

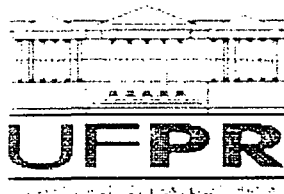
OSCAR SANTIAGO VALLEJOS BARRA

**SISTEMA DE SIMULAÇÃO DE CRESCIMENTO E PRODUÇÃO DE
Populus spp., NO CHILE (SISTEMA SALICA)**

Tese apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Área de Concentração em Manejo Florestal, do Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Doutor em Ciências Florestais.

Orientador: Prof. Dr. Carlos Roberto Sanquetta

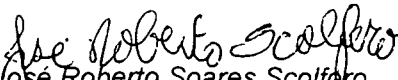
CURITIBA
2003




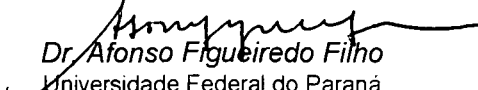
PARECER

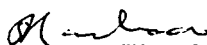
Defesa nº. 535


A banca examinadora, instituída pelo colegiado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, do Setor de Ciências Agrárias, da Universidade Federal do Paraná, após argüir o(a) doutorando(a) *Oscar Santiago Vallejos Barra* em relação ao seu trabalho de tese intitulado "**Sistema de simulação de crescimento e produção de *Populus spp.*, no Chile (*Sistema Salica*)**", é de parecer favorável à **APROVAÇÃO** do(a) acadêmico(a), habilitando-o(a) ao título de *Doutor* no Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, área de concentração em MANEJO FLORESTAL.


Dr. José Roberto Soares Scolforo
Universidade Federal de Lavras
Primeiro examinador


Dr. Edilson Batista de Oliveira
EMBRAPA/Florestas
Segundo examinador

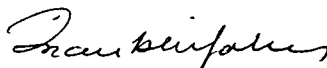

Dr. Afonso Figueiredo Filho
Universidade Federal do Paraná
Terceiro examinador


Dr. Sebastião do Amaral Machado
Universidade Federal do Paraná
Quarto examinador


Dr. Carlos Roberto Sanquetta
Universidade Federal do Paraná
Orientador e presidente da banca examinadora



Curitiba, 12 de dezembro de 2003.


Franklin Galvão
Coordenador do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal

A mis seres queridos.
DEDICO.

AGRADECIMENTOS

O autor deseja expressar seu mais profundo agradecimento ao Dr. Álvaro Rojas Marín, excelentíssimo Reitor da Universidade de Talca (Talca, Chile), por seu permanente apoio e pela possibilidade de concretizar meus estudos doutorais.

Aos professores e amigos Carlos Roberto Sanquetta, Sebastião do Amaral Machado e Julio Eduardo Arce, pelo constante estímulo e apoio durante o curso e em especial no desenvolvimento da presente pesquisa.

Aos professores do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal com os quais tive a oportunidade de intercambiar conhecimentos.

Aos representantes da empresa florestal “CAF El Álamo” por haver facilitado os dados utilizados na presente tese.

Aos secretários do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Sra. Elinor e Sr. Reinaldo, sempre atenciosos e prontos para colaborar em tudo.

Aos bibliotecários e pessoal da biblioteca do Setor de Ciências Agrárias, Sra. Tania, Sra. Marlene, Sra. Isler e Sr. Agrinaldo, pela dedicação ao seu trabalho e pelo apoio prestado.

À minha família, pelo apoio incondicional e abnegação expressos durante a realização deste curso e no decorrer de minha vida.

Enfim, a todas as pessoas que contribuíram para tornar sumamente grata e confortável a estada de minha família no Brasil.

BIOGRAFIA DO AUTOR

Oscar Santiago Vallejos Barra, filho de Oscar Vallejos Díaz e de Adriana Barra Salazar, nasceu em Rancagua, Chile a 21 de abril de 1965. Em 1984 iniciou seus estudos de graduação na Universidade de Concepción, Chillán, Chile, onde graduou-se em dezembro de 1990 como Engenheiro Florestal. Ingressou como docente na Universidade de Talca em abril de 1991, atuando desde então como professor de Mensuração Florestal. Entre 1995 e 1996 realizou seus estudos de Pós-Graduação ao nível de Mestrado no “Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza” (CATIE, Costa Rica) em Ciências Florestais na área de concentração em Manejo Florestal. Entre 1997 e 1999 foi Diretor da Escola de Engenharia Florestal da Universidade de Talca. Em março de 2001 iniciou seus estudos de doutorado no Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal da Universidade Federal do Paraná na área de concentração em Manejo Florestal, os quais são concluídos com a defesa desta tese.

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS	iv
BIOGRAFIA DO AUTOR	v
SUMÁRIO	vi
LISTA DE TABELAS	viii
LISTA DE FIGURAS	x
RESUMO	xii
ABSTRACT	xiii
1 INTRODUÇÃO	1
2 OBJETIVOS	3
2.1 Geral	3
2.2 Específicos	3
3 REVISÃO DE LITERATURA	4
3.1 Aspectos gerais do gênero <i>Populus</i>	4
3.2 Banco de dados	5
3.3 Modelos biométricos	8
3.3.1 Funções de afilamento	11
3.3.2 Funções de crescimento	14
3.3.3 Funções de distribuição diamétrica	15
3.3.4 Funções de índice de sítio	17
3.3.5 Funções de volume	18
3.4 Avaliação econômica – financeira	19
3.5 Pesquisa operacional	21
4 MATERIAL E MÉTODOS	25
4.1 Módulo de banco de dados	28
4.2 Módulo biométrico	31
4.2.1 Módulo de ajuste de funções	32
4.2.1.1 <i>Análise de regressão</i>	33
4.2.1.2 <i>Análise de regressão com variáveis dummy</i>	34
4.2.1.3 <i>Análise de variância</i>	34
4.2.2 Módulo Estimativas	35
4.2.3 Módulo Simulação	36
4.3 Módulo de avaliação econômica – financeira	38

5	RESULTADOS	41
5.1	Ajuste de funções	44
5.1.1	Funções de afilamento	44
5.1.2	Funções de crescimento e produção	47
5.1.3	Distribuição diamétrica	50
5.1.4	Função hipsométrica	53
5.1.5	Funções de índice de sítio	55
5.1.6	Funções de volume	58
5.1.7	Implementação no simulador SALICA	60
5.2	Avaliação econômica – financeira	66
5.2.1	Implementação no simulador SALICA	67
5.3	Banco de dados das parcelas	71
5.3.1	Implementação no simulador SALICA	71
5.4	Banco de dados da análise de tronco	73
5.4.1	Implementação no simulador SALICA	74
5.5	Estimativas	79
5.5.1	Implementação no simulador SALICA	79
5.5.1.1	<i>Cálculo do sortimento do povoamento</i>	80
5.5.1.2	<i>Prognose de crescimento e produção</i>	82
5.5.1.3	<i>Cálculo da tabela de povoamento</i>	84
5.5.1.4	<i>Classificação dos sítios</i>	86
5.5.1.5	<i>Cálculo de volume total do povoamento</i>	87
5.6	Simulação	88
5.6.1	Implementação no simulador SALICA	90
6	CONCLUSÕES	94
7	RECOMENDAÇÕES	96
8	REFERÊNCIAS	97
9	APÊNDICES	103
9.1	Apêndice A: avaliação das funções	104
9.2	Apêndice B: ajuste ótimo da distribuição weibull 3P	109
9.3	Apêndice C: estabilidade na classificação dos sítios	111
9.4	Apêndice D: otimização das estimativas em nível de povoamento e por classe diamétrica	114
10	ANEXOS	116

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 -	DESCRIÇÃO DOS TALHÕES UTILIZADOS NA PESQUISA.....	27
TABELA 2-	DESCRIÇÃO DOS ATRIBUTOS UTILIZADOS NO BANCO DE DADOS DAS PARCELAS.....	29
TABELA 3 -	DESCRIÇÃO DOS ATRIBUTOS UTILIZADOS NO BANCO DE DADOS DA ANÁLISE DE TRONCO.....	31
TABELA 4 -	REGIMES DE MANEJO DESCRITOS POR LOEWE <i>ET AL.</i> (1997) AVALIADOS NA PRESENTE PESQUISA.....	39
TABELA 5 -	INCREMENTOS MÉDIOS ANUAIS DOS TALHÕES AVALIADOS NA PRESENTE PESQUISA.....	41
TABELA 6 -	AVALIAÇÃO DAS FUNÇÕES DE AFILAMENTO.....	45
TABELA 7 -	VALIDAÇÃO DAS FUNÇÕES DE AFILAMENTO, TESTE DE KOLMOGOROV-SMIRNOV.....	47
TABELA 8 -	CORRELAÇÃO LINEAR ENTRE AS VARIÁVEIS DO POVOAMENTO SEGUNDO CLASSE DE SÍTIO E HÍBRIDO.....	48
TABELA 9 -	FUNÇÕES DO POVOAMENTO AJUSTADAS.....	49
TABELA 10 -	VALIDAÇÃO DAS FUNÇÕES DE CRESCIMENTO E PRODUÇÃO DO POVOAMENTO, TESTE DE KOLMOGOROV-SMIRNOV.....	49
TABELA 11 -	TESTE DE LEVENE E ANÁLISE DE VARIÂNCIA DA VARIÁVEL “DN” SEGUNDO HÍBRIDO E GRUPOS DAS DISTRIBUIÇÕES.....	50
TABELA 12 -	TESTE SNK DA VARIÁVEL “DN” SEGUNDO HÍBRIDO E GRUPOS DAS DISTRIBUIÇÕES.....	50
TABELA 13 -	TESTE DE LEVENE E ANÁLISE DE VARIÂNCIA DA VARIÁVEL “DN” SEGUNDO HÍBRIDO NA AMOSTRA DE VALIDAÇÃO.....	52
TABELA 14 -	TESTE SNK DA VARIÁVEL “DN” SEGUNDO HÍBRIDO E GRUPOS DAS DISTRIBUIÇÕES.....	53
TABELA 15 -	AVALIAÇÃO DAS FUNÇÕES HIPSOMÉTRICAS.....	54
TABELA 16 -	VALIDAÇÃO DAS FUNÇÕES HIPSOMÉTRICAS ,TESTE DE KOLMOGOROV-SMIRNOV.....	55
TABELA 17 -	AVALIAÇÃO DAS FUNÇÕES DE ÍNDICE DE SÍTIO.....	57
TABELA 18 -	VALIDAÇÃO DAS FUNÇÕES DE ÍNDICE DE SÍTIO, TESTE DE KOLMOGOROV-SMIRNOV.....	58
TABELA 19 -	AVALIAÇÃO DAS FUNÇÕES DE VOLUME.....	59
TABELA 20 -	VALIDAÇÃO DAS FUNÇÕES VOLUMÉTRICAS, TESTE DE KOLMOGOROV-SMIRNOV.....	60
TABELA 21 -	AVALIAÇÃO ECONÔMICA – FINANCEIRA DOS REGIMES DE MANEJO EXPOSTOS POR LOEWE <i>ET AL.</i> (1997).....	67
TABELA 22 -	DESCRIÇÃO DOS DADOS BÁSICOS DO REGIME.....	68
TABELA 23 -	DESCRIÇÃO DOS DADOS DE RECEITAS E CUSTOS DO REGIME.....	69
TABELA 24 -	CORRELAÇÃO LINEAR ENTRE DIÂMETROS SEGUNDO CLASSE DE SÍTIO E HÍBRIDO.....	89
TABELA 25 -	FUNÇÕES AJUSTADAS PARA PROGNOSE POR CLASSE DIAMÉTRICA.....	89
TABELA 26 -	VALIDAÇÃO DAS FUNÇÕES DE PROGNOSE POR CLASSE DIAMÉTRICA, TESTE DE KOLMOGOROV-SMIRNOV.....	89
TABELA 27 -	INDICADORES DE DESEMPENHO DAS FUNÇÕES DE AFILAMENTO PARA O DIÂMETRO DE CADA TORA.....	104
TABELA 28 -	INDICADORES DE DESEMPENHO DAS FUNÇÕES DE AFILAMENTO PARA O VOLUME DE CADA TORA.....	105
TABELA 29 -	INDICADORES DE DESEMPENHO DAS FUNÇÕES HIPSOMÉTRICAS.....	106
TABELA 30 -	INDICADORES DE DESEMPENHO DAS FUNÇÕES DE ÍNDICE DE SÍTIO.....	107
TABELA 31 -	INDICADORES DE DESEMPENHO DAS FUNÇÕES DE VOLUME DA ÁRVORE COMPLETA.....	108

