TESTEMUNHA, 2.000 ÁRV./HA, 4.000 ÁRV./HA E 8.000 ÁRV./HA, PARA AS IDADES 3,9 E 4,8 ANOS



Na Figura 16 verifica-se uma assimetria negativa para as densidades 2.000 árvores/ha e 4.000 árvores/ha, na idade 4,1 anos e para a densidade de 4.000 árvores/ha na idade de 5 anos. Para as outras idades nas, 4 densidades, a assimetria é positiva. Praticamente não houve deslocamento das curvas. O efeito mais visível é para a curtose, ou seja, o achatamento das curvas que vai aumentando da maior densidade para a menor densidade. Estes efeitos foram confirmados pelos coeficientes de assimetria e curtose. Além disso, todas as curvas apresentaram assimetria moderada (coeficiente entre 0,15 e 1).

Na Figura 17 pode-se verificar assimetria negativa para as densidades 2.000 e 4.000 árvores/ha nas idades 4,2 e 5,4 anos e, para densidade de 4.000 árvores/ha nas idades 6,3 e 7,6. Avaliando as outras idades, as assimetrias são positivas para as quatro densidades. Simultaneamente, percebe-se um aumento da curtose da menor para a maior densidade. Com o aumento da densidade, houve um acréscimo do número de árvores nas classes de diâmetro mais baixas e um decréscimo nas classes mais altas, movendo a curva da distribuição para a esquerda.

CLUTTER & BENETT (1965), avaliando o fator densidade nas curvas de

distribuição para *Pinus elliottii*, observaram este mesmo comportamento: à medida que aumentou a densidade, ocorreu um acréscimo do número de árvores nas classes inferiores e um decréscimo nas classes superiores, deslocando a curva da distribuição para a esquerda.

Visualmente pode-se verificar diferenças entre as quatro densidades de tratamento inicial. Para comprovar este fato, o teste qui-quadrado foi aplicado para as várias combinações de densidade, nas várias idades e sítios. As freqüências estimadas nas diferentes classes de diâmetros, apresentadas na Tabela 14, são usadas para as comparações das linha de regressão, através deste teste.

FIGURA 16 - EVOLUÇÃO DAS FREQUÊNCIAS ESTIMADAS POR HECTARE PELA FUNÇÃO S_B PARA AS PARCELAS DO SÍTIO II, EM FUNÇÃO DAS DENSIDADES INICIAIS TESTEMUNHA, 2.000 ÁRV./HA, 4.000 ÁRV./HA E 8.000 ÁRV./HA PARA AS IDADES 4,1 A 7,5 ANOS

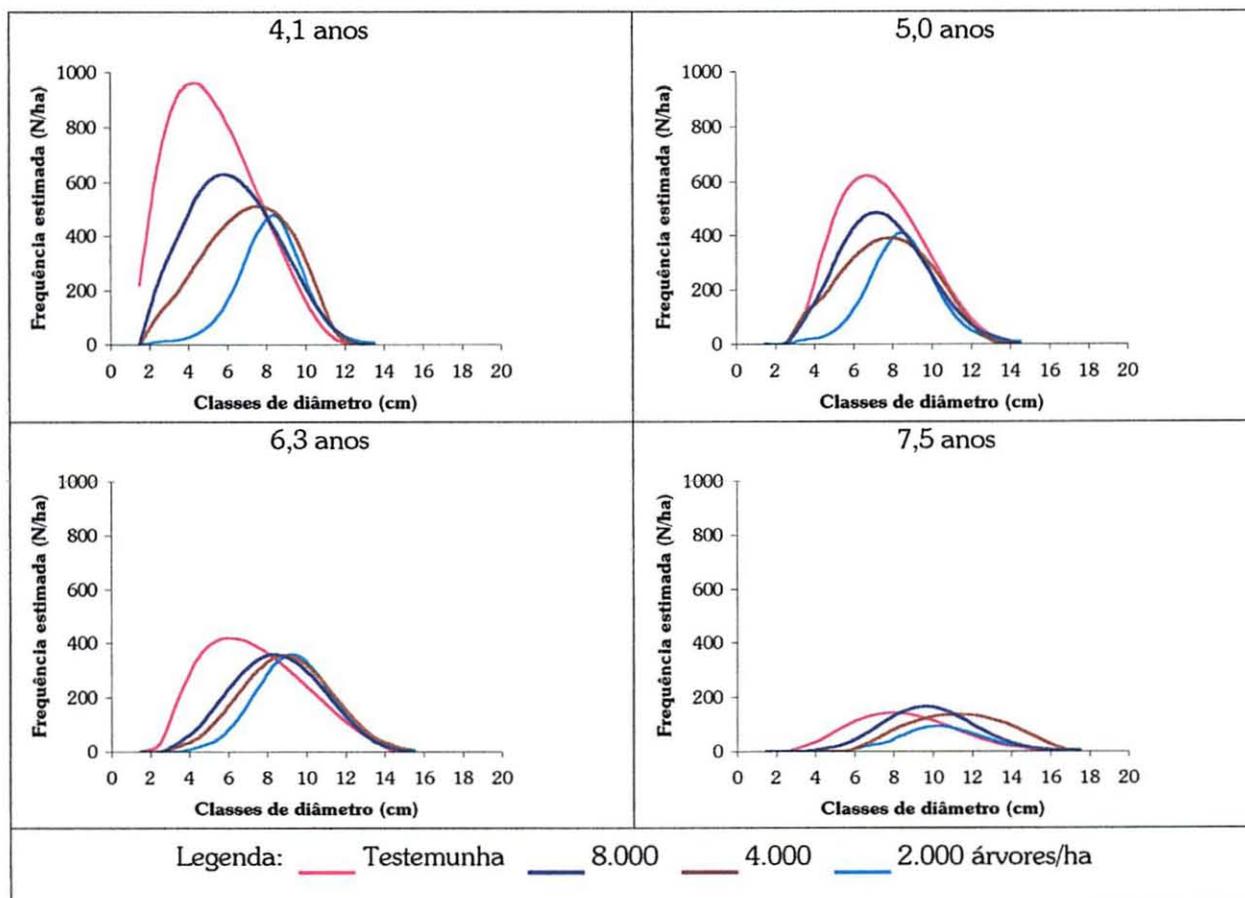
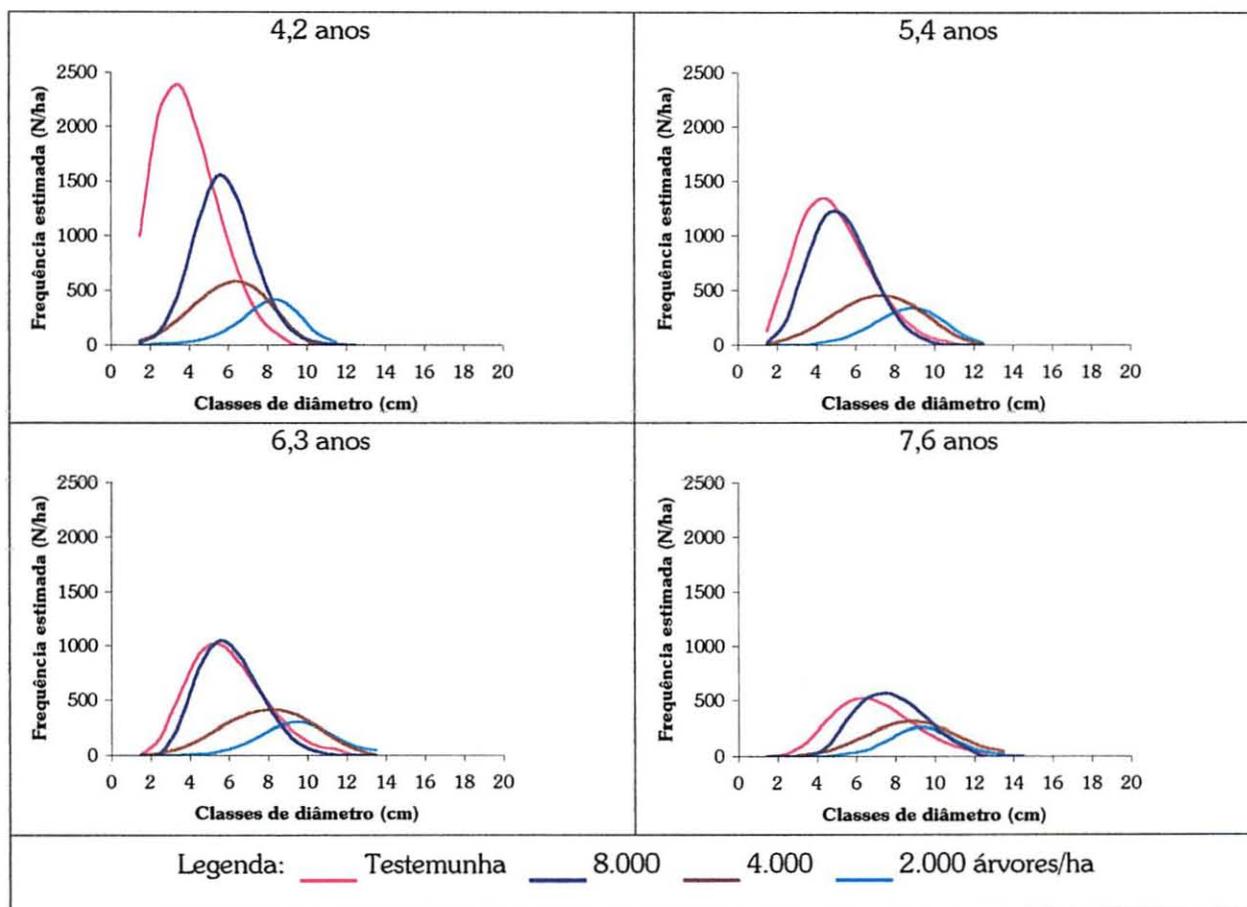


FIGURA 17 - EVOLUÇÃO DAS FREQUÊNCIAS ESTIMADAS POR HECTARE PELA FUNÇÃO S_B PARA AS PARCELAS DO SÍTIO III, EM FUNÇÃO DAS DENSIDADES INICIAIS TESTEMUNHA, 2.000 ÁRV./HA, 4.000 ÁRV./HA E 8.000 ÁRV./HA PARA AS IDADES 4,2 A 7,6 ANOS.



Da Tabela 15 pôde-se chegar aos resultados da Tabela 16, pelo do cálculo do χ^2 nas várias classes de diâmetro e seu posterior somatório. Os valores evidenciam diferença significativa entre as combinações de densidade, comprovando o efeito da mesma na distribuição diamétrica.

O mesmo processo foi efetuado nas várias idades do sítio II e III, cujos resultados se encontram nas Tabelas 24 e 26 do Anexo 2. Revelaram os mesmos efeitos com resultados significativos para as quatro densidades.

MACHADO *et al.* (1990), avaliaram o efeito da densidade na distribuição diamétrica para *Pinus taeda* no Estado do Paraná e verificaram os mesmos comportamentos das curvas deste trabalho em relação à diferentes densidades. A comparação de médias por meio do teste de Tukey revelou diferenças significativas entre as densidades para o segundo e terceiro desbastes. Com o aumento da densidade, houve um aumento do número de árvores nas classes mais baixas e um decréscimo nas

classes mais altas, movendo a curva de distribuição para a esquerda.