TABELA 32 - CLASSE DE SÍTIO DAS PARCELAS SEGUNDO IDADE E AMPLITUDE CONSIDERADA.....	112
TABELA 33 - FUNÇÕES DE AFILAMENTO AVALIADAS NA PRESENTE PESQUISA.....	117
TABELA 34 - FUNÇÕES DE DISTRIBUIÇÃO DIAMÉTRICA AVALIADAS NA PRESENTE PESQUISA.....	118
TABELA 35 - MÉTODOS DE AJUSTE UTILIZADOS EM CADA DISTRIBUIÇÃO.....	119
TABELA 36 - FUNÇÕES DE DISTRIBUIÇÃO DIAMÉTRICA ACUMULADA.....	122
TABELA 37 - FUNÇÕES HIPSOMÉTRICAS AVALIADAS NA PRESENTE PESQUISA.....	123
TABELA 38 - FUNÇÕES DE ÍNDICE DE SÍTIO AVALIADAS NA PRESENTE PESQUISA.....	124
TABELA 39 - FUNÇÕES DE VOLUME AVALIADAS NA PRESENTE PESQUISA.....	125
TABELA 40 - INDICADORES DA QUALIDADE DO AJUSTE.....	126
TABELA 41 - INDICADORES ECONÔMICO - FINANCEIROS.....	127
TABELA 42 - DESPESAS E RECEITAS ANUAIS DO REGIME PO10 VI R.....	128
TABELA 43 - DESPESAS E RECEITAS ANUAIS DO REGIME PO12 VII R.....	129
TABELA 44 - DESPESAS E RECEITAS ANUAIS DO REGIME PO12 VII RCU.....	130
TABELA 45 - DESPESAS E RECEITAS ANUAIS DO REGIME PO12 VII RGA.....	131
TABELA 46 - DESPESAS E RECEITAS ANUAIS DO REGIME PO12 VII RCUGA.....	132
TABELA 47 - DESPESAS E RECEITAS ANUAIS DO REGIME PO14 VIII R.....	133
TABELA 48 - DESPESAS E RECEITAS ANUAIS DO REGIME PO16 IX SR.....	134
TABELA 49 - DESPESAS E RECEITAS ANUAIS DO REGIME PO16 X SR.....	135

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 -	LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DA PESQUISA (VII REGIÃO, CHILE).....	25
FIGURA 2 -	ARQUITETURA DO BANCO DE DADOS DAS PARCELAS (TABELAS DESENVOLVIDAS E SUAS RELAÇÕES).....	29
FIGURA 3 -	ARQUITETURA DO BANCO DE DADOS DA ANÁLISE DE TRONCO (TABELAS DESENVOLVIDAS E SUAS RELAÇÕES).....	30
FIGURA 4 -	DISTRIBUIÇÃO DOS DIÂMETROS SEGUNDO IDADE A)HÍBRIDO I-488, B) HÍBRIDO I-63/51.....	42
FIGURA 5 -	DISTRIBUIÇÃO DAS ALTURAS SEGUNDO IDADE A)HÍBRIDO I-488, B) HÍBRIDO I-63/51.....	43
FIGURA 6 -	ACESSO AO SIMULADOR SALICA.....	44
FIGURA 7 -	DISTRIBUIÇÃO DOS DIÂMETROS E ALTURAS A) HÍBRIDO I-488 B) HÍBRIDO I-63/51.....	53
FIGURA 8 -	DISPERSÃO DOS DADOS REQUERIDOS PARA AJUSTAR A FUNÇÃO DE ÍNDICE DE SÍTIO A)HÍBRIDO I-488, B) HÍBRIDO I-63/51.....	56
FIGURA 9 -	DISPERSÃO DOS DADOS REQUERIDOS PARA AJUSTAR A FUNÇÃO DE VOLUME A)HÍBRIDO I-488.....	58
FIGURA 10 -	FLUXOGRAMA DO MÓDULO DE AJUSTE DE FUNÇÕES.....	61
FIGURA 11 -	FUNÇÕES DISPONÍVEIS NO SIMULADOR SALICA A) FUNÇÕES DE AFILAMENTO B) FUNÇÕES DE DISTRIBUIÇÃO DIAMÉTRICA C) FUNÇÕES HIPSOMÉTRICAS D) FUNÇÕES DE ÍNDICE DE SÍTIO E) FUNÇÕES DE VOLUME.....	62
FIGURA 12 -	EXEMPLO DO RESULTADO DO AJUSTE DA FUNÇÃO GAMMA.....	63
FIGURA 13 -	EXEMPLO DO RESULTADO GRÁFICO DO AJUSTE DA FUNÇÃO GAMMA.....	63
FIGURA 14 -	TELA QUE APRESENTA O RESULTADO DA ANÁLISE DE REGRESSÃO DE UMA FUNÇÃO LINEAR.....	64
FIGURA 15 -	TELA QUE APRESENTA A ANÁLISE DE VARIÂNCIA E A ANÁLISE DOS RESÍDUOS.....	65
FIGURA 16 -	REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DO AJUSTE A) ESTIMATIVA E B) RESÍDUOS - PADRÃO.....	66
FIGURA 17 -	INSERÇÃO DOS DADOS BÁSICOS QUE DESCREVEM O REGIME DE MANEJO.....	68
FIGURA 18 -	INSERÇÃO DE DESPESAS E RECEITAS DO REGIME DE MANEJO EM ANÁLISE.....	69
FIGURA 19 -	RESULTADO DOS INDICADORES FINANCEIROS DO REGIME DE MANEJO E ANÁLISE DE SENSIBILIDADE.....	70
FIGURA 20 -	TELA QUE APRESENTA AS OPÇÕES DE PROCESSAMENTO DA INFORMAÇÃO DAS PARCELAS.....	71
FIGURA 21 -	TELA ONDE O USUÁRIO DESCREVE AS MEDIÇÕES.....	72
FIGURA 22 -	TELA DE INSERÇÃO DAS RESPECTIVAS MEDIÇÕES.....	73
FIGURA 23 -	ORDEM DOS DADOS DO BANCO DE DADOS DAS PARCELAS.....	73
FIGURA 24 -	TELA QUE APRESENTA AS OPÇÕES DE PROCESSAMENTO DA ANÁLISE DE TRONCO.....	74
FIGURA 25 -	TELA QUE APRESENTA OS CAMPOS QUE DEVEM SER PREENCHIDOS PELO USUÁRIO PARA DESCREVER UMA ÁRVORE.....	75
FIGURA 26 -	TELA QUE APRESENTA OS CAMPOS QUE DEVEM SER PREENCHIDOS PELO USUÁRIO PARA INSERIR CADA MEDIÇÃO.....	76
FIGURA 27 -	TELA COM OS DADOS DE CADA FATIA.....	77
FIGURA 28 -	REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DOS DADOS DE CADA FATIA.....	77
FIGURA 29 -	TELA QUE APRESENTA O RELATÓRIO GERADO PARA A ÁRVORE EM ANÁLISE.....	78
FIGURA 30 -	FLUXOGRAMA DAS ESTIMATIVAS.....	79

FIGURA 31 - TELA QUE APRESENTA AS ESPECIFICAÇÕES DOS PRODUTOS REQUERIDOS PELOS USUÁRIOS.....	80
FIGURA 32 - TELA QUE APRESENTA O RESULTADO DO SORTIMENTO DO POVOAMENTO A) CANTO SUPERIOR ESQUERDO DA TELA B) CANTO SUPERIOR DIREITO DA TELA.....	81
FIGURA 33 - INFORMAÇÃO REQUERIDA PARA AJUSTAR AS FUNÇÕES DE CRESCIMENTO E PRODUÇÃO.....	82
FIGURA 34 - INFORMAÇÃO REQUERIDA PARA A PROGNOSE DE CRESCIMENTO E PRODUÇÃO A) MEDIÇÃO DE PARCELA B) ÍNDICE DE SÍTIO.....	83
FIGURA 35 - RESULTADO DA PROGNOSE DE CRESCIMENTO E PRODUÇÃO.....	84
FIGURA 36 - TELA QUE APRESENTA A TABELA DE POVOAMENTO.....	85
FIGURA 37 - REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DA TABELA DE POVOAMENTO.....	85
FIGURA 38 - TELA QUE APRESENTA AS OPÇÕES QUE O USUÁRIO PODE ESCOLHER PARA DEFINIR AS CLASSES DE SÍTIO.....	86
FIGURA 39 - TELA QUE APRESENTA OS RESULTADOS DAS RESPECTIVAS CLASSES DE SÍTIO.....	87
FIGURA 40 - TELA QUE REPRESENTA GRAFICAMENTE AS CLASSES DE SÍTIO.....	87
FIGURA 41 - TELA QUE APRESENTA A ESTIMATIVA VOLUMÉTRICA DO POVOAMENTO.....	88
FIGURA 42 - TELA QUE APRESENTA A INFORMAÇÃO BÁSICA REQUERIDA PARA A SIMULAÇÃO.....	91
FIGURA 43 - TELA QUE APRESENTA A INFORMAÇÃO ADICIONAL PARA A SIMULAÇÃO.....	91
FIGURA 44 - TELA QUE APRESENTA O RESULTADO DA PROGNOSE POR CLASSE DIAMÉTRICA A) SEM OTIMIZAÇÃO DA DISTRIBUIÇÃO E B) COM OTIMIZAÇÃO DA DISTRIBUIÇÃO.....	93

RESUMO

Um simulador que permita monitorar o crescimento e produção de plantações do gênero *Populus* no Chile é indispensável para aportar informação aos produtores e pesquisadores. Na presente pesquisa foi desenvolvido um simulador denominado SALICA, como um aplicativo de Microsoft Excel 2000® utilizando-se 78 parcelas permanentes de amostragem da empresa “CAF El Álamo” com idades entre 4 e 13 anos para os híbridos I-488 e I-63/51. Com 90% dos dados foram ajustadas funções de afilamento, de crescimento, de distribuição diamétrica, hipsométricas, de índice de sítio e de volume. Para ambos os híbridos as estatísticas de todas as funções foram altamente significativas ($P < 0,01$) com R^2 ajustado variando entre 80,50 até 99,50. Com o restante dos dados, foram validadas as funções utilizando o teste de Kolmogorov-Smirnov de duas amostras, sendo todas elas acuradas. Foi selecionado o método dos momentos para o ajuste das distribuições diamétricas. A conjugação das funções originou um modelo explícito de predição da produção, e um modelo implícito da produção, considerando o método de recuperação de parâmetros, baseado nos momentos. Utilizou-se ferramentas de Pesquisa Operacional para otimizar algumas estimativas biométricas, com resultados plenamente satisfatórios, vislumbrando-se uma gama de possíveis aplicações. Foram programadas as cinco melhores funções de cada tipo, para tornar flexível o simulador, podendo-se analisar os povoamentos já existentes e também, novos reflorestamentos. O simulador apresenta um módulo de avaliação econômica – financeira que permite avaliar distintos regimes de manejo. Considera-se que este simulador seja uma ferramenta eficaz para o planejamento da produção dos povoamentos de *Populus* em Chile.

Palavras chave: Álamo, modelagem, simulador, pesquisa operacional e análise econômica.

ABSTRACT

A simulator that allows the monitoring of growth and yield of plantations of *Populus* genus in Chile is a key tool to provide information to the producers and researchers. In this research a stand growth simulator called SALICA was developed, as an application of Microsoft Excel 2000®. A total of 78 permanent forest inventory sampling plots of the company “CAF El Álamo” with ages ranging 4 from 13 years for the hybrid I-488 and I-63/51, were analyzed and served as a basis to this study. Nearly 90% of the data were used to fit taper functions, growth functions, diameter distribution functions, height – dbh functions, site index functions and timber volume functions. For all the studied hybrids the statistics of the functions were highly significant ($P < 0,01$) with adjusted R^2 ranging from 80,50 to 99,50. The remaining data were used to validate the functions using the two-sample Kolmogorov-Smirnov test, providing always accurate results. The method of moments was selected for fitting of diameter distributions. The combination of the functions originated an explicit model and an implicit model of the yield of *Populus*, considering the method of recovery of parameters, based on the moments. An Operations Research approach was developed to optimize the parameters of the functions, giving satisfactory results and thus indicating a wide range of possible applications. The best five functions of each type were programmed on computer, in order to make the simulator flexible for analyzing the feasibility of the current as well as new *Populus* plantations. The simulator presents a module of economical–financial evaluation that allows evaluating different management regimes. The simulator can be an effective tool for planning of yield of *Populus* plantations in Chile.

Keys Word: Poplar, modelling, simulator, operations research and economical analysis.

1 INTRODUÇÃO

O sucesso do setor florestal chileno esteve por muito tempo associado ao desenvolvimento da espécie *Pinus radiata* (D. Don). Posteriormente, espécies do gênero *Eucalyptus* fortaleceram ainda mais tal sucesso. Este modelo de desenvolvimento florestal, orientado à monocultura, tem comprovadas limitações em termos ambientais, sociais e econômicos. Por isto, em 1994, o Governo do Chile encarregou à “Corporación Nacional Forestal” (CONAF) o desenvolvimento de um Programa Nacional de Diversificação Florestal, cujo principal objetivo foi a identificação de espécies promissoras para ampliar a base de sustentação silvicultural nacional.

O referido Programa identificou que *Populus* spp., entre outras espécies, seria de muito interesse para diversificar a produção florestal nacional (PADRÓ, 1999; SANHUEZA, 2001). O Governo do Chile criou a “Comisión Nacional del Álamo” (CNA), segundo a qual o Chile apresenta aproximadamente 8 milhões de hectares potenciais para o desenvolvimento de plantios deste gênero (CNA, 2002). Estatísticas do ano 1999 indicam que a superfície coberta por plantações de *Populus* no Chile, ascendem à cifra de 4.298 hectares (CONAF, 2003).

A Universidade de Talca, fortaleceu a CNA criando o “Programa de Desarrollo y Fomento del género *Populus* en Chile” (PDFP), o qual fornecerá um conjunto seletivo de híbridos com as melhores características de crescimento e qualidade da madeira (PDFP, 2002). Estes híbridos estarão à disposição de empresas florestais ou proprietários particulares, que desejem iniciar programas de florestamento. Estimativas indicam que plantar um híbrido não recomendado pode representar um prejuízo acima de nove mil dólares por hectare (HERRERA *et al.*, 2000).

Os produtores e pesquisadores requerem de um simulador que permitirá armazenar, processar e analisar dados provenientes de plantações com híbridos do gênero *Populus*, a fim de avaliar o desenvolvimento destas plantações e propor os regimes de manejo mais propícios em cada situação em particular.

Além das atividades florestais praticadas nas plantações de *Populus*, muitas vezes, são desenvolvidas atividades agrícolas ou pecuárias, estabelecendo-se um sistema agrosilvicultural ou silvipastoril. O simulador terá que considerar estes sistemas, fornecendo uma quantificação física e econômica da produção dos correspondentes sistemas.

No Chile não existe um simulador de crescimento e produção do gênero *Populus*, de modo que a presente pesquisa suprirá esta deficiência, fortalecendo a consolidação da diversificação florestal nacional.

2 OBJETIVOS

2.1 GERAL

Desenvolver um simulador que armazene e analise dados provenientes de povoamentos de *Populus* do híbrido I-488 e híbrido I-63/51, podendo simular o crescimento e a produção anual do povoamento, gerando tabelas de sortimento de madeira por classe diamétrica e avaliando regimes de manejo em termos econômico – financeiros.

2.2 ESPECÍFICOS

- Propor funções de crescimento e produção para os povoamentos dos híbridos em estudo.
- Selecionar a função de afilamento, a função hipsométrica, a função de índice de sítio e a função de volume mais adequada para os híbridos em análise, de um total de quinze funções.
- Selecionar entre a distribuição Beta, Gamma, Log-Normal, Normal, S_B de Johnson e Weibull 2P e 3P, qual descreve melhor os híbridos considerados.
- Avaliar diversos regimes de manejo mediante análise econômica – financeira.
- Analisar a aplicabilidade de técnicas de pesquisa operacional em conjunto com biometria, na tentativa de melhorar as correspondentes estimativas.

3 REVISÃO DE LITERATURA

A revisão de literatura foi subdividida em cinco tópicos, que, em conjunto abarcam a dimensão da presente pesquisa, sendo estes, i) aspectos gerais do gênero *Populus*, ii) banco de dados, iii) modelos biométricos, iv) avaliação econômica – financeira e v) pesquisa operacional.

3.1 ASPECTOS GERAIS DO GÊNERO *Populus*

Os *Populus* pertencem à ordem Salicales, família Salicaceae, gênero *Populus*. Segundo FAO (1980), este gênero possui mais de trinta espécies, que deram origem a centenas de híbridos.

Sua distribuição natural abrange a Ásia Oriental e Central, o Norte da África, da Europa e da América (FAO, 1980; CHATURVEDI e RAWAT, 1994). No Chile é possível encontrar exemplares introduzidos em todo o território nacional.

Em geral, os indivíduos do gênero *Populus* apresentam uma copa ampla com fuste reto e cilíndrico. Por sua elevada capacidade fotossintética, seu crescimento é acelerado. São muito exigentes em recursos do sítio, tais como: água, luz e solo (BARROS e AGUIRRE, 1980; FAO, 1980). Sítios com déficit hídrico prolongados devem ser descartados para o estabelecimento de plantios de *Populus*. Seu alto requerimento por luz, os tornam intolerantes (VITA, 1977), de modo que requerem amplos espaçamentos no plantio e, conseqüentemente, uma área extensa de crescimento por árvore (25 m² até 40 m²). Em solos aluviais, profundos, bem arejados, com adequada disponibilidade de nutrientes seu desenvolvimento é ótimo.

A capacidade de propagação vegetativa dos híbridos de *Populus* é muito elevada, de modo que as plantações comerciais são clonais (LOEWE *et al.* 1997). No

Chile, os híbridos mais difundidos são o *Populus x euroamericana* cv. I-488 e o *Populus x euroamericana* cv. I-63/51. Ambos foram desenvolvidos na Itália, da hibridação de *Populus nigra* e *Populus deltoides*. O híbrido I-488 é feminino e, embora possua limitações de crescimento, devido à sua tardia foliação, a retidão do fuste e a qualidade da madeira são o destaque deste híbrido. O híbrido I-63/51 é masculino, com crescimento superior ao híbrido I-488, mas seu fuste é cônico gerando perdas de volume para laminação das toras.

As espécies de *Populus* são sensíveis tanto a agentes abióticos como a agentes bióticos, que podem causar-lhes severas lesões. O fogo, as geadas, os ventos, a insolação e a toxicidade por produtos químicos, são apontados como os principais agentes de danos abióticos. Dentre os agentes bióticos presentes no Chile, encontram-se os fungos: *Armillaria mellea* (Fr.) Karts, *Cystospora chysosperma* (Pers.) Fr., *Melamsora* spp. e *Taphrina aurea* (Pers.) Fr. Também encontram-se os insetos: *Melanophila picta* Pall., *Pteraeoma* spp.; *Rhyeppenness maillei*, *Tuberolachnus salignus* Gmel. e *Phygilanthus tetrandus et* Pav. Eichl. Para diminuir os efeitos destes danos, requer-se a seleção do híbrido correto para as condições existentes no local, assim como, de medidas de controle básicas, que assegurem a sanidade das plantações.

No Chile, segundo LOEWE *et al.* (1997), é possível obter uma produção volumétrica de 342 m³/ha, dependendo da Região do país. Esta produção será obtida aos dez anos, na VI Região; aos doze anos, na VII Região; aos quatorze anos, na VIII Região e aos dezesseis anos, na IX Região. Na X Região do Chile, a produção volumétrica pode alcançar 355 m³/ha aos dezesseis anos (LOEWE *et al.*, 1997).

3.2 BANCO DE DADOS

Segundo GOLDSTEIN (1985), previamente ao desenvolvimento do conceito de banco de dados, o processamento destes estava focalizado nas funções utilizadas.

Desse modo, ao projetar qualquer sistema, especificava-se primeiro as funções envolvidas, para logo derivar os dados necessários. Com a massificação dos sistemas de computação, dois fatos aconteceram que indicaram o fim desta ótica: i) alguns dados eram relevantes a vários sistemas, assim, apareciam em diferentes arquivos aumentando o espaço de armazenamento, e ii) cada sistema era desenvolvido independentemente, portanto, cada um deles utilizava os mesmos dados, dificultando a manutenção entre versões.

Nos sistemas de banco de dados, os dados ocupam o papel central e as funções um papel secundário. Só existe um único conjunto de dados, de modo que as duplicações e inconsistências dos mesmos não existem (WETHERBE, 1987; KROENKE, 1999). O usuário tem acesso aos dados, através de um programa especializado, denominado sistema de gerenciamento de banco de dados (SGBD).

Os sistemas hierárquico e de rede foram a primeira geração dos SGBD. Segundo MARQUÉS (2003), o sistema hierárquico foi desenvolvido no início da década de 60, a partir do projeto americano APOLO, que enviou homens à Lua. O sistema de rede foi desenvolvido em meados da década de 60 por uma equipe da General Electric, liderada por Charles Bachmann. Estes sistemas apresentaram os seguintes inconvenientes, a) devia-se escrever complexos programas de aplicação para responder a qualquer tipo de consulta, b) a independência de dados era mínima e c) não possuíam fundamento teórico.

CODD (1970) apresentou o sistema relacional, que é considerado a segunda geração dos SGBD. Este sistema utiliza um conjunto de tabelas bidimensionais, relacionadas entre si por meio de atributos coincidentes nas correspondentes tabelas (WETHERBE, 1987; SILBERSCHATZ, KORTH e SUDARSHAN, 1999; MARQUÉS, 2003). Cada coluna da tabela corresponde a um atributo, e seu domínio

corresponde ao conjunto de valores permitidos. Nas tabelas não é possível que exista duplicação no domínio.

Um banco de dados relacional é considerado normalizado quando cumpre as regras de normalização indicadas por CODD (1970), que estabelecem a) a eliminação da repetição de grupos, b) a eliminação da redundância de dados, c) a eliminação de atributos não dependentes de chave primária, e d) o não armazenamento de valores calculados nas relações. Ao se normalizar um banco de dados está-se evitando que aconteçam anormalidades ou inconsistências em sua operação.

Um banco de dados relacional normalizado é a ferramenta adequada para armazenar e processar os dados provenientes de parcelas permanentes de amostragem, uma vez que os dados coletados em uma floresta adquirem uma dimensão de proporções na medida em que consecutivas remedições são efetuadas ou que novas áreas são incorporadas nas medições. Estes dados devem ser transformados em informação confiável, ou seja, de qualidade e estruturada de maneira que seja facilmente acessada (WETHERBE, 1987), para que a organização responsável pela floresta tome as decisões apropriadas.

UGALDE (2001), utilizando as potencialidades de um banco de dados relacional normalizado, desenvolveu um sistema de manejo de informação sobre recursos arbóreos (MIRA). Este sistema vem sendo utilizado há 23 anos principalmente na área florestal Centro-americana. O objetivo do sistema MIRA é monitorar o crescimento das árvores em programas de reflorestamento e em diferentes sistemas de produção florestal, agrosilvicultural ou silvipastoril. Além dos dados biométricos, o sistema MIRA armazena dados meteorológicos e edáficos. Deste modo, é possível gerar relatórios a partir de consultas específicas sobre uma condição climática ou edáfica.

KOEHLER (2002) desenvolveu um sistema computacional de dinâmica para florestas naturais (SCDFN), incorporando um banco de dados relacional normalizado. O sistema SCDFN armazena os dados biométricos de parcelas permanentes de florestas naturais. Utilizando este sistema é possível obter diversos índices fitossociológicos das parcelas consideradas, assim como o cálculo da dinâmica da floresta natural, com base no método de matrizes de transição.

3.3 MODELOS BIOMÉTRICOS

A literatura apresenta diversas definições de modelo, que, em termos gerais, indicam que corresponde a uma representação simplificada da realidade, já que somente alguns dos fatores que condicionam certas respostas são considerados (VANCLAY, 1994; SANQUETTA, 1996; ROGERS e JOHNSON, 1998).

Existem duas filosofias alternativas no desenvolvimento de modelos de crescimento: a) modelos de crescimento e produção orientados ao manejo florestal, denominados modelos empíricos – descritivos e b) modelos baseados em processos ecofisiológicos, denominados modelos processuais – mecanísticos.

Os modelos empíricos – descritivos enfatizam a qualidade do ajuste dos dados e das predições (SANQUETTA, 1996). Geralmente esses modelos consideram uma ampla amostra de dados oriundos de parcelas permanentes, descrevendo as relações entre as variáveis envolvidas sem considerar os processos biológicos que governam o crescimento (MAESTRI, 2003). Sua utilização está centrada principalmente no manejo florestal (MOHREN e BURKHART, 1994).

Os modelos processuais – mecanísticos procuram explicar como funciona um sistema, enfatizando a explicação dos fatos mais que o ajuste e as predições (SANQUETTA, 1996). Esses modelos visam modelar os processos de crescimento

considerando como variáveis explicativas a luz, a água, a temperatura e os níveis de nutrientes disponíveis no solo, fornecendo respostas da alocação de biomassa nos diversos componentes das árvores através da modelagem da fotossíntese e da respiração (LANDSBERG e WARING, 1997). Segundo MAESTRI (2003) muitos modelos mecanísticos falham ao representar explicitamente todas os fatores determinantes do crescimento florestal.

Os modelos empíricos – descritivos, tiveram sua origem nas tabelas de produção normais (povoamentos completamente estocados), desenvolvidas na Alemanha, antes do fim do século XIII (SPURR, 1952). Por sua parte, os modelos processuais – mecanísticos têm sido desenvolvidos na área florestal a partir da década de setenta (MAESTRI, 2003).

Na atualidade e no futuro prevê-se a hibridação destes modelos (MOHREN e BURKHART, 1994); ou seja, a combinação das duas abordagens para cobrir as lacunas de cada tipo de modelagem, em resposta aos desafios da pesquisa florestal, tais como predição do crescimento e dinâmica dos povoamentos florestais submetidos a mudanças ambientais.

Por enquanto o interesse maior da “Comisión Nacional del Álamo” concentra-se exclusivamente na quantificação física dos povoamentos de *Populus* no Chile, de modo que o modelo proposto nesta pesquisa é um modelo empírico – descritivo. Procurou-se, sem sucesso, modelos empíricos – descritivos para o gênero *Populus* na literatura científica, para estabelecer uma análise comparativa. Deste modo, a comparação nesta revisão estará baseada em modelos desenvolvidos para outras espécies florestais¹.

¹ Modelo desenvolvido por SCOLFORO (1990) para *Pinus caribaea* var. *hondurensis* no Brasil. Modelo “SISPINUS” desenvolvido por OLIVEIRA(1995) para *Pinus taeda* L. no Brasil. Modelo “SCDFN” desenvolvido por KOEHLER (2002) para Florestas Naturais do sul do Brasil. Modelo desenvolvido por MAESTRI (2003) para *Eucalyptus grandis* no Brasil.