TABELA 15 - NÚMERO DE ÁRVORES ESTIMADAS POR HECTARE ATRAVÉS DA FUNÇÃO S_B , POR CLASSE DIAMÉTRICA PARA DENSIDADES INICIAIS TESTEMUNHA, 2.000 ÁRV./HA, 4.000 ÁRV./HA E 8.000 ÁRV./HA PARA AS IDADES 3,9 E 4,8 ANOS, SÍTIO I

Centro de Classe	Idade 3,9 anos				Idade 4,8 anos			
	Testemunha	2.000	4.000	8.000	Testemunha	2.000	4.000	8.000
2,5	654,3	22,1	36,8	100,7	-	12,1	-	-
3,5	979,5	21,1	104,9	260,0	69,8	11,0	59,6	75,0
4,5	898,0	36,6	199,2	431,5	275,6	20,1	89,0	131,8
5,5	778,9	60,3	292,4	546,1	406,4	35,2	157,5	255,6
6,5	658,3	94,3	363,9	577,3	447,5	59,0	235,2	387,7
7,5	533,1	139,6	398,3	523,5	424,2	93,4	302,2	460,0
8,5	386,6	193,7	385,4	401,6	354,0	137,2	337,1	427,1
9,5	188,1	246,4	322,0	244,2	248,5	182,7	325,9	310,2
10,5	-	274,6	216,2	115,1	143,2	213,3	270,1	176,3
11,5	-	241,8	111,8	-	-	207,5	187,1	114,8
12,5	-	128,6	-	-	-	155,5	103,7	-
13,5	-	17,8	-	-	-	79,2	55,6	-
14,5	-	0	-	-	-	24,4	-	-

TABELA 16 - VALORES DO TESTE χ^2 ENVOLVENDO A COMBINAÇÃO DAS DENSIDADES INICIAIS TESTEMUNHA, 2.000 ÁRV./HA, 4.000 ÁRV./HA E 8.000 ÁRV./HA NAS IDADES 3,9 E 4,8 DO SÍTIO I PARA AVALIAÇÃO DO FATOR DENSIDADE

Idade 3,9 anos						
	Test-2.000	Test-4.000	Test-8.000	2.000-4.000	2.000-8.000	4.000-8.000
χ^2	95588,7	21525,0	5732,0	1569,6	4474,5	904,5
Idade 4,8 anos						
	Test -2.000	Test -4.000	Test -8.000	Test -4.000	2.000-8.000	4.000-8.000
χ^2	11776,7	1409,5	358,3	709,8	2226,0	705,5

BRANDI, COUTO & NETO (1977) encontraram resultados similares para *Eucalyptus urophylla*, onde aos 93 meses de idade a frequência das árvores, por classe de diâmetro, foi influenciada pelo espaçamento. Espaçamentos menores (maior densidade) apresentaram maior número de indivíduos por área e diâmetros médios menores.

Quando se avaliou a correlação dos parâmetros da função S_B com a densidade, através de uma análise de regressão linear simples, pôde-se concluir uma baixa correlação dos parâmetros da mesma para com a densidade.

4.7 ANÁLISE DO FATOR SÍTIO NA DISTRIBUIÇÃO DIAMÉTRICA

Para avaliar o efeito do sítio na distribuição diamétrica, foram traçadas as curvas de distribuição com a função S_B , onde se fixou a idade e densidade. Pôde-se observar que em sítios mais produtivos (sítio I) algumas curvas apresentaram uma assimetria negativa deslocando a curva para esquerda, devido ao fato de que há um maior desenvolvimento das árvores nestes sítios. Assim, a estabilidade do povoamento é atingida mais cedo pelas parcelas que estão nas classes de sítio mais produtivas. À medida que a produtividade do sítio se reduz, o desenvolvimento das árvores em diâmetro é menor, implicando em uma frequência observada com assimetria menos acentuada (Figuras 18 a 21).

Verificou-se um progressivo achatamento (curtose) das curvas do sítio menos produtivo para o sítio mais produtivo, caracterizando, na grande maioria, curvas leptocúrticas, sendo platicúrticas as curvas dos sítios menos produtivos (sítio II e III) para a densidade 2.000 árvores/ha e para o sítio III em algumas parcelas com densidade 8.000 árvores/ha e testemunha (Figuras 18 a 21). Ao mesmo tempo, uma assimetria negativa é observada nas curvas para os três sítios, nas idades 3,9 e 4,1 anos e densidades 2.000 e 4.000 árvores/ha (Figura 18); nas idades 4,1 e 5 anos para a densidade 2.000 e 4.000 árvores/ha (Figura 19) e nas idades 5,4 e 6,3 anos, nas mesmas densidades. As outras curvas apresentaram assimetrias positivas. Assim, quanto melhor o sítio mais achatada e mais deslocada para à direita as curvas se apresentaram.

De modo geral, verificou-se que nos sítios mais produtivos (sítio I) ocorre uma maior variabilidade dos diâmetros que nos locais menos produtivos. Nos primeiros sítios verificou-se uma maior amplitude entre a menor e a maior classe diamétrica, que traduz um ritmo de crescimento mais intenso das árvores. Outro fato, é que no sítio menos produtivo (sítio III) ocorre uma maior concentração de árvores nas menores classes de diâmetro, comparativamente com o sítio mais produtivo, já que este apresenta maior

concentração de árvores nas maiores classes de diâmetro.

Estes fenômenos estão em conformidade ao trabalho de CLUTTER & BENETT (1965), que avaliaram o fator sítio nas curvas de distribuição diamétrica para *Pinus elliottii* e constataram que o número de árvores por classe de diâmetro diminuiu nas menores classes e aumentou nas maiores, deslocando a curva da distribuição para a direita, à medida que aumentou os valores de índice de sítio.

FIGURA 18 - EVOLUÇÃO DAS FREQUÊNCIAS ESTIMADAS POR HECTARE POR MEIO DA FUNÇÃO S_B , EM FUNÇÃO DOS SÍTIOS I, II E III, PARA AS VÁRIAS IDADES DE MEDIÇÃO E DENSIDADE INICIAL TESTEMUNHA

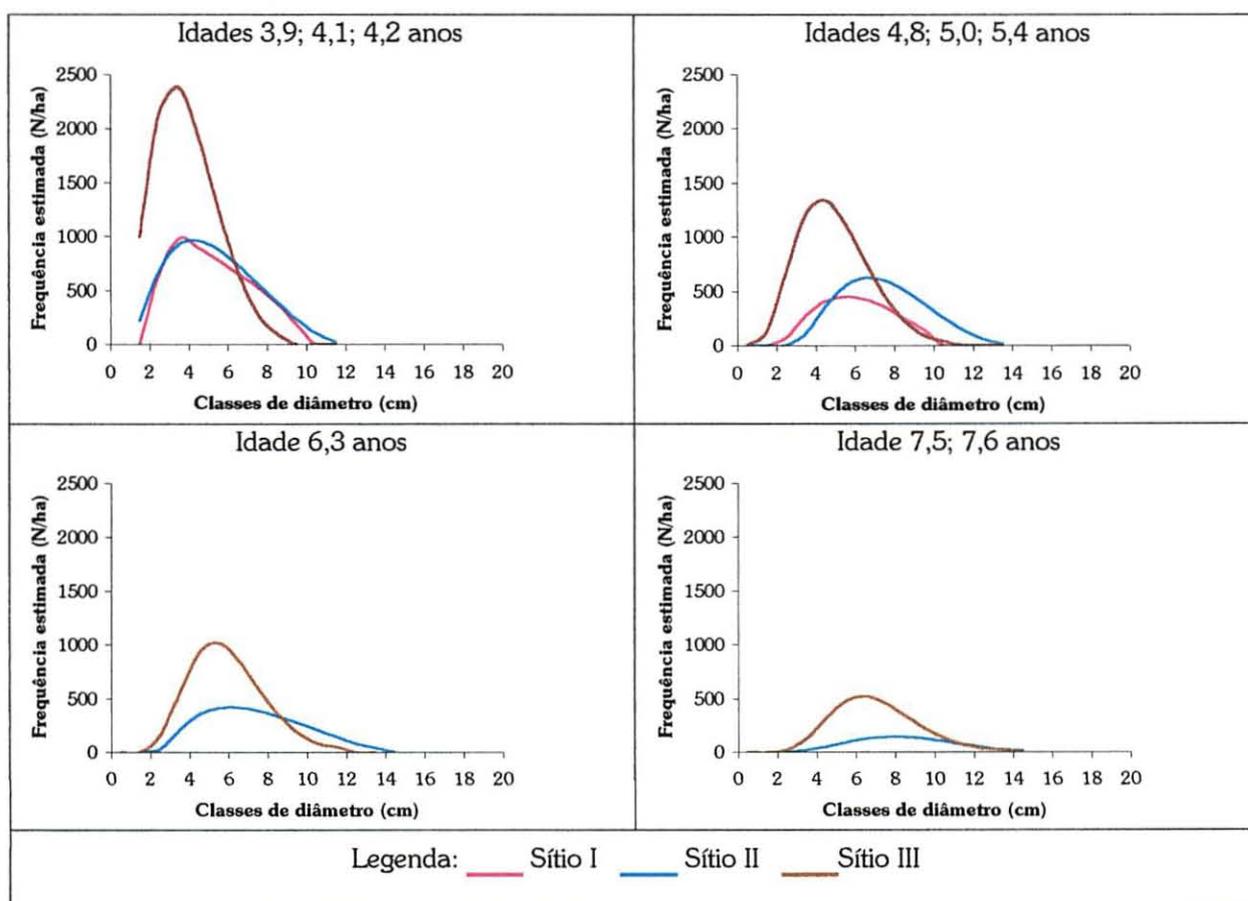


FIGURA 19 - EVOLUÇÃO DAS FREQUÊNCIAS ESTIMADAS POR HECTARE PELA FUNÇÃO S_B , EM FUNÇÃO DOS SÍTIOS I, II E III, PARA AS VÁRIAS IDADES DE MEDIÇÃO E DENSIDADE INICIAL 2.000 ÁRV./HA