Segundo CLUTTER *et al.* (1983), nos modelos empíricos – descritivos quando a prognose da produção é expressada em nível de povoamento, os modelos recebem a denominação de Modelos explícitos de produção. Quando a prognose é expressada por classe diamétrica, os modelos recebem a denominação de Modelos implícitos de produção.

Segundo CLUTTER *et al.* (1983), a prognose da produção futura dos modelos explícitos, recebe a denominação de modelo de projeção, quando o modelo prediz a produção futura, a partir de um ano de referência, considerando as mesmas variáveis explicativas nos anos respectivos. Já o modelo de predição incorpora variáveis do povoamento e a idade de prognose como variáveis explicativas. Os modelos de área basal utilizados por MAESTRI (2003) serviram para exemplificar as definições antes apresentadas. A expressão [1] corresponde ao modelo de projeção, enquanto a expressão [2] representa o modelo de predição.

$$\ln(G_2) = \ln(G_1) + b_1 \left(\frac{1}{ld_1} - \frac{1}{ld_2} \right) + b_2 (\ln(N_2) - \ln(N_1)) + b_3 (\ln(Hd_2) - \ln(Hd_1)) \quad [1]$$

$$\ln(G_2) = b_0 + b_1 \left(\frac{1}{ld_2} \right) + b_2 (\ln(N_2)) + b_3 (\ln(Hd_2)) \quad [2]$$

Onde:

ld_1 e ld_2	=	idade inicial e final de medição;
G_1 e G_2	=	área basal por hectare, na idade ld_1 e ld_2 respectivamente;
N_1 e N_2	=	número de árvores por hectare, na idade ld_1 e ld_2 respectivamente;
Hd_1 e Hd_2	=	altura dominante, na idade ld_1 , e ld_2 respectivamente;
b_1 , b_2 e b_3	=	coeficientes de regressão.

Os povoamentos utilizados na presente pesquisa não evidenciam mortalidade, já que as plantações apresentam amplo espaçamento, retardando a competição. Além disso recebem tratamentos silviculturais próprios de cultivos

agrícolas (irrigação e controle de eras daninhas, ver Tabela 4 p. 39), de modo que os modelos explícitos gerados não incorporaram o número de árvores por hectare

A prognose futura utilizando modelos implícitos requer a estimativa da distribuição diamétrica na data prevista da prognose. Desta maneira, o método da predição dos parâmetros e o método de recuperação de parâmetros têm sido propostos para tal fim (KANGAS e MALTAMO, 2000). No método de predição de parâmetros, cada um dos parâmetros da distribuição é estimado a partir de um modelo explícito de predição. No método de recuperação de parâmetros, os parâmetros da distribuição são obtidos ao resolver um sistema de equações que considera atributos do povoamento, sendo estimados utilizando modelos explícitos de predição.

A implementação computacional de diversos modelos de crescimento e produção origina um simulador, onde é possível encontrar diversas funções que, em conjunto, fornecem as estimativas de crescimento e produção requeridas pelos usuários. Usualmente um simulador contém funções de afilamento, de crescimento, de distribuição diamétrica, hipsométricas, de índice de sítio e de volume, que serão descritas nos capítulos subseqüentes.

3.3.1 Funções de afilamento

Deve-se entender por afilamento a taxa de diminuição em diâmetro à medida que aumenta a altura do tronco (CLUTTER *et al.*, 1983; NEWNHAM, 1992; MUHAIRWE, LEMAY e KOZAK, 1994). Desta forma, uma função de afilamento descreve esta diminuição em termos matemáticos - estatísticos.

Múltiplas funções de afilamento têm sido desenvolvidas, apresentando diversos resultados segundo a espécie em questão (VALLEJOS; ARACENA; FLÁNDEZ, 2000). Este desenvolvimento deve-se ao fato que estas funções, em geral, são muito flexíveis, podendo estimar: diâmetros a qualquer altura da árvore, altura em

que se encontra um diâmetro definido e o volume total do tronco ou de toras mediante a integração da função (TORRUBIANO, 1994; VALLEJOS; MENDOZA, ROJAS, 1998). Estas funções são indispensáveis quando uma empresa abastece um mercado com diversos produtos, com especificações de diâmetros e comprimentos variáveis.

Para selecionar a melhor função usam-se medidas de acuracidade (GORDON, 1983; BYRNE e REED, 1986; NEWNHAM, 1992; TORRUBIANO, 1994; KOZAK, 1997), medidas dos resíduos (CZAPLEWSKI; McCLURE, 1988 e MUHAIRWE; LEMAY; KOZAK, 1994) e também o teste de aderência de Kolmogorov – Smirnov (VALLEJOS; MENDOZA; ROJAS, 1998).

A maioria das funções de afilamento não cumpre os pressupostos do método dos mínimos quadrados, relativo à multicolinearidade e a autocorrelação. Este fato foi comprovado por KOZAK (1997) para os modelos propostos pelo mesmo autor; no entanto, concluiu-se que isto não diminui a capacidade de prognose dos modelos.

A informação requerida para ajustar as funções de afilamento advém da análise de tronco quando a amostra da árvores é reduzida o da árvores cubadas rigorosamente quando a amostra é maior. A análise de tronco corresponde à análise de fatias extraídas do tronco de uma árvore. Este tipo da análise é muito trabalhoso, no entanto, proporciona informação relevante para conhecer o desenvolvimento da forma da árvore através do tempo (BARUSSO, 1977 e DYER; BAILEY, 1987). Nesta análise deve-se medir o raio de cada anel de crescimento em cada uma das fatias extraídas e estimar a altura da árvore no transcurso de seu crescimento. Para estimar estas alturas BARUSSO (1977) propôs que o término do anel estará de acordo com o ângulo do anel imediatamente posterior. NEWBERRY² citado por DYER e BAILEY (1987) transformou esta proposta em um método de estimativa. Esse método foi

² NEWBERRY, J. D. **Dominant height growth models and site index curves for site-prepared slash pine plantations in the lower Coastal Plain of Georgia and North Florida.** Georgia, USA. 1978. 47 f. Dissertação (Mestrado) Universidade de Georgia.

avaliado por estes autores, concluindo que ele proporciona estimativas aceitáveis da altura da árvore.

LOEWE *et al.* (1997) relataram que um polinômio de segundo grau foi ajustado na zona central de Chile, obtendo um resultado satisfatório para a descrição do afilamento de híbridos de *Populus sp.*

O modelo de SCOLFORO (1990) utilizou uma função de afilamento compatível com a função de volume, proposta por CLUTTER em 1980. O modelo de MAESTRI (2003) utiliza o polinômio de potências fracionárias e inteiras. Ambas funções não foram avaliadas na presente pesquisa.

O modelo de OLIVEIRA (1995) utiliza o polinômio de quarto grau de Prodan e o modelo de KOEHLER (2002) o polinômio de quinto grau também de Prodan. Ambos polinômios são avaliados na presente pesquisa.

As estimativas obtidas das funções de afilamento, em conjugação com as especificações dos produtos a obter da árvore, definem seu sortimento. Segundo LAROZE (1999), a otimização do sortimento pode ser efetuada em três níveis: a) ao nível do fuste, onde deve-se determinar a seqüência de produtos (padrão de corte) que maximize o valor do mesmo, tal como o sistema implementado na presente pesquisa, b) ao nível do povoamento, onde deve-se associar padrões de corte para classe diamétrica, de modo a maximizar o valor da produção, dadas as restrições de comercialização e das características do próprio povoamento em termos de distribuição de diâmetros e alturas e suas qualidades e c) ao nível da floresta, onde deve-se determinar o programa de sortimento aplicável a cada povoamento, para maximizar globalmente a receita, considerando as restrições de demanda e comercialização dos diferentes mercados e as características dos povoamentos, tal como a pesquisa desenvolvida por ARCE (2000).

3.3.2 Funções de crescimento

O crescimento das árvores refere-se à expansão de suas dimensões em altura e diâmetro. Para os pesquisadores, o diâmetro, a área basal, a altura e o volume são dimensões de interesse particular, tanto em nível da árvore individual como do povoamento. Por sua vez, a produção corresponde ao crescimento acumulado num período de tempo definido.

Segundo ZEIDE (1993), o crescimento das árvores pode ser descrito através de uma curva que inicialmente aumenta, numa forma côncava, tornando-se convexa mais tarde. Um modelo de crescimento descreve matematicamente o comportamento deste curva.

Uma detalhada revisão histórica do desenvolvimento do estudo de crescimento e produção encontra-se em SPURR (1952). No entanto, informações sobre modelos de crescimento e produção para *Populus* sp. na zona central do Chile, são escassos ou inexistentes.

No processo de simulação que incorpora modelos implícitos de produção, é de particular interesse predizer a distribuição diamétrica no ano de avaliação da floresta. Segundo KANGAS e MALTAMO (2000), isto pode ser efetuado pelo método de predição de parâmetros ou pelo método de recuperação de parâmetros. NEPAL e SOMERS (1992) indicam que o método de recuperação de parâmetros é apropriado quando a informação atual do povoamento não existe ou é genérica e para longos períodos de prognose. Ao dispor de informação detalhada dos povoamento, o método de predição de parâmetros é o indicado.

O modelo de OLIVEIRA (1995) utilizou o método de predição de parâmetros, enquanto que os modelos de SCOLFORO (1990) e MAESTRI (2003) utilizaram o método de recuperação de parâmetros. Na presente pesquisa, onde o

usuário terá a possibilidade de testar cinco distribuições diamétricas, foi programado o método de recuperação de parâmetros, a fim de padronizar os modelos utilizados.

Diversos modelos explícitos de produção foram propostos na literatura (CLUTTER *et al.*, 1983, HAFLEY e BUFORD, 1985; SCOLFORO, 1990; OLIVEIRA, 1995, SCOLFORO, 1998 e MAESTRI, 2003, entre muitos outros). Ao analisar cada modelo, percebe-se que a idade, a altura dominante e o índice de sítio são as variáveis independentes mais usadas, de modo que, ao propor um modelo, deve-se considerar estas variáveis.

3.3.3 Funções de distribuição diamétrica

As funções de densidade de probabilidade (fdp) permitem estimar a provável distribuição que apresenta os diâmetros, descrevendo em termos matemáticos a estrutura de um povoamento.

As distribuições tradicionalmente avaliadas na área florestal são: Beta, Gamma, Log-Normal, Normal, S_B de Johnson e Weibull de dois ou três parâmetros. GLADE (1986) e SCOLFORO (1998) apresentaram uma extensa relação de pesquisas que avaliaram estas funções na área florestal com diversos graus de sucesso.

Em geral, distribuições unimodais têm ajustado adequadamente, contudo quando os dados apresentam muita irregularidade, decai a acuracidade das estimativas. Nestes casos, para melhorar os ajustes, CAO e BURKHART (1984) propuseram uma distribuição Weibull segmentada e, recentemente, SILVA (2003) propôs a distribuição polinomial.

Em princípio, poder-se-ia pensar que um povoamento clonal não necessita ser representado por alguma fdp, já que as árvores apresentariam as mesmas dimensões, bastando medir uma árvore para conhecer a totalidade do povoamento. No

entanto, os povoamentos clonais apresentam variabilidade em função do material genético utilizado, da técnica de reprodução utilizada e da variabilidade do local onde o referido povoamento se encontra. Deste modo, BARRERA (1995) avaliou algumas distribuições em dois híbridos de *Populus* na zona central do Chile, concluindo que a distribuição Log-Normal estimou de melhor maneira a estrutura dos povoamentos.

As distribuições podem ser ajustadas por diversos métodos, que em teoria deveriam apresentar resultados semelhantes entre si. No entanto, a literatura reporta alguns exemplos onde os métodos utilizados geram diferenças; tal é o caso da distribuição S_B Johnson (ZOU; McTAGUE, 1996; TABAI, 1999).

Segundo GIBBONS e CHAKRABORTI (1992), o teste de aderência de Kolmogorov-Smirnov é o melhor para avaliar a distribuição teórica de uma amostra, já que é muito sensível a qualquer diferença do valor central e da dispersão (LEBART; MORINEAU; FÉNELON, 1985). Esse teste baseia-se na máxima diferença entre a distribuição acumulativa dos erros (NEWNHAM, 1992) e na área florestal tem ampla utilização para decidir a distribuição e o método de ajuste que melhor descreve a estrutura do povoamento (CAO; BURKHART, 1984; GLADE, 1986; ZHOU; McTAGUE, 1996; SCOLFORO, 1998; TABAI, 1999).

O teste de Kolmogorov-Smirnov de uma amostra, considera a estatística “dn” (Expressão [3]), ou seja, na medida que “dn” $\rightarrow 0$ a amostra é melhor representada pela distribuição teórica avaliada. Considerando este fato e a dificuldade para determinar o parâmetro “a” da distribuição Weibull 3P e os parâmetros “ ϵ ” e “ λ ” da distribuição S_B de Johnson, VALLEJOS *et al.* (a, b no prelo) fizeram uma proposta metodológica para o ajuste ótimo destas distribuições. Nessa proposta utiliza-se programação não linear e obtém-se os parâmetros de cada distribuição que torna mínimo o valor de “dn” de cada amostra.

$$d_n^+ = \text{Max} \left\{ \frac{i}{n} - F(x_i) \right\} \quad d_n^- = \text{Max} \left\{ F(x_i) - \frac{i-1}{n} \right\} \quad i=1, 2, \dots, n \quad [3]$$

$$d_n = \text{Max} \{ d_n^+, d_n^- \}$$

O modelo de OLIVEIRA (1995) utiliza a distribuição S_{BB} de Johnson (distribuição conjunta de diâmetros e alturas); já os modelos de SCOLFORO (1990) e MAESTRI (2003) consideram a distribuição Weibull 3P. Ambas distribuições foram avaliadas na presente pesquisa.

3.3.4 Funções de índice de sítio

Em geral, a qualidade de sítio das plantações é obtida através do método direto (CLUTTER *et al.*, 1983; SCOLFORO, 1998), o qual prediz o comportamento temporal de uma variável correlacionada com o volume e que não seja afetada notoriamente pela densidade do povoamento ou pelo manejo.

Segundo CLUTTER *et al.* (1983) e MONSERUD, MOODY e BREUER (1990), a variável selecionada na maioria dos casos é a altura dominante (H_{Dom}), já que esta pode caracterizar a produtividade de um sítio com maior acuracidade que qualquer outra variável do povoamento, considerando-se que é menos influenciada pela densidade e pelo manejo (DANIEL; HELMS; BAKER, 1982; CARTER; KLINKA, 1990).

O índice de sítio de uma parcela corresponde a H_{Dom} que tal parcela apresenta, apresentará ou apresentou em uma idade de referência predefinida, a qual deve ser próxima da idade de rotação. Deste modo, o índice de sítio torna-se um valor de referência e comparação que permite ordenar, num ranking, cada parcela em análise.

Assume-se que o sítio mantém inalterada sua capacidade produtiva com as variações naturais do ambiente. No entanto, em espécies de crescimento acelerado e

curta idade de rotação, fatores ambientais podem afetar essa capacidade. MAESTRI (2003) concluiu que a disponibilidade de água afeta o índice de sítio das plantações de *Eucalyptus grandis* da empresa Aracruz Celulose S.A.

Os modelos de SCOLFORO (1990) e OLIVEIRA (1995) consideraram função de Schumacher. O modelo de MAESTRI (2003) utiliza a função de Chapman-Richards. Ambas funções são avaliadas na presente pesquisa.

3.3.5 Funções de volume

As funções de volume são menos flexíveis que as funções de afilamento (3.3.1), já que não é possível estimar o volume de um produto para o qual não foi desenvolvida a função. No entanto, algumas empresas comercializam produtos que não têm variação dimensional ou estão interessadas apenas no volume total das árvores. Neste caso, a função de volume satisfaz os requerimentos da empresa.

Inúmeras funções de volume têm sido desenvolvidas, as quais consideram como variável independente só o DAP (função local) ou o DAP e a altura da árvore (função geral). MORAGA, LATORRE e AEDO (1997) ajustaram uma função local para dois híbridos de *Populus* na zona central de Chile, utilizando uma variável Dummy para sua diferenciação.

Segundo LOEWE *et al.* (1997), aos 16 anos de idade, na zona central do Chile, uma árvore do híbrido I-488 pode apresentar um volume de 1,2 m³, enquanto que uma árvore do híbrido I-63/51 pode alcançar 1,6 m³.

3.4 AVALIAÇÃO ECONÔMICA – FINANCEIRA

Segundo HOSOKAWA, MOURA e CUNHA (1998), a análise da produção florestal deve considerar os aspectos biológicos e sua valorização econômica. Os esquemas de manejo aplicados por uma empresa florestal, ou por um proprietário particular, consideram esta valorização, estimando as receitas e custos prováveis em que incorreram.

A decisão sobre a espécie a utilizar em um programa de reflorestamento, a densidade do plantio, as intervenções silviculturais e a idade de rotação têm um forte componente econômico. No entanto, às vezes, considerações de ordem técnica ou estratégica prevalecem na decisão.

SCOLFORO (1990) e HOSOKAWA, MOURA e CUNHA (1998) descreveram os tipos de custos que deveriam ser considerados numa avaliação econômica – financeira dos regimes de manejo. Também indicaram como obter as classes de renda do patrimônio em análise. Nas plantações de *Populus*, em geral, além das atividades florestais, desenvolvem-se atividades agrícolas e pecuárias. Estas atividades devem ser incorporadas às atividades florestais no fluxo de caixa, para determinar a rentabilidade do regime de manejo.

O dinheiro perde valor com o transcorrer do tempo (CLUTTER *et al.*, 1983), de modo que a determinação da idade para o corte final ou rotação do povoamento é um dos problemas mais importantes na Engenharia Florestal (CHANG, 1984). Desde o ponto de vista econômico - financeiro esta idade deve acontecer quando obtém-se a máxima rentabilidade. Diversos critérios econômicos têm sido estudados para a determinação dessa rentabilidade. NEWMAN (1988) apresentou uma detalhada descrição de pesquisas desenvolvidas em torno do tema. No entanto, o valor esperado da terra (VET), caso especial do valor presente líquido (VPL) de uma série infinita de rotações, é o indicador que deve ser utilizado preferencialmente, desde que a

propriedade seja continuamente utilizada para a atividade florestal (CHANG, 1984; CHACON, 1994, 1995; NEWMAN, 1988).

O VET expressa o valor máximo que compensa ser pago, para adquirir um hectare de terra que será destinada à atividade florestal, mantendo o mesmo fluxo de caixa e a mesma taxa de juros (OLIVEIRA, 1995; LOEWE *et al.*, 1997). Assim, se o custo do hectare de terra é menor que o valor do VET, a rentabilidade do projeto será superior à taxa de juros considerada, então a terra deveria ser adquirida para desenvolver a atividade florestal. Se o custo do hectare é igual ao valor do VET, a rentabilidade do projeto coincide com a taxa de juros, então é preferível investir o capital numa aplicação financeira, que, teoricamente, tem menor risco. Afinal, se o custo do hectare supera o valor do VET, a rentabilidade do projeto será inferior que a taxa de juros, de modo que não compensa adquirir essa terra.

O VET permite comparar diretamente regimes de manejo com idades de rotação diferentes (LEUSCHNER, 1990).

LOEWE *et al.* (1997), utilizando o critério do VET, apresentaram uma completa análise econômica - financeira, para povoamentos de *Populus* sp. na zona central do Chile, considerando, além da atividade florestal, atividades agrícolas e pecuárias. Em muitos casos, a combinação das atividades florestal, agrícola e pecuária, melhora a renda dos proprietários. Por exemplo na X Região do Chile, numa plantação de *Populus* de dois anos de idade, obteve-se uma produção de matéria seca de pasto 240% superior a uma área de pastagem sem árvores (CHILE FORESTAL, 2000).

Uma vez finalizada a análise econômica - financeira, deve-se desenvolver uma análise de sensibilidade que, segundo OLIVEIRA (1995), tem por objetivo pesquisar os efeitos das possíveis variações nos parâmetros que compõem um fluxo de caixa no resultado obtido.

3.5 PESQUISA OPERACIONAL

Segundo SHAMBLIN e STEVENS (1979) durante a Segunda Guerra Mundial, utilizou-se o termo “pesquisa operacional”, para descrever um método que resolvesse problemas estratégicos e táticos de administração militar. Após a guerra, este método espalhou-se por diversas organizações, auxiliando na tomada de decisões com limitação de recursos.

SHAMBLIN e STEVENS (1979) definem a Pesquisa Operacional como “um método científico de tomada de decisão”, que segundo TAHA (1994), visa determinar o melhor curso de ação (ótimo) de um problema de decisão com restrição de recursos.

O planejamento numa empresa florestal orienta o uso de seus recursos, de modo que os objetivos da organização sejam alcançados, satisfazendo restrições de ordem biológica, legal, social, ética e de mercado (ARCE, 1997). A Pesquisa Operacional é a ferramenta de planejamento florestal mais utilizada (JOHNSTON, GRAYSON, BRADLEY, 1977; CLUTTER *et al.*, 1983), respondendo às questões relativas a onde, quando e quanto cortar na floresta (LOUCKS, 1964; WARE e CLUTTER, 1971; YOSHIMOTO, BRODIE e SESSIONS, 1994).

Segundo NEWNHAM (1975) os modelos utilizados no planejamento florestal, entendendo por tal, a representação abstrata da realidade (DYKSTRA, 1984), podem ser classificados em quatro tipos, sendo estes:

1. Modelos detalhados: utilizados no planejamento em base diária. Usados para máquinas individuais ou grupo de máquinas;
2. Modelos de manejo: empregados no planejamento da ordem em que os povoamentos serão cortados e desbastados. Também são empregados no planejamento de construção de estradas;

3. Modelo de operações: sua finalidade é alocar máquinas, equipamentos, capacidade de trabalho e recursos de madeira disponíveis, de modo que seja minimizado o custo de fornecimento (abastecimento) no menor tempo possível;
4. Modelos econométricos: usados para projetar o suprimento e a demanda de produtos manufaturados.

O planejamento florestal estratégico, cujas decisões são de longo prazo, consideram os modelos de manejo ou os modelos econométricos. A formulação básica dos modelos de manejo, são apresentados por CLUTTER *et al.* (1983) e LEUSCHNER (1990). Inúmeros autores têm aplicado modelos de manejo, alguns dos quais são descritos por SCOLFORO (1990).

Para as decisões de curto prazo, utiliza-se os modelos detalhados ou modelos de operações, sendo que os modelos de otimização do sortimento (ARCE, 2000) e os modelos de otimização dos custos do transporte (ARCE, 1997; LEITE, 2002) têm especial destaque.

A utilização da Pesquisa Operacional na área florestal está centrada nos modelos antes mencionados. No entanto, na presente pesquisa utiliza-se ferramentas da Pesquisa Operacional (Programação Não Linear) inseridas no Microsoft Excel Solver, para obter ajustes ótimos de distribuições diamétricas e ajuste de funções não lineares.

O Microsoft Excel Solver utiliza o método de otimização dos gradientes reduzidos gerais (GRG). Este método foi programado num código de otimização não linear (GRG2) desenvolvido pela Universidade Leon Lasdon de Austin (Texas) e a Universidade Allan Waren (Cleveland). O Solver permite a utilização de 200 variáveis de decisão e 100 restrições como máximo (SOLVER.COM, 2003).

Segundo WAGNER (1986) a função objetivo na otimização não linear pode ser representada por $c(x_1, x_2, \dots, x_n)$ que está sujeita a restrições do tipo $a_i(x_1, x_2, \dots, x_n) \leq 0$.

Cada variável de decisão x_j , pode ter qualquer valor real, positivo ou negativo. O método dos gradientes (Método da ascensão mais íngreme) tem o seguinte algoritmo de execução:

- Passo 1. Escolha um ponto tentativo inicial arbitrário x^0 ;
- Passo 2. Faça cada $d_j^k = \partial c / \partial x_j$ calculado no ponto tentativo x^k .
 Ache $t^k \geq 0$ que maximize $c(x_1^k - t d_1^k, \dots, x_n^k - t d_n^k)$
 Faça cada $y_j^k = t^k d_j^k$
- Passo 3. Calcule um novo ponto iterativo $x_j^{k+1} = x_j^k + y_j^k$ retorne ao passo 2 onde x^{k+1} substitui x^k .

WAGNER (1986) indica que na maioria das funções não lineares, nunca obtém-se um x^k tal que todos os $\partial c / \partial x_j = 0$, de modo que o algoritmo deve ser detido quando $c(x^k)$ for aproximadamente ótimo. No Solver apresentam-se cinco opções para deter o algoritmo: a) tempo máximo, b) número de iterações, c) precisão, d) tolerância e e) convergência. Essas opções são predefinidas pelos usuários.

Na presente pesquisa também foi utilizada a Programação Linear para minimizar as diferenças de prognose em nível de povoamento e por classe diamétrica. Deste modo, a presente pesquisa expande as possibilidades de utilização da Pesquisa Operacional na área biométrica.

Segundo WAGNER (1986) um modelo de Programação Linear é definido por uma função objetivo $\sum c_j x_j$, a qual deve ser maximizada ou minimizada, sujeita a restrições $\sum a_{ij} x_j \leq b_i$, onde todas as variáveis de decisão x_j são não negativas. A função objetivo e as equações que representam as restrições são lineares.

Para resolver um problema de Programação Linear utiliza-se pelo geral o método Simplex, o qual emprega conceitos básicos de álgebra matricial para encontrar a interseção de duas ou mais linhas ou planos (SHAMBLIN e STEVENS, 1979). No

Microsoft Excel Solver, o método Simplex foi programado por pesquisadores da companhia Frontline System e pode trabalhar com até 200 variáveis de decisão e 100 restrições (SOLVER.COM, 2003).

4 MATERIAL E MÉTODOS

A presente pesquisa foi desenvolvida com informações da “Compañía Agrícola e Forestal El Álamo Limitada”, maior empresa produtora de madeira de álamo no Chile. O patrimônio da empresa corresponde a aproximadamente três mil hectares de plantações de híbridos de *Populus* distribuídas na zona mediterrânea do Chile, entre 31°40’ e 37°00’ latitude sul (Figura 1).