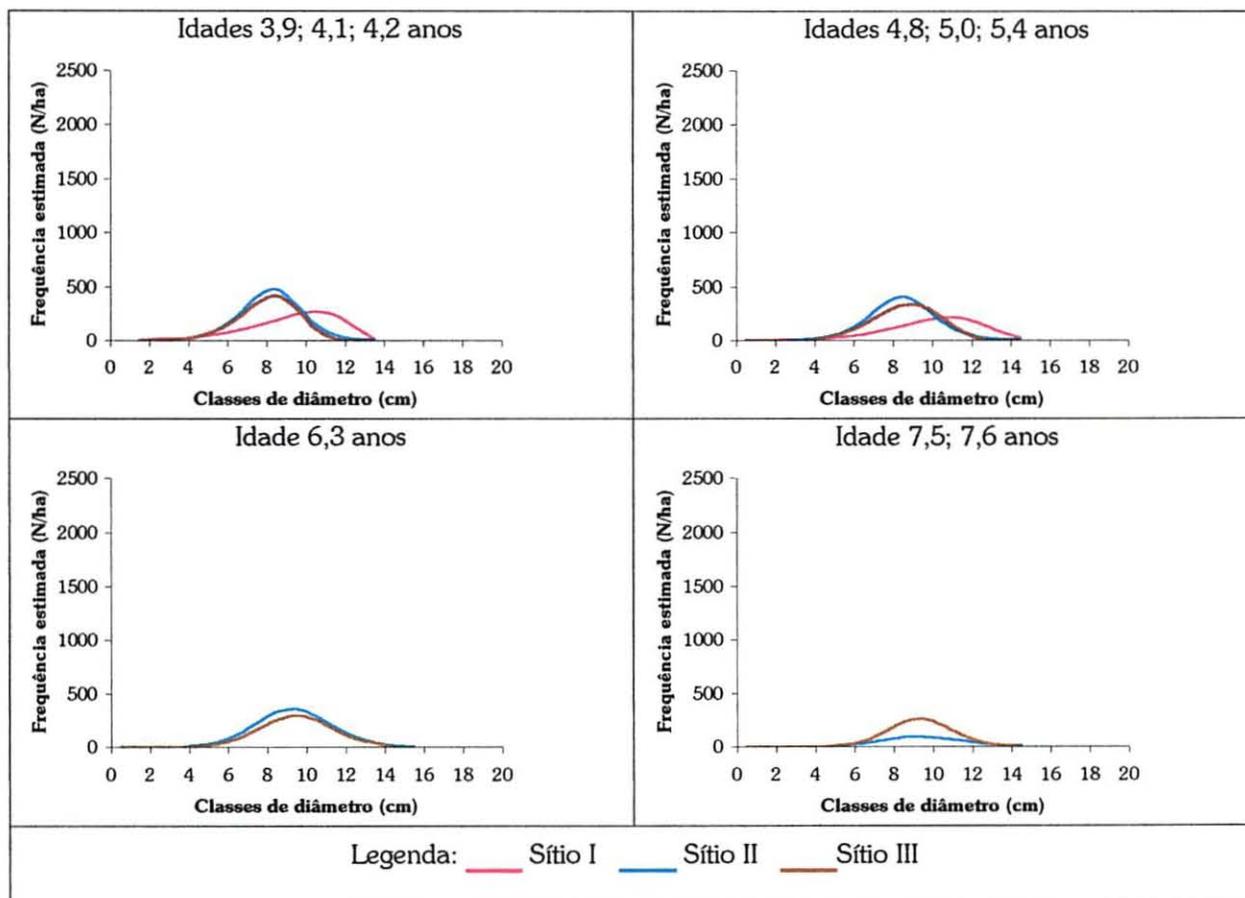
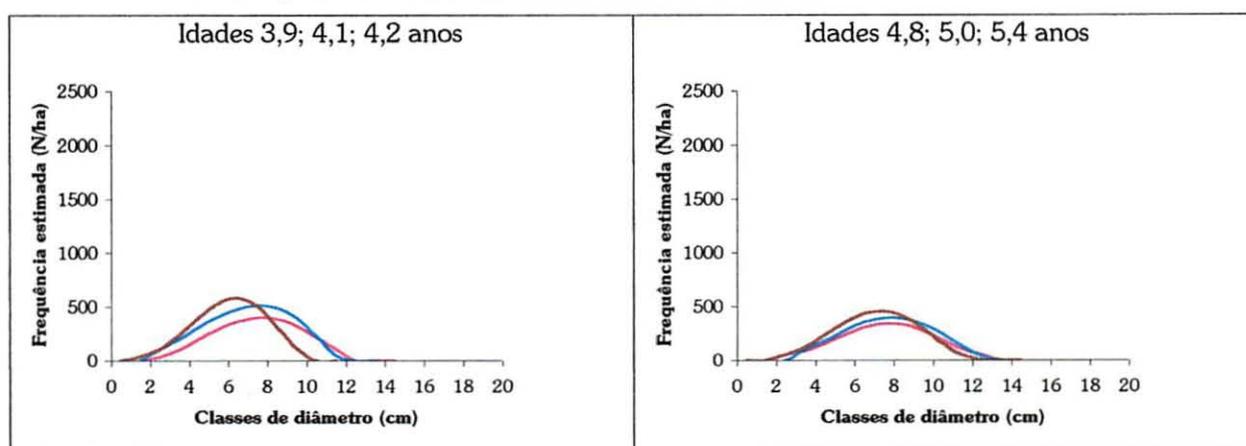
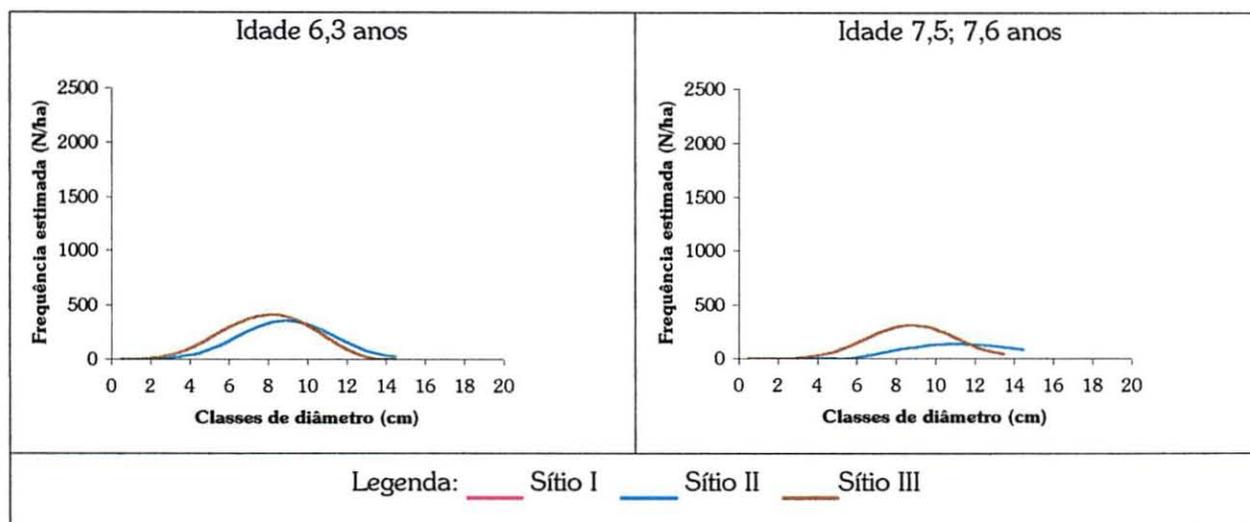
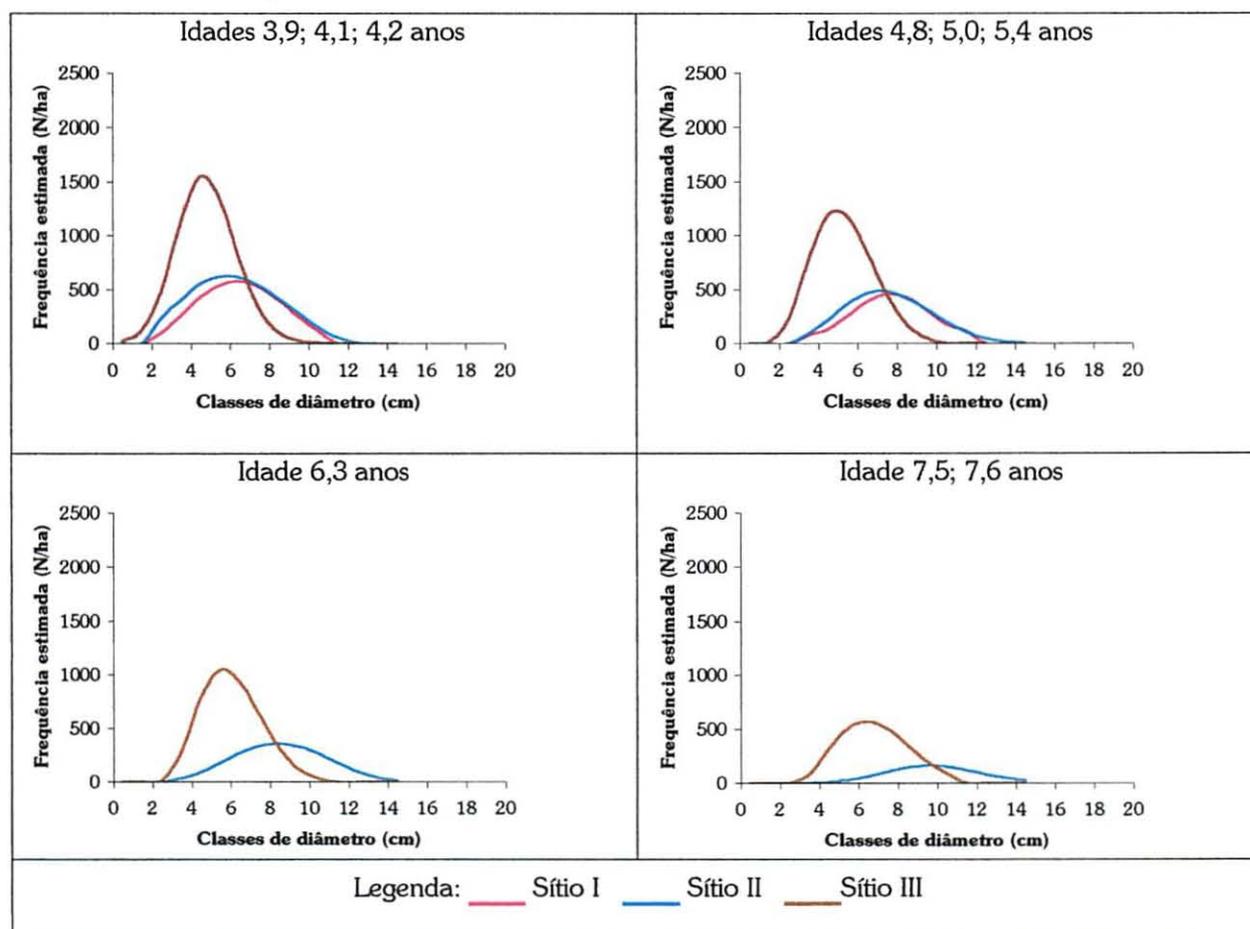


FIGURA 20 - EVOLUÇÃO DAS FREQUÊNCIAS ESTIMADAS POR HECTARE PELA FUNÇÃO S_B , EM FUNÇÃO DOS SÍTIOS I, II E III, PARA AS VÁRIAS IDADES DE MEDIÇÃO E DENSIDADE INICIAL 4.000 ÁRV./HA



Continua...

FIGURA 20 - Continuação

FIGURA 21 - EVOLUÇÃO DAS FREQUÊNCIAS ESTIMADAS POR HECTARE PELA FUNÇÃO S_B , EM FUNÇÃO DOS SÍTIOS I, II E III, PARA AS VÁRIAS IDADES DE MEDIÇÃO E DENSIDADE INICIAL 8.000 ÁRV./HA

Este mesmo comportamento foi verificado por SCOLFORO (1990), para povoamento de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* aos 19 anos de idade para índices de

sítio 25, 29 e 33 m, com 500 árvores/ha, onde as curvas, também, se deslocaram para à direita com a melhora do nível de produtividade.

Ao se comparar as linhas de regressão através do teste qui-quadrado (Tabela 17), verificou-se uma diferença significativa entre os sítios. Os menores valores deste teste foram encontrados para a combinação do sítio I com o sítio II, o que pode ser visualmente verificado, visto que as curvas para estas combinações se apresentavam muito próximas em relação às outras combinações.

MACHADO *et al.* (1990), avaliaram o efeito do sítio na distribuição diamétrica para *Pinus taeda* no Estado do Paraná e a comparação de médias através do teste de Tukey revelou diferença não significativa entre os sítios para o primeiro e segundo desbastes, mas para o terceiro desbaste houve diferença entre os sítios à 5% de significância. Além disso, a distribuição diamétrica dos produtos do primeiro desbaste se aproximou da distribuição Normal com uma pequena assimetria. Mas para o segundo e terceiros desbastes, verificou-se uma assimetria pronunciada para a direita. Estes resultados vem de encontro com o que foi encontrado para a bracatinga, apesar destes autores terem utilizado outro teste comparativo.