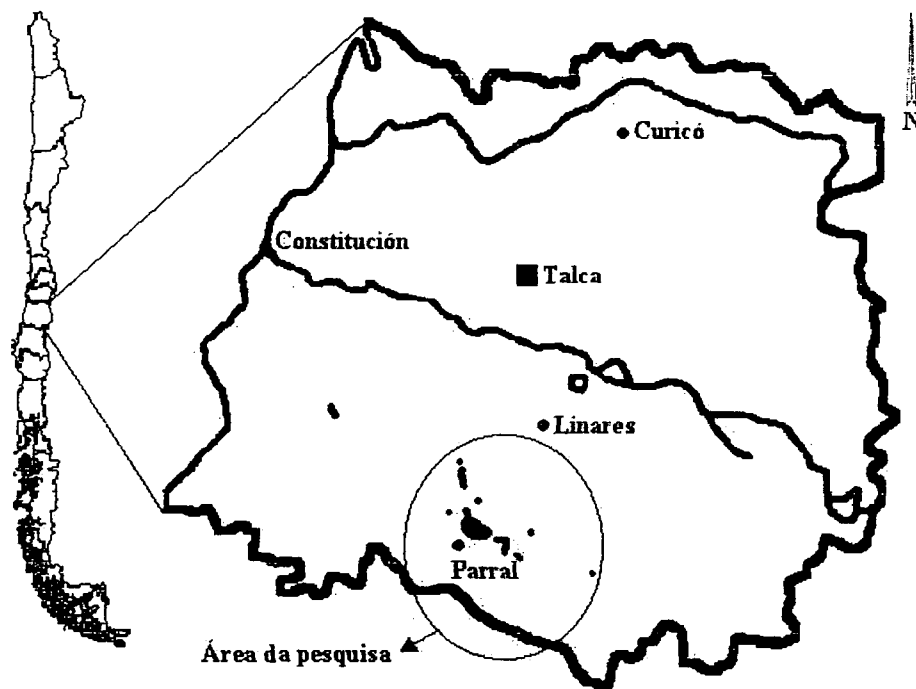


FIGURA 1 - LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DA PESQUISA (VII REGIÃO, CHILE)

A área de estudo apresenta um clima mediterrâneo, caracterizado por invernos frios e chuvosos e verões secos e quentes. Os solos são de origem vulcânico com alta fertilidade natural (CAF El Álamo, 2003).

Dos quatorze híbridos que a empresa utiliza em seus plantios, destacam-se o *Populus x euramericana* cv. I-488 e o *Populus x euramericana* cv. I-63/51.

A empresa dispõe de um total de 895 parcelas permanentes de amostragem, onde anualmente a equipe de biometria registra o diâmetro à altura do peito (DAP), em

centímetros, de todas as árvores da parcela e a altura total (H), em metros, das cinco árvores centrais.

Para a presente pesquisa a empresa proporcionou informações de dez talhões para cada híbrido (Tabela 1). O número de parcelas medidas foi de 78, as quais foram remedidas em diversas oportunidades, originando um total de 433 unidades amostrais no tempo. O área de cada parcela variou entre 432 e 684 m², dependendo do espaçamento da plantação.

A empresa também disponibilizou a informação da análise de tronco de 93 árvores. Na análise de tronco, a maioria das seções foram obtidas em comprimentos comerciais e, em outros casos, em comprimentos de um metro.

Os dados foram subdivididos em uma amostra de construção e outra de validação. A amostra de construção conteve aproximadamente 90% dos dados totais e foi usada para ajustar as diversas funções. Os restantes dados foram utilizados para validar o modelo proposto, seguindo a recomendação de ALDER (1980) e REYNOLDS (1984), que indicam que a validação independente, ou seja, utilizar dados que não foram considerados para ajustar as funções, é o procedimento mais recomendável. Aplicou-se o teste de Kolmogorov-Smirnov de duas amostras para comprovar a aderência entre os dados observados e os estimados em cada tipo de função utilizada.

Ao analisar a Tabela 1 observa-se que as parcelas apresentam uma quantidade de remedições variáveis, o que pode refletir no modelo desenvolvido na presente pesquisa. Uma alternativa seria trabalhar somente com as parcelas que tivessem a mesma quantidade de remedições, ou trabalhar com parcelas que tivessem um mínimo de remedições, reduzindo-se consideravelmente a base amostral da pesquisa. No modelo desenvolvido foram utilizadas a totalidade das parcelas, já que o simulador SALICA permite que ao inserir remedições ou novas medições as

coeficientes das funções sejam recalculadas, adequando o modelo à informação disponível. Este fato torna muito versátil e flexível o simulador SALICA.

TABELA 1 – DESCRIÇÃO DOS TALHÕES UTILIZADOS NA PESQUISA

Híbrido	Espaçamento (m x m)	Talhão	Ano plantio	Superfície (ha)	Número parcelas	Análise de tronco			
						Total remedições ³	Nº de árvores	Idade (anos)	
I-488	4,5 x 8	Santa Inés	32	1988	25,1	3	21	16	16
	6,0 x 6	La Patagua	41	1990	43,0	5	29		
	6,0 x 6	El Copihue	72	1990	16,4	3	21		
	6,0 x 6	La Unión	91	1990	19,2	3	21		
	6,0 x 6	La Unión	93	1991	21,6	3	16		
	4,5 x 8	La Unión	94	1989	10,3	4	28		
	6,0 x 6	La Ballica	101	1991	42,7	11	70		
	4,0 x 8	Santa Elena	231	1985	8,2	3	8	16	14
	4,0 x 8	Bellavista	281	1986	11,3	4	14	9	13
	4,0 x 8	La Viña	292	1987	22,7	3	15	20	15
		Sub total			220,5	42	243	61	
I-63/51	6,0 x 6	San Jorge	141	1990	38,0	5	34		
	4,5 x 8	San Luis	152	1989	13,5	4	28		
	6,0 x 6	La Puerta	171	1991	28,0	4	28		
	4,5 x 8	El Calabozo	251	1988	11,1	4	16		
	4,0 x 8	El Calabozo	253	1988	2,8	1	5		
	6,0 x 6	Bellavista	282	1990	8,8	2	2		
	6,0 x 6	Rosario2	352	1991	15,2	3	19		
	4,0 x 8	San Blas2	371	1988	23,4	4	20	18	14
	4,0 x 8	San Blas3	382	1986	24,1	6	26		
	4,0 x 8	El Avión	472	1986	10,2	3	12	14	14
		Sub total			175,1	36	190	32	
		Total			395,6	78	433	93	

³ Todas as parcelas dos talhões 32, 72, 91, 94, 152 e 171 foram remediadas sete vezes. Todas as parcelas do talhão 253, 292 e 371 foram remediadas cinco vezes. Todas as parcelas do talhão 472 foram remediadas quatro vezes. Todas as parcelas do talhão 282 foram medidas uma vez. No talhão 41 a parcela 1, 3, 4 e 5 foi remediada seis vezes e a parcela 2 remediada cinco vezes. No talhão 93 a parcela 1 e 2 foi remediada sete vezes e a parcela 3 remediada duas vezes. No talhão 101 a parcela 1 até 6 foi remediada sete vezes, as parcelas 7, 9 e 10 foram remediadas seis vezes e as parcelas 8 e 11 foram remediadas cinco vezes. No talhão 231 as parcelas 1 e 2 foram remediadas três vezes e a parcela 3 remediada duas vezes. No talhão 281 a parcela 1 foi remediada cinco vezes e as parcelas 2 até 4 foram remediadas três vezes. No talhão 141 a parcela 1 foi remediada seis vezes e as parcelas 2 até 5 remediadas sete vezes. No talhão 251 as parcelas 1 e 2 foram remediadas seis vezes e as parcelas 3 e 4 remediadas duas vezes. No talhão 352 a parcela 1 foi remediada sete vezes e as parcelas 2 e 3 remediadas seis vezes. No talhão 382 a parcela 1 foi medida três vezes, as parcelas 2 e 3 foram remediadas quatro vezes e as parcelas 4, 5 e 6 foram remediadas cinco vezes.

SALICA é um simulador desenvolvido no Microsoft Excel 2000 ®, onde o usuário terá diversas opções para definir as funções que apresentem maior acuracidade de acordo com a informação proporcionada. Para estruturar o simulador SALICA foram analisados os dados disponíveis mediante o uso do pacote estatístico Statgraphics 5.0 ®, selecionando as cinco funções mais destacadas em cada item. Deste modo, dependendo dos dados de que o usuário disponha, o simulador SALICA oferecerá múltiplas opções para que a simulação seja a mais próxima da realidade.

A descrição da metodologia utilizada tratará em primeiro lugar do módulo de banco de dados, posteriormente do módulo biométrico e finalizará com o módulo de avaliação econômica - financeira.

4.1 MÓDULO DE BANCO DE DADOS

Foram desenvolvidos dois bancos de dados relacionais, com seis tabelas cada um, para armazenar, processar e analisar os dados das parcelas e da análise de tronco, utilizando as ferramentas que o Microsoft Excel dispõe para tal fim.

As seis tabelas desenvolvidas para o banco de dados das parcelas, juntamente com suas relações, são apresentadas na Figura 2. Para inserir no sistema a informação das parcelas (Tabela Medições) é preciso que o usuário do SALICA descreva com antecipação o Projeto, o Híbrido, o Talhão, a Parcela e as datas de medição (Tabelas com o mesmo nome).

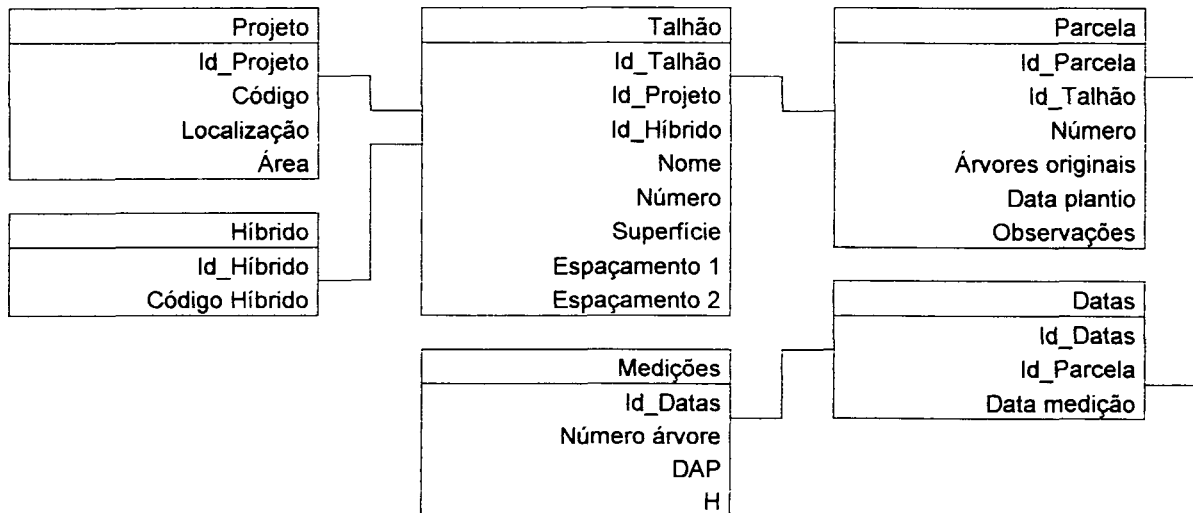


FIGURA 2 - ARQUITETURA DO BANCO DE DADOS DAS PARCELAS (TABELAS DESENVOLVIDAS E SUAS RELAÇÕES)

Na Tabela 2 são descritos os atributos que o banco de dados das parcelas utiliza.

TABELA 2- DESCRIÇÃO DOS ATRIBUTOS UTILIZADOS NO BANCO DE DADOS DAS PARCELAS

Tabela	Atributo	Tipo	Tamanho	Descrição
Projeto	Id_Projeto	AN	4	Identificador do Projeto*
	Código	T	8	Código do projeto em análise
	Localização	T	30	Localização geográfica do Projeto
	Área	N	8	Área do Projeto, em hectare
Híbrido	Id_Híbrido	AN	4	Identificador do Híbrido*
	Código Híbrido	T	8	Código do Híbrido
Talhão	Id_Talhão	AN	4	Identificador do Talhão*
	Id_Projeto	NI	4	Identificador do Projeto
	Id_Híbrido	NI	4	Identificador do Híbrido
	Nome	T	12	Nome do Talhão
	Número	NI	4	Cifra de identificação do talhão
	Área	N	8	Área do Talhão, em hectares
	Espaçamento 1	NI	3	Espaçamento entre fileiras, em decímetros
	Espaçamento 2	NI	3	Espaçamento dentro das fileiras, em decímetros
Parcela	Id_Parcela	AN	4	Identificador da Parcela*
	Id_Talhão	NI	4	Identificador do Talhão
	Número	NI	4	Cifra de identificação da parcela
	Árvores originais	NI	3	Número de árvores originais
	Data plantio	D	10	Data de plantio
	Observações	T	30	Observações gerais sobre a Parcela

Continua

TABELA 2 - DESCRIÇÃO DOS ATRIBUTOS UTILIZADOS NO BANCO DE DADOS DAS PARCELAS

Tabela	Atributos	Tipo	Tamanho	Conclusão Descrição
Datas	Id_Datas	AN	3	Identificador da data de medição*
	Id_Parcela	NI	4	Identificador da Parcela
	Data medição	D	10	Data da medição da Parcela
Medições	Id_Datas	NI	3	Identificador da data de medição*
	Número árvore	NI	3	Cifra de identificação da árvore
	DAP	NI	3	Diâmetro da árvore, em milímetros
	H	NI	3	Altura total da árvore, em decímetros
* Índice primário	AN = Auto-numeração		NI = Numeração inteira N = Numeração simples	D = Data T = Texto

As seis tabelas desenvolvidas no banco de dados da análise de tronco e suas relações aparecem na Figura 3. Assim como no banco de dados das parcelas é preciso seguir uma seqüência na inserção da informação. Por exemplo, para inserir os raios de cada anel (Tabela anéis) o usuário deverá descrever o Projeto, o Híbrido, o Talhão a Árvore e a Fatia (Tabelas com o mesmo nome). O usuário poderá inserir um máximo de quatro raios em cada anel, que serão armazenados no simulador SALICA. Quando a informação da árvore seja processada o sistema calculará a média dos raios inseridos pelo usuário.