TABELA 17 - VALORES DO TESTE χ^2 ENVOLVENDO A COMBINAÇÃO DOS SÍTIOS I, II E III, NAS DENSIDADES INICIAIS TESTEMUNHA, 2.000 ÁRV./HA, 4.000 ÁRV./HA E 8.000 ÁRV./HA, NAS VÁRIAS IDADES DE MEDIÇÃO, PARA AVALIAÇÃO DO FATOR SÍTIO

	Idades (anos)							
	3,9;4,1;4,2			4,8;5,0;5,4			6,3	7,5;7,6
	Sítios							
	I-II	I-III	II-III	I-II	I-III	II-III	II-III	II-III
Testemunha								
χ^2	182,7	5923,7	5553,7	3035,5	2642,8	9479,6	2446,7	1351,0
2.000 árv./ha								
χ^2	1991,5	7270,4	207,0	1587,7	4890,8	191,1	121,3	365,3
4.000 árv./ha								
χ^2	328,6	2954,3	2842,8	77,4	667,2	483,1	697,6	1697,0
8.000 árv./ha								
χ^2	221,1	6658,8	10634,3	110,0	8873,4	10415,6	11977,9	3103,6

Avaliando-se a correlação dos parâmetros da função S_B em relação ao sítio, verificou-se uma correlação de 0,2013 para parâmetro curtose, uma correlação de 0,3257 para assimetria. Os parâmetros escala e amplitude apresentaram correlações negativas.

4.4 PARCELAS TEMPORÁRIAS

O mesmo procedimento efetuado com as parcelas permanentes foi realizado para as temporárias. Com a função S_B foram traçadas as curvas da distribuição diamétrica para cada combinação de sítio e idade. No entanto, a ausência de informação nas classes abaixo de 5 cm de diâmetro limitou as curvas nestas classes, como pode-se verificar na Figura 22, para o sítio II.

Para o ajuste das parcelas temporárias foi necessário agrupar os dados destas com os dados das testemunhas das permanentes, pois agregaram dados nas idades que estavam faltando para a construção das curvas de distribuição diamétrica, devido à uma limitação na medição das parcelas temporárias em que o diâmetro mínimo de medição, para algumas parcelas, foi de 5 cm. Com este procedimento as curvas deixaram de ficar incompletas nas idades iniciais, onde ocorrem os menores diâmetros. No entanto, para a idade de 3 anos não foi possível suprir esta falha porque para as parcelas permanentes a idade mais nova em que foram medidos os diâmetros correspondeu à idade de 3,9.

Após a união dos dados das parcelas temporárias com as testemunhas das permanentes, traçaram-se as curvas para as várias idades dos três sítios. A complementação de dados, principalmente para o sítio II e III, pode ser visualizada na Figura 23. As curvas apresentam o mesmo efeito verificado nas parcelas permanentes, movendo-se para a direita, com assimetria positiva para a maioria das idades, à exceção da parcela com 11 anos pertencente ao sítio II e com 10 anos no sítio III. Também observa-se um achatamento acentuado ao longo do tempo até alcançar um nível máximo na idade de 18 anos.

FIGURA 22 - EVOLUÇÃO DAS FREQUÊNCIAS ESTIMADAS POR HECTARE PELA FUNÇÃO S_B PARA AS PARCELAS TEMPORÁRIAS, SÍTIO II, PARA AS DIFERENTES IDADES

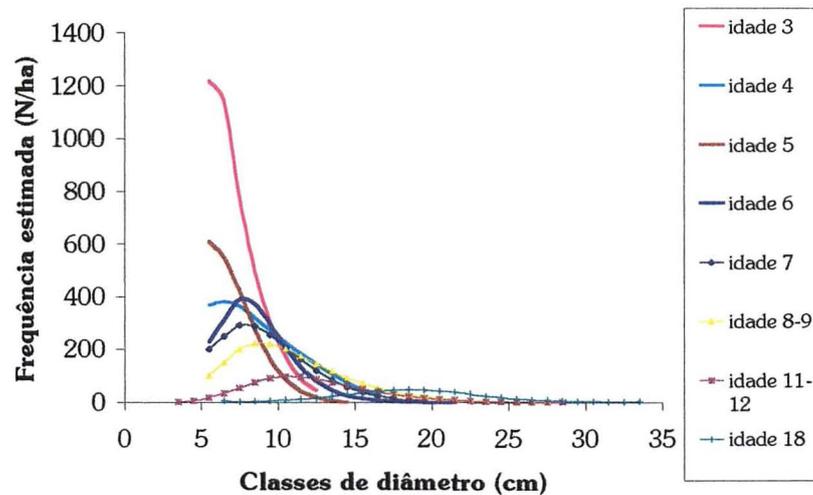
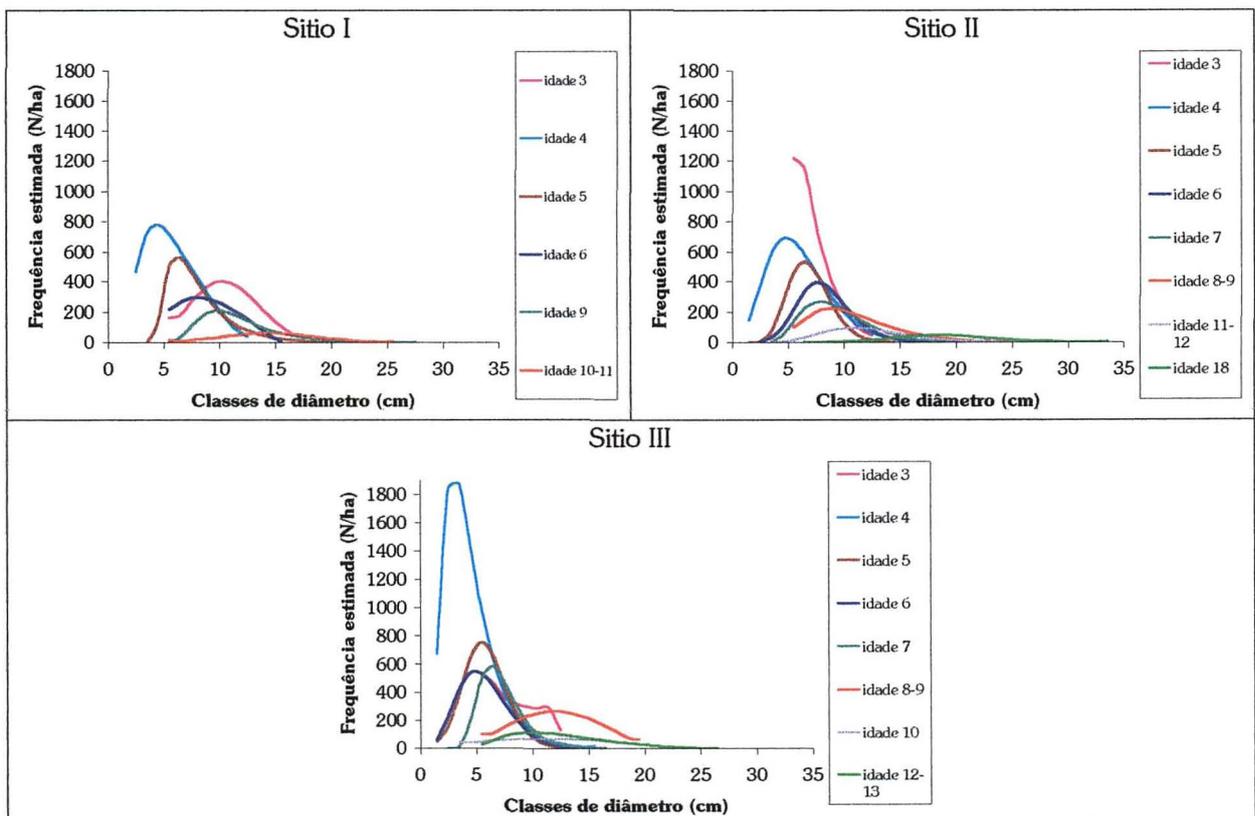


FIGURA 23 - EVOLUÇÃO DAS FREQUÊNCIAS ESTIMADAS POR HECTARE PELA FUNÇÃO S_B PARA AS PARCELAS TEMPORÁRIAS EM CONJUNTO COM AS TESTEMUNHAS DAS PERMANENTES, SÍTIO I A III, PARA AS DIFERENTES IDADES



Na tabela 18 pode-se verificar as frequências estimadas para as várias classes diamétricas para as parcelas temporárias do sítio I com os dados agregados das

testemunhas das parcelas temporárias nas idades 4 e 5 anos. As tabelas de freqüências para os sítios II e III se encontram no Anexo 3.

Foi verificado através do teste qui-quadrado uma diferença significativa entre as curvas da distribuição nas várias idades, confirmando o efeito encontrado para as parcelas permanentes, o que dispensaria a apresentação numérica destes cálculos.

TABELA 18 - NÚMERO DE ÁRVORES ESTIMADAS POR HECTARE ATRAVÉS DA FUNÇÃO S_B , POR CLASSE DIAMÉTRICA PARA AS DIFERENTES IDADES DAS PARCELAS TEMPORÁRIAS E SÍTIO I

Centro de Classe diamétrica (cm)	Idades (anos)					
	3	4	5	6	9	10-11
2,5	-	467,9	-	-	-	-
3,5	-	725,2	-	-	-	-
4,5	-	779,0	141,5	-	-	-
5,5	162,7	719,0	505,4	216,5	2,9	18,3
6,5	183,7	612,9	562,9	263,2	35,8	11,9
7,5	271,4	492,7	464,4	295,0	110,3	17,6
8,5	346,9	373,6	345,3	294,9	179,5	25,0
9,5	394,0	263,6	245,6	275,6	210,2	33,5
10,5	404,0	167,4	171,0	243,9	204,5	42,7
11,5	377,2	89,2	117,8	203,2	178,0	51,4
12,5	321,6	38,8	80,5	155,6	144,5	58,5
13,5	250,0	-	54,7	103,0	112,2	62,9
14,5	175,8	-	37,0	49,6	84,6	64,1
15,5	110,4	-	24,8	8,9	62,6	61,8
16,5	60,6	-	16,6	-	45,7	56,4
17,5	41,9	-	11,0	-	33,2	48,9
18,5	-	-	7,2	-	24,0	40,4
19,5	-	-	4,6	-	17,3	31,8
20,5	-	-	3,0	-	12,5	24,0
21,5	-	-	4,5	-	9,0	17,3
22,5	-	-	-	-	6,5	12,1
23,5	-	-	-	-	4,7	8,1
24,5	-	-	-	-	3,4	5,3
25,5	-	-	-	-	2,5	8,2
26,5	-	-	-	-	1,8	-
27,5	-	-	-	-	5,3	-

5 CONCLUSÕES

Baseado nos estudos realizados chegou-se as seguintes conclusões:

- A função S_B foi a mais eficiente e flexível, propiciando estimativas precisas da distribuição diamétrica de bracatinga na Região Metropolitana de Curitiba, quase na totalidade das combinações de sítio, idade e densidade, demonstrando ser bastante sensível em absorver os efeitos das variações destes fatores. Esta função é indicada para a construção das curvas de distribuição diamétrica.
- Os resultados gerados para as diferentes combinações de sítio, idade e densidade estão em conformidade com o desenvolvimento biológico esperado. O teste qui-quadrado, utilizado para fazer a comparação entre as curvas de distribuição diamétrica, mostrou que há diferenças significativas das mesmas para os efeitos dos fatores idade, sítio e densidade.
- Para o fator idade, ocorreu um decréscimo do número de árvores nas classes inferiores e um aumento do número de árvores nas classes superiores, deslocando a curva para a direita, com um acentuado achatamento (curtose) ao longo do tempo. Além disto, verificou-se assimetrias moderadas das curvas nas várias idades.
- Avaliando o fator sítio, constatou-se que o número de árvores por classe de diâmetro diminui nas classes menores e aumenta nas classes maiores, deslocando a curva da distribuição para a direita, à medida que aumenta os valores de índice de sítio. Ao mesmo tempo em que ocorre um achatamento das curvas para o sítio mais produtivo.
- Em relação ao fator densidade, à medida que aumenta, ocorre um acréscimo do número de árvores nas classes inferiores e um decréscimo nas classes superiores, deslocando a curva da distribuição para a esquerda. O achatamento vai aumentando da maior para a menor densidade.
- Os atributos do povoamento mais correlacionados com os parâmetros da função escolhida (S_B) foram a idade e sítio.

Recomenda-se testar outros métodos de ajuste para as distribuições e utilizar as funções de densidade de probabilidade e os atributos do povoamento para realizar uma prognose do povoamento. Selecionando os atributos mais correlacionados com os parâmetros das funções de distribuição e estimando os mesmos na idade desejada da

prognose, permitirá conhecer a nova estrutura diamétrica da floresta até uma idade futura pré-estabelecida. Através da prognose é possível definir antecipadamente o momento do corte por sítio, a rotação econômica ótima, o planejamento da atividade de exploração florestal.

A continuidade desta pesquisa deve trazer informações cada vez mais importantes para um melhor aproveitamento da espécie. Além destes, recomenda-se a aplicação de todas estas técnicas para outras espécies florestais nativas como o guanandi e a caxeta, por serem espécies relevantes na economia local das comunidades do litoral e por apresentarem carência de pesquisas voltadas ao manejo mais adequado das mesmas.

ANEXOS

**ANEXO 1 - ESTIMATIVAS DOS PARÂMETROS DAS FUNÇÕES DE
DISTRIBUIÇÃO DIAMÉTRICA**

**ANEXO 2 - NÚMERO DE ÁRVORES ESTIMADAS POR HECTARE ATRAVÉS
DA FUNÇÃO S_B
VALORES DO TESTE χ^2**

ANEXO 3 - LIMITES DE D (TESTE DE KOLMOGOROV-SMIRNOV)

ANEXO 1 - ESTIMATIVAS DOS PARÂMETROS DAS FUNÇÕES DE DISTRIBUIÇÃO DIAMÉTRICA

TABELA 19 – ESTIMATIVAS DOS PARÂMETROS DAS FUNÇÕES DE DISTRIBUIÇÃO DIAMÉTRICA PARA AS VÁRIAS COMBINAÇÕES DE SÍTIO, IDADE E DENSIDADE INICIAL DAS PARCELAS PERMANENTES

Sitio	Idade (anos)	Densidade	Distribuições																
			Normal		Lognormal		Gama		Weibull 2		Weibull 3		Beta		S _B				
			Parâmetros																
			μ	σ	μ	σ	β	α	b	c	a	b	c	α	β	ε	λ	δ	γ
I	3,9	testemunha	5,27	1,95	1,59	0,38	0,733	7,188	5,921	2,952	1,652	3,666	1,731	1,221	1,681	2,0	10,0	0,957	0,873
I	3,9	2.000	9,32	2,35	2,19	0,32	0,772	12,078	11,811	1,556	2,731	7,040	2,983	1,397	1,247	0,8	13,7	1,208	-0,724
I	3,9	4.000	7,49	2,16	1,97	0,32	0,690	10,860	8,284	3,976	1,826	4,108	2,767	2,373	1,935	2,8	11,6	1,120	0,496
I	3,9	8.000	6,48	1,96	1,82	0,33	0,648	10,000	7,189	3,699	1,714	5,044	2,450	1,649	1,701	1,5	11,1	1,223	0,294
I	4,8	testemunha	7,05	1,81	1,92	0,27	0,478	14,763	7,747	4,342	2,780	4,559	2,405	1,755	1,734	3,0	10,5	1,211	0,658
I	4,8	2.000	10,01	2,42	2,27	0,30	0,744	13,457	12,513	1,564	1,736	8,786	3,785	3,291	2,099	1,9	14,7	1,344	-0,301
I	4,8	4.000	8,60	2,37	2,11	0,31	0,735	11,708	9,476	4,122	2,691	6,290	2,557	1,641	1,698	3,0	13,4	1,202	0,467
I	4,8	8.000	7,70	2,00	2,01	0,27	0,536	14,349	8,463	4,359	2,755	5,279	2,543	1,992	1,744	2,5	12,0	1,310	0,421
II	4,1	testemunha	5,31	2,19	1,58	0,45	0,952	5,577	5,992	2,640	0,569	4,865	2,073	2,048	3,139	1,0	11,6	1,067	0,669
II	4,1	2.000	8,18	1,72	2,07	0,25	0,425	19,234	8,846	5,230	1,814	6,761	3,893	3,533	3,488	1,1	13,5	1,767	-0,160
II	4,1	4.000	7,04	2,18	1,89	0,36	0,791	8,897	7,817	3,698	1,672	5,680	2,475	1,906	1,945	0,7	11,7	1,145	-0,230
II	4,1	8.000	6,29	2,21	1,77	0,38	0,843	7,461	7,045	3,136	1,622	4,829	2,024	1,635	2,640	1,3	13,0	1,225	0,679
II	5	testemunha	6,44	2,12	1,80	0,35	0,725	8,8773	7,181	3,317	0,662	6,102	2,783	3,227	3,859	1,9	12,1	1,175	0,707
II	5	2.000	8,51	1,83	2,12	0,23	0,421	20,225	9,231	4,899	2,814	6,125	3,348	3,408	3,964	2,2	14,9	1,870	0,623
II	5	4.000	7,74	2,20	2,00	0,31	0,686	11,285	8,553	4,000	2,699	5,349	2,299	1,875	2,575	1,7	13,2	1,329	0,234
II	5	8.000	7,57	2,13	1,98	0,29	0,619	12,234	8,366	3,881	2,710	5,158	2,285	2,078	2,921	2,6	13,6	1,344	0,817

Continua...

TABELA 19 Continuação

Sitio	Idade (anos)	Densidade	Distribuições																
			Normal		Lognormal		Gama		Weibull 2		Weibull 3		Beta		S _B				
			Parâmetros																
			μ	σ	μ	σ	β	α	b	c	a	b	c	α	β	ϵ	λ	δ	γ
II	6,3	testemunha	7,32	2,51	1,93	0,36	0,890	8,228	8,187	3,179	1,584	6,002	2,246	2,080	2,552	0,1	13,6	1,164	0,156
II	6,3	2.000	9,37	1,97	2,21	0,22	0,429	21,856	10,163	5,130	3,804	6,007	2,990	3,132	3,809	0,2	15,9	1,850	-0,605
II	6,3	4.000	8,96	2,23	2,16	0,27	0,595	15,056	9,823	4,470	2,732	6,678	2,918	2,954	2,982	3,1	14,5	1,419	0,598
II	6,3	8.000	8,51	2,26	2,10	0,28	0,640	13,285	9,361	4,193	2,709	6,190	2,628	2,622	3,109	1,4	15,0	1,503	0,160
II	7,5	testemunha	8,46	2,49	2,09	0,31	0,756	11,188	9,366	3,748	2,655	6,140	2,360	2,125	2,521	2,8	14,5	1,227	0,628
II	7,5	2.000	10,65	2,25	2,34	0,21	0,460	23,148	11,549	4,935	5,810	5,212	2,232	2,069	3,215	5,8	17,2	1,450	1,498
II	7,5	4.000	11,27	2,36	2,40	0,22	0,502	22,461	12,224	5,407	6,773	4,808	1,907	2,154	2,312	3,9	16,7	1,611	0,393
II	7,5	8.000	9,80	2,24	2,25	0,24	0,524	18,704	10,676	4,800	3,766	6,480	2,842	3,173	3,931	2,2	16,1	1,655	0,207
III	4,2	testemunha	3,91	1,58	1,28	0,43	0,663	5,894	4,407	2,665	0,694	3,281	1,921	1,582	2,736	0,9	9,0	1,124	0,888
III	4,2	2.000	7,99	1,61	2,05	0,24	0,391	20,419	10,242	1,484	2,848	5,534	3,452	4,686	3,202	2,6	11,3	1,610	0,132
III	4,2	4.000	6,07	1,80	1,75	0,35	0,642	9,465	6,718	3,859	0,741	5,667	3,092	2,483	1,899	0,3	10,0	1,181	-0,419
III	4,2	8.000	4,81	1,51	1,51	0,36	0,532	9,033	5,342	3,446	-0,23	5,339	3,533	4,876	6,394	0,8	10,5	1,504	0,803
III	5,4	testemunha	4,95	1,77	1,53	0,37	0,647	7,645	5,546	3,000	0,693	4,454	2,374	2,638	3,983	1,4	10,2	1,150	0,855
III	5,4	2.000	8,63	1,65	2,14	0,21	0,340	25,348	9,297	6,029	3,854	5,164	3,082	3,225	3,084	2,7	12,3	1,722	0,132
III	5,4	4.000	7,14	2,06	1,92	0,32	0,670	10,650	7,889	3,939	1,713	5,771	2,703	2,632	3,020	1,0	12,9	1,404	0,171
III	5,4	8.000	5,29	1,50	1,62	0,30	0,442	11,973	5,851	3,804	0,792	4,795	3,133	3,734	4,053	1,5	9,5	1,360	0,651

Continua...

TABELA 19 - Continuação

Sitio	Idade (anos)	Densidade	Distribuições																
			Normal		Lognormal		Gama		Weibull 2		Weibull 3			Beta		S _B			
			Parâmetros																
			μ	σ	μ	σ	β	α	b	c	a	b	c	α	β	ϵ	λ	δ	γ
III	6,3	testemunha	5,94	1,89	1,73	0,33	0,602	9,865	6,616	3,335	1,707	4,451	2,205	1,912	2,857	1,7	12,0	1,307	0,901
III	6,3	2.000	9,48	1,86	2,23	0,21	0,381	24,893	10,242	5,603	4,831	5,038	2,608	3,050	2,471	3,8	13,8	1,669	0,620
III	6,3	4.000	7,98	2,14	2,04	0,30	0,641	12,450	8,780	4,229	1,721	6,678	3,057	2,944	2,516	1,3	13,0	1,349	-0,081
III	6,3	8.000	6,04	1,51	1,77	0,25	0,376	16,067	6,631	4,287	1,817	4,532	2,927	3,522	4,268	2,7	10,5	1,400	1,167
III	7,6	testemunha	7,02	2,12	1,90	0,31	0,642	10,938	7,790	3,506	1,689	5,650	2,542	2,699	3,674	0,1	13,7	1,458	-0,023
III	7,6	2.000	10,37	1,64	2,33	0,16	0,264	39,263	11,063	6,804	5,893	4,879	2,922	2,882	3,070	6,0	14,3	1,756	1,545
III	7,6	4.000	8,82	2,15	2,14	0,27	0,570	15,478	9,651	4,576	2,748	6,509	2,959	2,183	2,005	3,0	13,9	1,419	0,523
III	7,6	8.000	6,79	1,67	1,88	0,25	0,419	16,215	7,440	4,444	1,801	5,343	3,160	3,189	2,751	2,7	10,8	1,379	0,772

TABELA 20 - ESTIMATIVAS DOS PARÂMETROS DAS FUNÇÕES DE DISTRIBUIÇÃO DIAMÉTRICA PARA AS VÁRIAS COMBINAÇÕES DE SÍTIO, IDADE E DENSIDADE INICIAL DAS PARCELAS TEMPORÁRIAS.