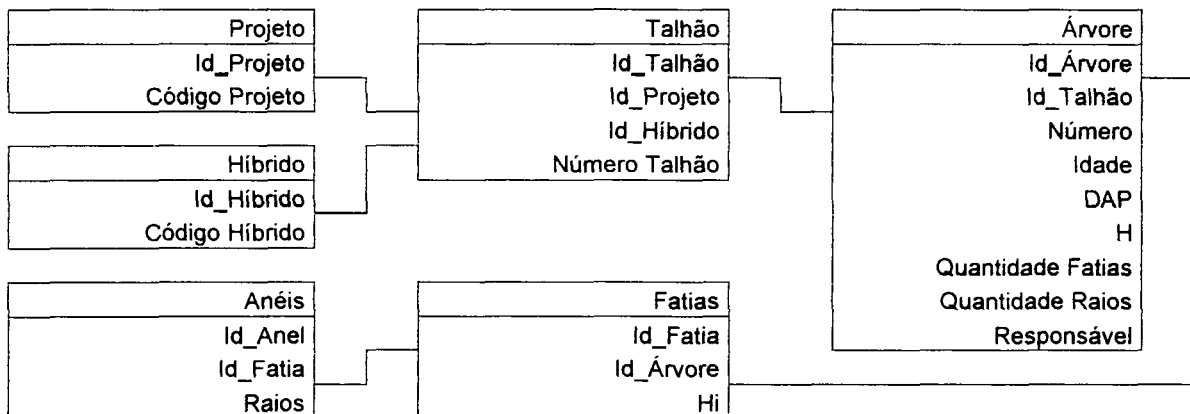


FIGURA 3- ARQUITETURA DO BANCO DE DADOS DA ANÁLISE DE TRONCO (TABELAS DESENVOLVIDAS E SUAS RELAÇÕES)

Na Tabela 3 são apresentados os atributos requeridos pelo banco de dados da análise de tronco.

TABELA 3 - DESCRIÇÃO DOS ATRIBUTOS UTILIZADOS NO BANCO DE DADOS DA ANÁLISE DE TRONCO

Tabela	Atributos	Tipo	Tamanho	Descrição
Projeto	Id_Projeto	AN	4	Identificador do Projeto*
	Código Projeto	T	8	Código do projeto em análise
Híbrido	Id_Híbrido	AN	4	Identificador do Híbrido*
	Código Híbrido	T	8	Código do Híbrido
Talhão	Id_Talhão	AN	4	Identificador do Talhão*
	Id_Projeto	NI	4	Identificador do Projeto
	Id_Híbrido	NI	4	Identificador do Híbrido
	Número Talhão	NI	4	Cifra de identificação do talhão
Árvore	Id_Árvore	AN	4	Identificador da Árvore*
	Id_Talhão	NI	4	Identificador do Híbrido
	Número	NI	4	Cifra de identificação da árvore
	Idade	NI	3	Idade em meses da árvore
	DAP	NI	3	DAP da árvore, em milímetros
	H	NI	3	Altura total da árvore, em decímetros
	Quantidade fatias	NI	2	Quantidade de fatias extraídas de cada árvore
	Quantidade raios	NI	2	Quantidade de raios medidos em cada anel
	Responsável	T	8	Identificação do responsável pelas medições
Fatias	Id_Fatia	NI	2	Identificador da fatia*
	Id_Árvore	NI	4	Identificador da árvore
	Hi	NI	3	Altura de extração das fatias, em decímetros
Anéis	Id_Anel	NI	3	Identificador dos anéis de cada fatia*
	Id_Fatia	NI	2	Identificador da fatias
	Raios	NI	3	Raio em milímetros de cada anel
* Índice primário	AN = Auto-numeração	NI = Numeração inteira	T = Texto	

Ambos bancos de dados cumprem com os requerimentos dos potenciais usuários. No entanto, a dimensão das pastas de Excel (256 colunas e 65536 filas) limitam a quantidade de informação capaz de ser processada, de modo que esta terá que ser subdividida quando for necessário (quando os dados excedam de 65535 registros).

4.2 MÓDULO BIOMÉTRICO

Considera-se representativas as 15 funções avaliadas em cada tipo de função; ou seja, são funções amplamente difundidas apresentando resultados satisfatórios. No

entanto; em virtude de demandas específicas dos usuários é possível modificar o listado de funções disponíveis, nas seguintes versões do simulador SALICA. Desse modo o simulador personaliza seu funcionamento, em atenção às demandas de seus usuários. Por exemplo, um potencial usuário solicitou a inclusão da função de potências inteiras e fracionadas no listado de funções de afilamento. Esta demanda será atendida na próxima versão do simulador SALICA

Foram avaliadas diversas funções que permitem realizar a simulação. Como resultado das avaliações efetuadas gerou-se o módulo biométrico do simulador SALICA, composto por três submódulos: a) Ajuste de funções, b) Estimativas e c) Simulação, descritos na seqüência.

4.2.1 Módulo de ajuste de funções

Com o relatório proveniente do banco de dados da análise de tronco foram ajustadas funções de afilamento (Tabela 33 p. 116) e funções de volume (Tabela 39 p. 124) para cada híbrido.

O relatório do banco de dados das parcelas permitiu o ajuste das funções de crescimento, funções de distribuição diamétrica (Tabela 34 p. 117), funções hipsométricas (Tabela 37 p. 122) e funções de índice de sítio (Tabela 38 p. 123).

Os ajustes efetuados foram subdivididos em três grupos, dependendo da análise requerida em cada caso. No primeiro grupo foi aplicada a análise de regressão envolvendo as seguintes funções: a) de afilamento, b) hipsométricas, c) de índice de sítio e d) de volume. O segundo grupo envolveu as funções de crescimento, onde também foi aplicada a análise de regressão, mas considerando variáveis Dummy. O terceiro grupo envolveu as funções de distribuição diamétrica, onde foi aplicada a análise de variância e o teste de médias Student-Newman-Keuls (SNK) a um nível de significância de 5% da estatística “dn” de Kolmogorov-Smirnov.

4.2.1.1 Análise de regressão

Utilizou-se o pacote estatístico Statgraphics 5.0 ® para ajustar as funções de afilamento, as funções hipsométricas, as funções de índice de sítio e as funções de volume.

Gerou-se um ranking, considerando seis indicadores da qualidade do ajuste: a) erro quadrático médio, b) coeficiente de determinação ajustado, c) desvio “D”, d) desvio padrão das diferenças “SD”, e) soma de quadrados dos resíduos relativos “SSRR” e f) percentagem dos resíduos “PR”. Na Tabela 40 página 125 apresenta-se as formulas de cada indicador da qualidade do ajuste.

As funções foram ordenadas em ordem ascendente segundo o resultado do erro quadrático médio, D, SD, SSRR e PR, obtendo a primeira posição do ranking a função com o menor valor de cada indicador. Para o coeficiente de determinação ajustado o procedimento foi inverso, ou seja as funções foram ordenadas em forma descendente, obtendo a primeira posição do ranking a função com maior valor desse indicador. Afinal obteve-se uma média dos respectivos indicadores para cada função, sendo a primeira do ranking a função com melhor desempenho. No caso das funções de afilamento o desempenho de cada função foi avaliada em termos da predição dos diâmetros e volumes de cada tora. O volume de cada tora foi obtido com a função de afilamento integrada e avaliada nos limites correspondentes.

Para dar maior flexibilidade à análise, foram programadas as cinco primeiras funções de cada ranking no simulador SALICA.

Para as funções não lineares, desenvolveu-se um procedimento que minimiza o erro quadrático médio da função em análise, utilizando o complemento de otimização não linear “Solver.xla” disponível no Microsoft Excel.

4.2.1.2 Análise de regressão com variáveis dummy

A literatura reporta um grande número de funções de crescimento para plantações, que, em sua maioria, foram desenvolvidas para povoamentos com um número de árvores decrescentes através do tempo, seja por mortalidade natural ou por desbastes. As funções consideram como variáveis explicativas, entre outras, a idade, a altura dominante e o índice de sítio em conjunto ou separadamente.

Considerando este fato e com o objetivo de propor funções de crescimento e produção em nível de povoamento, a amostra de construção foi classificada em três classes de sítio e verificou-se a correlação das variáveis diâmetro médio, área basal e volume com as variáveis idade e altura dominante. Identificou-se as relações entre as variáveis e formulou-se um sistema interligado de funções, que se constituiu na base da simulação.

4.2.1.3 Análise de variância

O melhor desempenho das distribuições diamétricas foi obtido através do teste de médias Student-Newman-Keuls (SNK) a um nível de significância de 5% da estatística “dn” de Kolmogorov-Smirnov para cada uma das seguintes distribuições:

- Beta: método da máxima verossimilhança e método dos momentos;
- Gamma: método da máxima verossimilhança e método dos momentos;
- Log-Normal e Normal: método da máxima verossimilhança ou método dos momentos (ambos métodos geram a mesma estimativa);
- S_B de Johnson: método da máxima verossimilhança, método dos momentos, método de Knoebel-Burkhart, Método da moda e método da regressão linear;
- Weibull 2P e 3P: método da máxima verossimilhança, método dos momentos e método dos percentis.

Para obter os parâmetros dos métodos de ajuste das distribuições (Tabela 35 p. 118) de cada parcela, desenvolveu-se um programa no Microsoft Excel. Este

programa implementou a proposta metodológica desenvolvida por VALLEJOS *et al.* (a, b no prelo) para o ajuste ótimo da distribuição S_B de Johnson e distribuição Weibull 3P.

As estatísticas “ dn^+ ” e “ dn^- ” utilizam a função de distribuição acumulada, ou seja, a integral das funções de distribuição de probabilidade. A distribuição Log-Normal, Normal e S_B de Johnson não apresentam integral definida, de modo que deve-se recorrer ao método de cálculo numérico. As integrais definidas das distribuições restantes são apresentadas na Tabela 36 p. 121.

No Apêndice B p. 109, apresenta-se um exemplo do ajuste ótimo da distribuição Weibull 3P, visando melhorar a compressão dos usuários da proposta metodológica desenvolvida por VALLEJOS *et al.* (no prelo). Neste exemplo descreve-se os passos metodológicos programados no simulador SALICA e apresenta-se o resultado numérico do exemplo.

4.2.2 Módulo Estimativas

As funções ajustadas no módulo anterior geram estimativas, fornecendo informação de interesse para os usuários do simulador SALICA. As estimativas possíveis de se obter são:

- Sortimento: utilizando alguma função de afilamento em conjunto com alguma função hipsométrica, e especificando as dimensões de até quatro produtos, é possível conhecer o sortimento de cada talhão descrito no banco de dados das parcelas.
- Prognose de crescimento e produção: as funções de crescimento e produção permitem fazer uma prognose ao nível de povoamento da parcela em análise para um ano em particular.
- Tabelas do povoamento: utilizando alguma das cinco funções de distribuição diamétrica obter-se-á a tabela do povoamento da parcela em análise, conhecendo sua estrutura.

- Classificação de sítios: selecionando alguma função de índice de sítio o usuário poderá classificar estes em três ou cinco classes, considerando uma amplitude constante ou uma amplitude variável em termos dos percentis ou desvios dos índices de sítios. Em todos os casos as curvas geradas serão anamórficas.
- Cálculo de volume: as funções de volume disponíveis permitem calcular os volumes de cada talhão descrito no banco de dados das parcelas, considerando a função hipsométrica de preferência do usuário.

4.2.3 Módulo Simulação

O submódulo de ajuste de funções de crescimento e produção fornece informação em nível de povoamento. No submódulo de simulação gera-se informação em nível de classe diamétrica, considerando o método de recuperação de parâmetros das cinco distribuições disponíveis ajustadas pelo método dos momentos. Adicionalmente à estimativa do diâmetro médio, da área basal e do volume incorporou-se o ajuste do diâmetro mínimo, do diâmetro máximo e da variância dos diâmetros.