Sítio	Idade (anos)	Distribuições																
		Normal		Lognormal		Gama		Weibull 2		Weibull 3			Beta		S _B			
		Parâmetros																
		μ	σ	μ	σ	β	α	b	c	a	b	c	α	β	ϵ	λ	δ	γ
I	3	10,56	2,89	2,32	0,29	0,810	13,036	11,631	4,101	4,653	6,233	2,064	1,577	2,141	3,5	17,2	1,277	0,539
I	4	8,63	2,19	2,12	0,26	0,564	15,309	9,470	4,553	4,752	4,060	1,743	1,022	1,312	3,8	12,4	1,181	0,636
I	5	8,23	2,81	2,06	0,31	0,802	10,269	9,199	2,958	4,536	3,401	1,156	0,751	3,189	4,8	21,3	1,015	1,989
I	6	9,15	2,47	2,18	0,28	0,672	13,613	10,085	4,070	4,677	4,650	1,738	1,188	2,032	3,8	15,5	1,281	0,922
I	9	11,73	3,58	2,42	0,28	0,953	12,307	13,013	3,228	4,473	7,590	1,973	1,794	4,136	5,0	27,5	1,338	1,698
I	10	14,50	4,45	2,62	0,35	1,522	9,528	16,079	3,611	4,359	10,695	2,294	1,606	1,968	2,9	25,6	1,255	0,276
II	3	7,16	1,65	1,94	0,22	0,340	21,075	7,824	4,347	4,817	2,349	1,332	1,099	2,868	4,3	12,4	1,249	1,741
II	4	8,94	2,79	2,14	0,31	0,824	10,857	9,954	3,423	4,581	4,344	1,443	1,011	2,057	4,3	16,2	1,051	1,176
II	5	7,17	1,71	1,94	0,23	0,374	19,190	7,853	4,225	4,800	2,348	1,286	0,708	2,266	4,3	14,0	1,297	1,953
II	6	8,65	2,37	2,12	0,27	0,611	14,154	9,538	3,696	4,682	4,059	1,574	1,141	4,232	3,8	22,0	1,545	2,109
II	7	9,36	2,89	2,19	0,30	0,847	11,057	10,409	3,383	4,564	4,847	1,541	1,077	2,642	3,8	19,9	1,282	1,368
II	8	10,93	3,84	2,33	0,34	1,238	8,824	12,231	2,963	4,349	6,601	1,582	1,410	3,997	3,8	27,5	1,283	1,523
II	11	12,22	3,97	2,45	0,33	1,251	9,763	13,610	3,207	2,375	10,385	2,490	2,951	5,256	3,4	28,7	1,426	1,295

Continua...

TABELA 20 - Continuação

Sitio	Idade (anos)	Distribuições																
		Normal		Lognormal		Gama		Weibull 2		Weibull 3			Beta		S _B			
		Parâmetros																
		μ	σ	μ	σ	β	α	b	c	a	b	c	α	β	ε	λ	δ	γ
II	18	18,97	4,97	2,91	0,29	1,402	13,531	20,822	4,060	5,394	14,486	2,869	2,430	2,753	1,7	33,6	1,541	-0,095
III	3	8,28	2,18	2,08	0,26	0,549	15,094	9,115	4,273	4,750	3,638	1,577	1,153	1,631	4,6	12,4	1,049	1,093
III	4	8,48	2,69	2,09	0,31	0,802	10,574	9,446	3,375	4,592	3,776	1,316	0,812	1,734	7,9	15,6	0,935	1,399
III	5	6,91	1,59	1,91	0,22	0,332	20,837	7,555	4,272	4,820	2,040	1,210	0,681	2,604	4,3	13,7	1,301	2,084
III	6	8,19	2,06	2,07	0,25	0,501	16,360	8,995	4,185	4,747	3,556	1,588	1,095	2,279	4,3	15,0	1,311	1,534
III	7	7,31	1,90	1,96	0,24	0,429	17,067	8,043	3,712	4,758	2,473	1,226	0,743	3,133	4,8	16,7	1,134	2,243
III	8	12,17	3,58	2,45	0,32	1,128	10,785	13,473	3,846	4,507	8,071	2,133	1,559	1,722	2,4	19,1	1,146	-0,054
III	10	11,31	4,47	2,33	0,47	2,065	5,475	12,717	2,823	2,166	9,347	1,958	1,270	1,353	2,2	19,5	0,857	0,154
III	12	12,46	4,23	2,47	0,34	1,394	8,941	13,930	3,142	4,309	8,395	1,837	1,523	2,972	5,0	26,1	1,134	1,227

ANEXO 2 - NÚMERO DE ÁRVORES ESTIMADAS POR HECTARE ATRAVÉS DA FUNÇÃO S_B E VALORES DO TESTE χ^2

TABELA 21 - NÚMERO DE ÁRVORES ESTIMADAS POR HECTARE ATRAVÉS DA FUNÇÃO S_B , POR CLASSE DIAMÉTRICA PARA AS IDADES 4,2 A 7,6 ANOS, SÍTIO III, E OS 4 TRATAMENTOS DE DENSIDADE INICIAL

Centro de classe diamétrica (cm)	Testemunha				2.000 árv./ha				4.000 árv./ha				8.000 árv./ha			
	Idades (anos)															
	4,2	5,4	6,3	7,6	4,2	5,4	6,3	7,6	4,2	5,4	6,3	7,6	4,2	5,4	6,3	7,6
0,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	22,2	-	-	-
1,5	996,5	125,9	-	-	-	-	-	-	38,8	-	-	-	127,0	13,9	-	-
2,5	2141,8	675,7	162,2	23,6	10,9	-	-	-	111,1	55,9	17,2	-	492,8	232,3	19,3	1,1
3,5	2386,5	1212,9	553,0	129,4	17,4	-	-	-	242,0	124,5	62,6	19,1	1131,7	770,7	293,4	81,5
4,5	1932,6	1339,3	926,4	317,6	43,5	27,4	11,2	-	400,6	234,2	144,1	47,1	1552,9	1190,9	798,2	317,2
5,5	1266,8	1125,7	1018,0	476,8	101,2	69,6	30,6	-	535,1	347,5	244,5	106,4	1332,3	1175,2	1049,2	513,8
6,5	682,8	780,9	857,3	521,5	208,2	153,5	82,4	20,8	584,1	430,1	338,1	187,0	764,6	837,3	924,6	568,9
7,5	290,7	459,3	597,4	457,4	348,5	256,0	168,3	55,0	505,3	453,0	399,2	264,9	316,6	445,9	611,3	497,3
8,5	102,2	228,2	358,1	339,9	418,4	329,6	258,2	134,9	313,2	403,3	408,5	308,8	101,8	173,6	309,9	353,3
9,5	-	93,0	188,1	221,2	304,3	320,8	295,8	228,2	116,0	292,2	359,1	298,8	27,1	52,6	115,8	195,8
10,5	-	36,0	87,0	128,7	112,0	218,7	253,3	259,2	-	157,1	261,1	239,4	7,9	-	32,2	86,6
11,5	-	-	52,5	67,7	20,3	87,5	163,0	198,5	-	50,6	143,2	156,8	-	-	-	-
12,5	-	-	-	32,3	-	13,8	79,8	106,1	-	5,6	53,2	81,8	-	-	-	-
13,5	-	-	-	22,4	-	-	42,0	41,8	-	-	-	43,7	-	-	-	-
14,5	-	-	-	-	-	-	-	17,1	-	-	-	-	-	-	-	-

TABELA 22 - VALORES DO TESTE χ^2 ENVOLVENDO A COMBINAÇÃO DAS IDADES 4,2 A 7,6 ANOS, PARA O SÍTIO III E OS 4 TRATAMENTOS DE DENSIDADE INICIAL, PARA AVALIAÇÃO DO FATOR IDADE

		Idades (anos)					
		Testemunha					
		4,2-5,0	4,2-6,3	4,2-7,5	5,4-6,3	5,4-7,6	6,3-7,6
χ^2		10874,0	62545,2	461302,5	3715,0	39353,6	4301,6
2.000 árv./ha							
		4,2-5,0	4,2-6,3	4,2-7,5	5,4-6,3	5,4-7,6	6,3-7,6
χ^2		290,2	1299,3	8857,9	337,5	3804,9	1127,8
4.000 árv./ha							
		4,2-5,0	4,2-6,3	4,2-7,5	5,4-6,3	5,4-7,6	6,3-7,6
χ^2		870,0	2461,6	13415,7	436,4	3340,8	850,6
8.000 árv./ha							
		4,2-5,0	4,2-6,3	4,2-7,5	5,4-6,3	5,4-7,6	6,3-7,6
χ^2		2005,4	23632,4	395865,7	2810,7	20069,8	2463,7

TABELA 23 - NÚMERO DE ÁRVORES ESTIMADAS POR HECTARE ATRAVÉS DA FUNÇÃO S_B , POR CLASSE DIAMÉTRICA PARA AS DENSIDADES INICIAIS TESTEMUNHA, 2.000 ÁRV./HA, 4.000 ÁRV./HA E 8.000 ÁRV./HA PARA AS IDADES 4,1 A 7,5 ANOS, SÍTIO II

Centro de classe diamétrica (cm)	Idade 4,1 (anos)				Idade 5,0 (anos)				Idade 6,3 (anos)				Idade 7,5 (anos)			
	Test.	2.000	4.000	8.000												
1,5	219,3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2,5	686,9	11,3	113,8	238,3	2,4	-	-	-	32,8	-	-	-	-	-	-	-
3,5	925,0	16,6	199,1	402,6	110,1	16,5	110,1	93,1	208,6	-	20,4	37,5	20,7	-	-	-
4,5	960,7	42,2	311,1	555,8	356,7	29,2	179,9	216,8	352,1	20,2	54,6	94,4	52,2	-	-	10,4
5,5	880,0	104,6	410,0	625,3	546,7	78,5	275,4	368,6	413,4	49,0	123,6	183,6	92,4	-	-	27,2
6,5	738,8	233,2	481,2	612,7	620,3	185,7	350,5	468,1	417,9	122,5	214,5	274,5	124,9	18,6	24,1	62,1
7,5	570,5	408,9	511,3	534,8	596,1	337,2	389,5	482,5	388,0	232,8	300,8	339,0	141,4	32,2	60,6	107,7
8,5	396,9	477,1	486,2	414,6	507,6	410,7	383,5	420,1	337,9	332,4	351,0	358,7	140,3	61,6	95,5	148,0
9,5	235,1	336,2	392,3	277,6	386,3	322,6	331,0	313,9	276,7	356,8	345,8	329,4	124,7	87,4	120,3	165,8
10,5	103,1	153,0	228,0	150,0	257,9	178,3	239,6	200,9	210,7	292,2	288,4	261,8	99,9	93,1	133,7	154,4
11,5	22,2	53,6	51,6	55,8	143,4	79,8	130,0	108,2	144,7	187,0	202,0	176,2	71,9	77,7	135,7	120,8
12,5	-	16,9	-	9,5	58,8	32,4	39,0	47,1	83,9	96,6	116,2	95,9	45,7	53,6	126,8	79,9
13,5	-	7,9	-	-	13,6	12,8	2,4	19,2	40,9	41,6	52,8	38,6	24,8	32,3	107,4	44,7
14,5	-	-	-	-	-	8,8	-	-	-	15,4	22,2	10,5	14,9	17,8	78,6	21,0
15,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7,2	-	-	-	9,2	43,6	8,2
16,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4,6	12,2	3,5
17,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4,4	-	-

TABELA 24 - VALORES DO TESTE χ^2 ENVOLVENDO A COMBINAÇÃO DAS DENSIDADES INICIAIS TESTEMUNHA, 2.000 ÁRV./HA, 4.000 ÁRV./HA E 8.000 ÁRV./HA NAS IDADES 4,1 A 7,5 ANOS DO SÍTIO II PARA AVALIAÇÃO DO FATOR DENSIDADE

4,1 anos						
	Test-2.000	Test-4.000	Test-8.000	2.000-4.000	2.000-8.000	4.000-8.000
χ^2	147778,7	10366,7	3027,2	914,6	1783,9	482,3
5,0 anos						
	Test-2.000	Test-4.000	Test-8.000	2.000-4.000	2.000-8.000	4.000-8.000
χ^2	8394,4	874,2	323,8	625,9	683,3	107,2
6,3 anos						
	Test-2.000	Test-4.000	Test-8.000	2.000-4.000	2.000-8.000	4.000-8.000
χ^2	19875,4	4987,5	2210,1	145,7	333,3	91,7
7,5 anos						
	Test-2.000	Test-4.000	Test-8.000	2.000-4.000	2.000-8.000	4.000-8.000
χ^2	4486,4	3333,1	698,0	249,8	267,1	495,5

TABELA 25 - NÚMERO DE ÁRVORES ESTIMADAS POR HECTARE ATRAVÉS DA FUNÇÃO S_B , POR CLASSE DIAMÉTRICA PARA DENSIDADES INICIAIS TESTEMUNHA, 2.000 ÁRV./HA, 4.000 ÁRV./HA E 8.000 ÁRV./HA, PARA AS IDADES 4,2 A 7,6 ANOS, SÍTIO III

Centro de classe diamétrica (cm)	Idade 4,2 anos				Idade 5,4 anos				Idade 6,3 anos				Idade 7,6 anos			
	Test.	2.000	4.000	8.000	Test.	2.000	4.000	8.000	Test.	2.000	4.000	8.000	Test.	2.000	4.000	8.000
0,5	-	-	-	22,2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1,5	996,5	-	38,8	127,0	125,9	-	-	13,9	-	-	-	-	-	-	-	-
2,5	2141,8	10,9	111,1	492,8	675,7	-	55,9	232,3	162,2	-	17,2	19,3	23,6	-	-	1,1
3,5	2386,5	17,4	242,0	1131,7	1212,9	-	124,5	770,7	553,0	-	62,6	293,4	129,4	-	19,1	81,5
4,5	1932,6	43,5	400,6	1552,9	1339,3	27,4	234,2	1190,9	926,4	11,2	144,1	798,2	317,6	-	47,1	317,2
5,5	1266,8	101,2	535,1	1332,3	1125,7	69,6	347,5	1175,2	1018,0	30,6	244,5	1049,2	476,8	20,8	106,4	513,8
6,5	682,8	208,2	584,1	764,6	780,9	153,5	430,1	837,3	857,3	82,4	338,1	924,6	521,5	55,0	187,0	568,9
7,5	290,7	348,5	505,3	316,6	459,3	256,0	453,0	445,9	597,4	168,3	399,2	611,3	457,4	134,9	264,9	497,3
8,5	102,2	418,4	313,2	101,8	228,2	329,6	403,3	173,6	358,1	258,2	408,5	309,9	339,9	228,2	308,8	353,3
9,5	-	304,3	116,0	27,1	93,0	320,8	292,2	52,6	188,1	295,8	359,1	115,8	221,2	259,2	298,8	195,8
10,5	-	112,0	-	7,9	36,0	218,7	157,1	-	87,0	253,3	261,1	32,2	128,7	198,5	239,4	86,6
11,5	-	20,3	-	-	-	87,5	50,6	-	52,5	163,0	143,2	-	67,7	106,1	156,8	-
12,5	-	-	-	-	-	13,8	5,6	-	-	79,8	53,2	-	32,3	41,8	81,8	-
13,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	42,0	-	-	22,4	17,1	43,7	-

TABELA 26 - VALORES DO TESTE χ^2 ENVOLVENDO A COMBINAÇÃO DAS DENSIDADES INICIAIS TESTEMUNHA, 2.000 ÁRV./HA, 4.000 ÁRV./HA E 8.000 ÁRV./HA NAS IDADES 4,2 A 7,6 DO SÍTIO III PARA AVALIAÇÃO DO FATOR DENSIDADE

4,2 anos						
	Test-2.000	Test-4.000	Test-8.000	2.000-4.000	2.000-8.000	4.000-8.000
χ^2	1320847,4	86952,8	11836,8	2219,0	10509,5	3190,8
5,4 anos						
	Test-2.000	Test-4.000	Test-8.000	2.000-4.000	2.000-8.000	4.000-8.000
χ^2	423213,6	27069,7	2158,9	926,9	10553,1	6442,7
6,3 anos						
	Test-2.000	Test-4.000	Test-8.000	2.000-4.000	2.000-8.000	4.000-8.000
χ^2	277661,9	12844,3	1722,0	874,2	11405,9	7941,9
7,6 anos						
	Test-2.000	Test-4.000	Test-8.000	2.000-4.000	2.000-8.000	4.000-8.000
χ^2	46215,1	4681,7	816,4	376,1	3380,9	3214,0

ANEXO 03 - LIMITES DE D (TESTE DE KOLMOGOROV)

TABELA 29 - LIMITES DE D E D₁ NO TESTE DE KOLMOGOROV, PARA O CASO DE UMA AMOSTRA À 5% E 1% DE SIGNIFICÂNCIA

$$P_{\theta}(D \geq d) = \alpha, P_{\theta}[D^{+}(D^{-}) \geq d_1] = \alpha/2$$

N	0,05	0,01	N	0,05	0,01	N	0,05	0,01	N	0,05	0,01
1	0,975	0,995	26	0,259	0,311	51	0,186	0,224	76	0,153	0,184
2	0,842	0,929	27	0,254	0,305	52	0,185	0,222	77	0,152	0,183
3	0,708	0,829	28	0,250	0,300	53	0,183	0,220	78	0,151	0,182
4	0,624	0,734	29	0,246	0,295	54	0,181	0,218	79	0,150	0,181
5	0,563	0,668	30	0,242	0,290	55	0,180	0,216	80	0,150	0,179
6	0,519	0,617	31	0,238	0,285	56	0,178	0,214	81	0,149	0,178
7	0,483	0,578	32	0,234	0,281	57	0,177	0,212	82	0,148	0,177
8	0,454	0,542	33	0,231	0,277	58	0,175	0,210	83	0,147	0,176
9	0,430	0,513	34	0,227	0,273	59	0,174	0,208	84	0,146	0,175
10	0,409	0,489	35	0,224	0,269	60	0,172	0,207	85	0,145	0,174
11	0,391	0,468	36	0,221	0,265	61	0,171	0,205	86	0,144	0,173
12	0,375	0,449	37	0,218	0,262	62	0,170	0,203	87	0,144	0,172
13	0,361	0,432	38	0,215	0,258	63	0,168	0,202	88	0,143	0,171
14	0,349	0,418	39	0,213	0,255	64	0,167	0,200	89	0,142	0,170
15	0,338	0,404	40	0,210	0,252	65	0,166	0,199	90	0,141	0,169
16	0,327	0,392	41	0,208	0,249	66	0,164	0,197	91	0,140	0,168
17	0,318	0,381	42	0,206	0,246	67	0,163	0,196	92	0,140	0,168
18	0,309	0,371	43	0,203	0,243	68	0,162	0,194	93	0,139	0,167
19	0,301	0,361	44	0,200	0,241	69	0,161	0,193	94	0,138	0,166
20	0,294	0,352	45	0,198	0,238	70	0,160	0,192	95	0,137	0,165
21	0,287	0,344	46	0,196	0,235	71	0,159	0,190	96	0,137	0,164
22	0,281	0,337	47	0,194	0,233	72	0,158	0,189	97	0,136	0,163
23	0,275	0,330	48	0,192	0,231	73	0,156	0,188	98	0,135	0,162
24	0,269	0,323	49	0,190	0,228	74	0,155	0,186	99	0,135	0,162
25	0,264	0,316	50	0,188	0,226	75	0,154	0,185	100	0,134	0,161
									> 100	$\frac{1,35}{\sqrt{n}}$	$\frac{1,62}{\sqrt{n}}$

Fonte: Campos (1979)

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARCE, J. E.; BRATOVICH, R. A.; MARQUINA, J.; MARLATS, R. M. Modelos dinámicos de distribuciones diamétricas en *Populus deltoides* Marsh. In: JORMA VI - JORNADAS DE MEDIO AMBIENTE. STATISTICS AND ENVIRONMENT. La Plata, Argentina. **Actas...** Universidad de Cadiz, España e Universidad de La Plata, Argentina. p. 21-32, 1999.
- BAILEY, R.L. & DELL, T.R. Quantifying diameter distribution with the Weibull function. **Forest Science**, Washington, v. 19, n. 2, p. 97-104, 1973.
- BAGGIO, A.J. & CAPARNEZZI, A.A. Biomassa aérea da bracatinga (*Mimosa scabrella* Benth.) em talhões do sistema de cultivo tradicional. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Colombo, n. 34, p. 31-44, jan./jun. 1997.
- BARROS, P.L.C. **Estudo das distribuições diamétricas da floresta do planalto Tapajós - Pará**. Curitiba, 1980. 123 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais). Curso de Engenharia Florestal, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.
- BLISS, C.I. & REINEKER, K.A. A lognormal approach to diameter distribution in even-aged stands. **Forest Science**, Washington, v. 10, n. 3., p. 350-360, 1964.
- BRANDI, R.M.; COUTO, L.; NETO, F.P. Influência do espaçamento na sobrevivência, frequência por classe de diâmetro e relação hipsométrica altura-diâmetro do *Eucalyptus urophylla*. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 24, n. 136, p. 617-627, 1977.
- BUKAC, J. Fitting S_B curves using symmetrical percentile points. **Biometrika**, n. 59, p. 668-690, 1972.
- BURK, T.E. & BURKHART, H.E. Diameter distributions and yields of natural stands of loblolly pine, School of Forestry and Wildlife Resources, Virginia Polytechnic Institute and State University, Blacksburg. **Publ. FWS**, v.1, n. 84, 1984.
- CAMPOS, H. **Estatística experimental não paramétrica**. 3 ed. Piracicaba: USP/ESALQ, 1979. 343 p.
- CAMPOS, J.C.C. & TURNBULL, F.X. Um sistema para estimar produção por classe de diâmetro e sua aplicação na interpretação dos efeitos de desbaste. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 5, n. 1, p. 1-16, 1981.
- CLUTTER, J. L. & BENETT, F.A. A diameter distributions in old field slash pine plantations. **Georgia Forest Research Council Report**, n. 13, p. 1-9, 1965.
- CLUTTER, J. L. & ALISSON, B.J. A growth and yield model for *Pinus radiata* in New Zeland. **Research Notes**, n. 30, p. 137-60, 1974.

- CLUTTER, J.L.; FORSTON, J.C.; PIENAAR, L.V.; BRISTER, G.H.; BAILEY, R.L. **Timber management: a quantitative approach**. New York: John Wiley & Sons, 1983, 333 p.
- COELHO, R.A.; MELLO, H.A.; SIMÕES, J.W. Comportamento de espécies de eucaliptos face ao espaçamento. **Revista do IPEF**, Piracicaba, v. 1, n. 1, p. 29-55, 1970.
- COUTO, L; BRANDI, R.M.; CONDÉ, A.R.; NETO, F.P. Influência de espaçamento no crescimento do *Eucalyptus urophylla* de origem híbrida, cultivado na região de Coronel Fabriciano, Minas Gerais. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 1, n.2, p. 57-71, 1971.
- COUTO, H.T.Z. **Distribuição de diâmetros em plantações de *Pinus caribaea* Morelet var *caribaea*** Piracicaba, 1980. 79 p. Tese (Livre Docência). Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo-USP.
- CUNHA, U.S. **Análise da estrutura diamétrica de uma floresta tropical úmida da Amazônia Brasileira**. Curitiba, 1995. 134 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais). Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.
- CRECHI, E.H. **Efeitos da densidade da plantação sobre a produção, crescimento e sobrevivência de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze. em Misiones, Argentina**. Curitiba, 1996. 172 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais). Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.
- CRESPO, A.A. **Estatística Fácil**. 16 ed. São Paulo: Saraiva. 1998. 207 p.
- DARLINGTON, R.B. Is kurtosis really "peakedness?" **American Statistician**, Washington, v. 24, n. 2, p. 19-20, 1970.
- FINGER, C.A.G. **Distribuição de diâmetros em acácia negra, *Acacia mearnsii* de Wild, em diferentes povoamentos e idade**. Curitiba, 1982. 129 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais), Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.
- FINOL, U. H. Estudio Silvicultural de algunas especies comerciales en el Bosque Universitario "El Caimital" - Estado Barinas. **Revista Forestal Venezolana**, Merida, v. 7, n. 10/11, p. 17-63. 1964.
- GADOW, K. Fitting distributions in *Pinus patula* stands. **South African Forestry Journal**, Stellenbosch, n. 126, p. 20-29, 1983.
- GLADE, J.E. **Prognose de volume por classes diamétricas para *Eucalyptus grandis* Hill ex-Maiden**. Curitiba, 1986. 107p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais). Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

- HAFLEY, W.L. & SCHREUDER, H.T. Statistical distribution for fitting diameters and data in even aged stand. **Canadian Journal of Forest Research**. Ottawa, v. 7, n. 3, p. 481-487, 1977.
- HAHN, G.J., & SHAPIRO, S. S. **Statistical models in engineering**. New York: John Wiley & Sons, 1967.
- HEINSDISK, D. & BASTOS, M. A. **A distribuição dos diâmetros nas florestas brasileiras**. Rio de Janeiro. Departamento de Recursos Naturais Renováveis do MA., 1965. 56 p. (Boletim nº 11).
- HILDEBRAND, D.K. Kurtosis measures bimodality? **American Statistician**, Washington, v. 25, n. 1, p. 42-43, 1971.
- HILL, I.D. Normal-Johnson and Johnson-Normal Transformations. **Journal of The Royal Statistical Society**, v. 25, 1976. (Serie C: Applied Statistics).
- HOSOKAWA, R.T. & GLADE, J.E. Prognose de rendimentos de bitolas comerciais para múltiplos fins em povoamentos florestais. **Silvicultura**, Sao Paulo, v. 11, n. 41, p. 150-163, 1986.
- HUSCH, B., MILLER, C.I., BEERS, T. W. **Forest Mensuration**. 3 ed. New York: John Wiley & Sons, 1982. 401p.
- JOHNSON, N.L. Systems of frequency curves generated by methods of translation. **Biometrika**, London, n. 36, p. 149-176, 1949a.
- JOHNSON, N.L. Bivariate distributions based on simple translation systems. **Biometrika**, London, n. 36, p. 297-304, 1949b.
- JOHNSON, N.L. & KOTZ, S. **Distributions in statistics**, Boston: Houghton Millin Co, v. 2, 1970, 112 p.
- JOHNSON, N.L. & KITCHEN, J.O. Some notes on tables to facilitate fitting S_B curves. **Biometrika**, London, v. 58, n. 1, p. 223-226, 1971.
- KENDALL, M.G. & STUART, A. **The advanced theory of statistics**. 3 ed. New York: Macmillan, 1978. 614p.
- KNOEBELL, B.C.; BURKHART, H.E.; BECK, D.E. Growth and Yield Model for Thinned Stands of Yellow-Poplar. **Forest Science**, Washington, v. 32, n. 2, p. 1-62, june 1986. (Monograph, 27).
- LAMPRECHT, H. **Silvicultura nos trópicos: ecossistemas florestais e respectivas espécies arbóreas - possibilidades e métodos de aproveitamento sustentado**. Rossdorf. Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ), 1990. 343 p.
- LOETSCH, F.; ZÖHRER, F.; HALLER, K.E. **Forest inventory**, Munchen: BLV,

Verlagsgesellschaft, v. 2, 1973. 469 p.

MACHADO, S.A; MARQUESINI, L.C.P.T.; BACOVIS, R. Effects of age, site, average DBH and density upon the diameter distribution of thinned products from *Pinus taeda* plantations in the State of Paraná, Brazil. In: IUFRO, XIX WORLD CONGRESS, Montreal, Canadá. **Procedures...** 1990. p. 150-165.

MACHADO, S.A; BACOVIS, R; MARQUESINI, L.C.P.T. Estudo das funções de distribuição diamétrica das árvores desbastadas em plantações de *Pinus taeda* no Estado do Paraná. In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 6., 1990, Campos do Jordão, **Anais...** São Paulo: Sociedade Brasileira de Silvicultura, 22-27 de setembro, 1990, p. 145-152.

MEYER, W.H. Rates of growth of immature douglas-fir as shown by periodic remeasurements of permanent sample plots. **Journal of Agricultural Research**, Washington, v. 36, n. 3, p. 193-215, 1928.

MEYER, W.H. Diameter distribution series in even-aged forest stands. **Yale Univ. School Forestry Bull.** n. 28, 1930. 105 p.

MEYER, H.A. & STEVENSON, D.D. The structure and growth of virgin beech - birch - maple - hemlock forests in northern Pennsylvania. **Journal of Agricultural Research**, Washington, n. 67, p. 465-484, 1943.

McCLURKIN, D.C. Diameter growth and phenology of trees on sites with high water stands. **U.S. For. Service Res**, 22, 1965. 4 p. Note SO.

McGEE, C.E. & DELLA-BIANCA, L. Diameter distributions in natural yellow-poplar stands. **U.S. Forest Service Research Paper. SE-25.** Southeast Forest Exp. Stn, Asheville, NC, 1967. 7 p.

NEGREIROS, O.C.; DIAS, A.C.; COUTO, H.T.Z. Ajustagem de curvas de distribuição diamétrica em uma comunidade de Floresta Pluvial Tropical no núcleo Sete Barras do Parque Estadual de Carlos Botelho/São Paulo. **Revista do Instituto Florestal**, São Paulo, v. 2, n. 1, p. 95-114, 1990.

NELSON, T.C. Diameter Distribution and Growth of Loblolly Pine. **Forest Science**, Washington, v. 10, n. 1, p. 105-114, 1964.

OLIVEIRA, E.B. **Um sistema computadorizado de prognose de crescimento e produção de *Pinus taeda* L., com critérios quantitativos para a avaliação técnica e econômica de regimes de manejo.** Curitiba, 1995. 133 p. Tese (Doutorado em Ciências Florestais). Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

PEREIRA, W. & TANAKA, O.K. **Estatística - Conceitos Básicos.** 2. ed São Paulo: Makron Books. 1990. 371 p.

PRODAN, M; PETERS, R.; COX, R.; REAL, P. **Mensura Forestal.** San José, Costa

- Rica. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA). 1997. 586 p. (Serie Investigacion y Educacion en Desarrollo Sostenible).
- ROCHADELLI, R. **Contribuição Sócio-Econômica da Bracatinga (*Mimosa Scabrella Benth*) na Região Metropolitana de Curitiba-Norte (RMC-N)**. Curitiba. 1997. 83 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais). Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.
- SCHREUDER, H.T.; HAFLEY, W.L.; WHITEHORNE, E.W.; DARE, B.J. **Maximum likelihood estimation for selected distributions**. School of Forest Resources, North Carolina State University, 1978. 21 p. (Technical Report n° 61).
- SCOLFORO J.R. **Sistema integrado para predição e análise presente e futura de crescimento e produção, com otimização de remuneração de capitais, para *Pinus caribaea* var. *hondurensis***. Curitiba, 1990. 290 p. Tese (Doutorado em Ciências Florestais). Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.
- SCOLFORO, J.R. **Mensuração Florestal 6: Crescimento Florestal 2**. Lavras: UFLA/FAEPE, 1995. 243 p.
- SILVA, J.A. **Biometria e Estatística Florestal**. Santa Maria: UFSM, Centro de Ciências Rurais, Departamento de Engenharia Agrícola e Florestal, 1977. 235 p.
- SILVA, J.A. **Dynamics of stands structure in fertilized slash pine plantation**. Athens. 1986. 139 p. Dissertação (Ph.D). University of Georgia.
- SILVA, V.S.M. **Produção de *Eucalyptus camaldulensis* Delnh. no Estado de Mato Grosso**. Curitiba, 1999. 179 p. Tese (Doutorado em Ciências Florestais). Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.
- SLIFKER, J.F. & SHAPIRO, S. S. The Johnson System: Selection and Parameter Estimation. **Technometrics**, v. 22, n. 2, p. 239-246, 1980.
- SMITH, L.F. Effects of spacing and site on the growth and yield of planted slash pine. **U.S. Forest Service Research Note**. SO-63, 1967, 4 p.
- SPIEGEL, M.R. **Estatística**. São Paulo: Makron Books, 1993. 643 p.
- STEEL, R.G.D. & TORRIE, J.H. **Principles and procedures of statistics**. New York: Mc Graw Hill, 1980. 481p.
- TABAI, F.C.V. **O estudo da acuracidade da distribuição S_B para representar a estrutura diamétrica de *Pinus taeda*, através de cinco métodos de ajuste**. Lavras, 1999. 55 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais). Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Universidade Federal de Lavras.

- THIERSCH, A. **Eficiência das distribuições diamétricas para prognose da produção de *Eucalyptus camaldulensis***. Lavras, 1997. 154 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais). Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Universidade Federal de Lavras.
- UMAÑA, C.L.A. **Distribuições diamétricas de árvores em dez hectares de floresta tropical úmida da Dois Mil madeireira, Itacoatiara – AM**. Manaus: 1997. 44 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais). Curso de Pós-Graduação em Biologia Tropical e Recursos Naturais do Convênio Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Universidade Federal do Amazonas.
- ZÖHRER, F. The Beta distribution for best fit of stem - diameter - distributions. *In*: IUFRO, 3rd CONFERENCE ADVISORY GROUP OF FOREST STATISTICIANS, Jouy-en-Josas (France), Sect. 25, 1972. **Procedures...** Paris: Inst. Nat. Rech. Agr., 1972. v. 72, n. 3, p. 91-106.