O método dos momentos requer a estimativa do diâmetro médio e da variância dos diâmetros. No entanto, foram inseridas as outras variáveis descritas anteriormente para aperfeiçoar a prognose por classe diamétrica.

Definindo uma amplitude de classe diamétrica as estimativas do diâmetro mínimo e máximo estabelecem os limites da prognose. Somente a distribuição Beta distribui nesses limites a totalidade das árvores consideradas; as demais funções geram estimativas além dos limites. De modo que foi inserido no simulador SALICA a opção de otimizar a prognose, permitindo que as estimativas por classes diamétricas sejam coincidentes com as estimativas ao nível de povoamento.

Para classificar a prognose de diâmetros em classes diamétricas é preciso definir a amplitude das classe, selecionar uma função de distribuição diamétrica (fdp)

e possuir uma estimativa da média e variância desses diâmetros. A média e variância dos diâmetros permitem estimar os parâmetros correspondentes a cada fdp e de esse modo associar uma frequência relativa a cada classe diamétrica. A adição das estimativas obtidas em cada classe diamétrica gera a estimativa global das classes, que frequentemente difere das estimativa em nível de povoamento.

A formulação do problema de otimização permite que as estimativas em ambos níveis de detalhamento sejam compatíveis. A função objetivo minimiza as diferenças entre a variância dos diâmetros estimada e calculada, enquanto as estimativas conformam as restrições.

Função Objetivo:

Minimizar diferença da variância estimada e variância calculada [4]

Restrições:

N, da estimativa por classe diamétrica \leq 1,05 N do povoamento [5]

N, da estimativa por classe diamétrica \geq 0,95 N do povoamento [6]

Diâmetro médio, da estimativa por classe diamétrica \leq 1,05 Diâmetro médio do povoamento [7]

Diâmetro médio, da estimativa por classe diamétrica \geq 0,95 Diâmetro médio do povoamento [8]

Área basal, da estimativa por classe diamétrica \leq 1,05 Área basal do povoamento [9]

Área basal, da estimativa por classe diamétrica \geq 0,95 Área basal do povoamento [10]

Volume, da estimativa por classe diamétrica \leq 1,10 Volume do povoamento [11]

Volume, da estimativa por classe diamétrica \geq 0,90 Volume do povoamento [12]

Que as estimativas sejam compatíveis, não significa que os valores sejam idênticos, já que se esta condição fosse imposta, provavelmente o problema não teria solução factível. De modo que as restrições (Expressão [5] a [12]) incorporam um fator de desconto ou aumento de 5 e 10%, afim de que o problema tenha uma solução. Os fatores descritos foram obtidos depois de múltiplas iterações.

No apêndice D (p. 114) apresenta-se um exemplo da otimização das estimativas, para ambos níveis de detalhamento.

4.3 MÓDULO DE AVALIAÇÃO ECONÔMICA – FINANCEIRA

Foram analisados os oito esquemas de manejo propostos por LOEWE *et al.* (1997) para distintas regiões no Chile, com a intenção de testar o funcionamento do módulo de avaliação econômica – financeira do SALICA.

Uma breve descrição dos oito esquemas de manejo é apresentada na Tabela 4. Os detalhes de receitas e despesas por hectare e ano de cada esquema podem ser conferidos nas Tabela 40 p. 112 até a Tabela 47 p. 119. A totalidade dos esquemas considera custos e preços prováveis, e o plantio considera um espaçamento de seis por seis metros. As alturas de poda são: 1ª poda: 1,5 m; 2ª poda: 2,0 m; 3ª poda: 4,0 m; 4ª poda: 6,0 m e 5ª poda: 7,5 m. Os esquemas que apresentam irrigação têm uma irrigação por mês de outubro a março. A avaliação utilizou uma taxa de juros de dez por cento ao ano.

TABELA 4 - REGIMES DE MANEJO DESCRITOS POR LOEWE *et al.* (1997) AVALIADOS NA PRESENTE PESQUISA

Esquema	Região de aplicação no Chile	Idade de rotação	Irrigação	Controle ervas daninhas	Outros
Po 10 VI R	VI	10	Com irrigação	Mecânico	
Po 12 VII R	VII	12	Com irrigação	Mecânico	
Po 12 VII Rcu	VII	12	Com irrigação	Manual até 2 anos, após Mecânico	Junto com o plantio semeia-se beterraba açucareira, no ano 1 semeia-se milho
Po 12 VII Rga	VII	12	Com irrigação	Mecânico	Manejo de gado bovino
Po 12 VII Rcuga	VII	12	Com irrigação	Manual até 2 anos, após Mecânico	Junto com o plantio semeia-se beterraba açucareira, no ano 1 semeia-se milho. Manejo de gado bovino de 3 até 10 anos
Po 14 VIII R	VIII	14	Com irrigação	Mecânico	
Po 16 IX R	IX	16	Sem irrigação	Químico	
Po 16 X R	X	16	Sem irrigação	Químico	

Além do cálculo do Valor Esperado da Terra é possível obter outros indicadores econômico – financeiros, tais como: Razão Benefício / Custo, Valor Presente Líquido, Valor Uniforme Líquido e Taxa Interna de Retorno, cuja formulação é apresentada na Tabela 40 p. 125.

Como foi discutido na seção 3.4, o Valor Esperado da Terra é o indicador econômico – financeiro que deveria ser usado quando o usuário possui um patrimônio estável no tempo, ou seja, dedica-se ao cultivo de *Populus*, como é o caso da empresa “CAF El Álamo” fornecedora dos dados da presente pesquisa. Os outros indicadores foram inseridos no simulador SALICA para auxiliar a potenciais produtores na tomada de decisão de iniciar a atividade de cultivo de *Populus*.

5 RESULTADOS

Na Tabela 5, é apresentada uma descrição dos talhões utilizados na presente pesquisa, em função dos incrementos médios anuais, tanto em DAP como em altura total. Os dados de cada parcela que originaram os incrementos médios anuais, têm uma extensão considerável, de modo que não serão descritos nesta publicação; No entanto, juntamente com o simulador SALICA estes dados serão disponibilizados na íntegra.

TABELA 5 - INCREMENTOS MÉDIOS ANUAIS DOS TALHÕES AVALIADOS NA PRESENTE PESQUISA

Híbrido Talhão	Incremento médio anual do DAP (cm)										Incremento médio anual da h (m)									
	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
I-488	32			3,3	3,0	2,8	2,7	2,5	2,4	2,2				3,2	3,1	2,9	2,7	2,5	2,4	2,3
	41		3,5	3,3	3,1	2,8	2,6	2,4					3,6	3,2	3,1	2,8	2,6	2,5		
	72	3,6	3,2	3,0	2,8	2,6	2,5	2,2					3,7	3,4	3,1	2,9	2,7	2,5	2,3	
	91	3,9	3,6	3,4	3,2	2,9	2,7	2,5					3,7	3,6	3,2	3,1	2,9	2,7	2,6	
	93	4,1	3,6	3,5	3,3	3,0	2,7	2,8				4,1	3,9	3,5	3,4	3,1	2,9	3,0		
	94		3,7	3,4	3,2	3,0	2,7	2,5	2,4					3,3	3,5	3,3	3,1	2,8	2,8	2,6
	101	3,6	3,5	3,3	2,9	2,8	2,6	2,4					3,6	3,4	3,0	3,1	2,8	2,7	2,5	
	231							2,7	2,6	2,5								2,7	2,8	2,6
	281						2,8	2,7	2,6	2,6	2,4					2,9	3,0	2,9	2,9	2,7
	292				3,2	3,0	2,9	2,8	2,6						3,0	3,0	2,8	2,7	2,6	
I-63/51	141	4,9	4,4	4,0	3,7	3,4	3,2	3,0					4,1	3,8	3,4	3,2	3,0	2,8	2,7	
	152		4,3	4,0	3,7	3,5	3,2	3,0	2,8					3,6	3,5	3,3	3,1	2,8	2,7	2,5
	171	5,0	4,8	4,4	4,0	3,7	3,4	3,3				4,0	3,9	3,8	3,5	3,2	3,0	2,9		
	251			3,8	3,6	3,4	3,2	3,1	2,9					3,3	3,1	3,0	2,8	2,8	2,6	
	253			3,6	3,4		3,0	2,8						3,0	2,9		2,6	2,4		
	282	2,5	2,5	2,7	2,9	2,9	2,9	2,9					1,6	1,8	2,1	2,4	2,5	2,5	2,6	
	352	4,4	4,3	4,1	3,8	3,5	3,2	3,0				3,4	3,5	3,4	3,2	3,0	2,7	2,6		
	371			3,9	3,8	3,5	3,3	3,1						3,4	3,3	3,1	2,9	2,8		
	382					3,2	3,0	2,9	2,7	2,6						2,8	2,7	2,5	2,4	2,3
	472				3,5	3,2	3,0	2,9								3,0	2,8	2,7	2,6	

Utilizando a idade de referência para obter o índice de sítio (dez anos) e as médias dos incrementos é possível estabelecer uma comparação entre os valores apresentados na Tabela 5. Em média, aos dez anos, os talhões do híbrido I-488 apresentam um DAP de 26,8 cm e uma altura de 27,3 m; enquanto o híbrido I-63/51

apresenta um DAP de 31,3 cm e uma altura de 27,5 m, ou seja, em termos gerais o híbrido I-63/51 apresenta um desenvolvimento maior que o híbrido I-488. Isto confirma o que foi afirmado por LOEWE *et al.* (1997) em relação à diferença volumétrica entre os híbridos (ver seção 3.3.5).

A ilustração gráfica dos dados de cada parcela (diâmetros e alturas) com relação à idade, favorece o detalhamento desses dados e permite observar possíveis tendências dos mesmos. Na Figura 4 apresenta-se a distribuição dos diâmetros (DAP), onde observa-se que as médias dos diâmetros do híbrido I-63/51 foram superiores que os do híbrido I-488, com uma dispersão relativamente similar em cada idade. Ambos híbridos apresentaram uma tendência crescente, sem evidência de anomalias na dispersão dos dados.

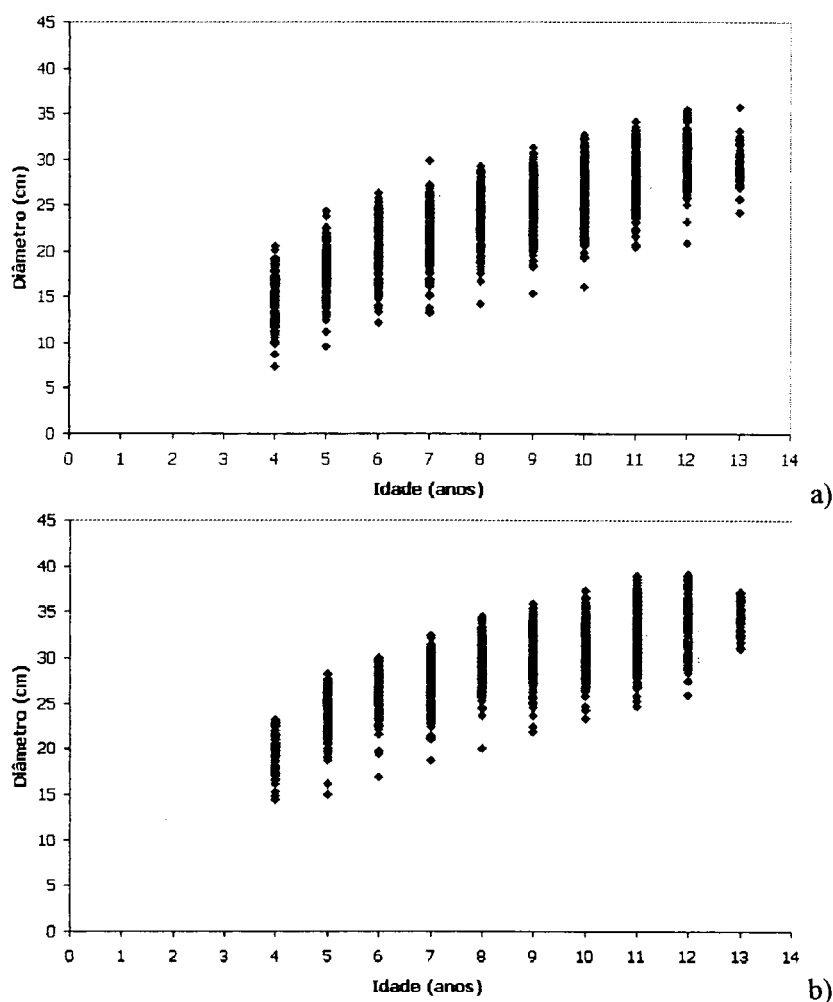


FIGURA 4 - DISTRIBUIÇÃO DOS DIÂMETROS SEGUNDO IDADE a) HÍBRIDO I-488, b) HÍBRIDO I-63/51

Na Figura 5 apresenta-se a distribuição das alturas para ambos híbridos, observando-se uma grande similaridade na dispersão dos dados; No entanto, a dispersão das alturas do híbrido I-63/51 foi mais estreita que no híbrido I-488. Ambos híbridos apresentaram uma tendência crescente, sem evidência de anomalias na dispersão dos dados.

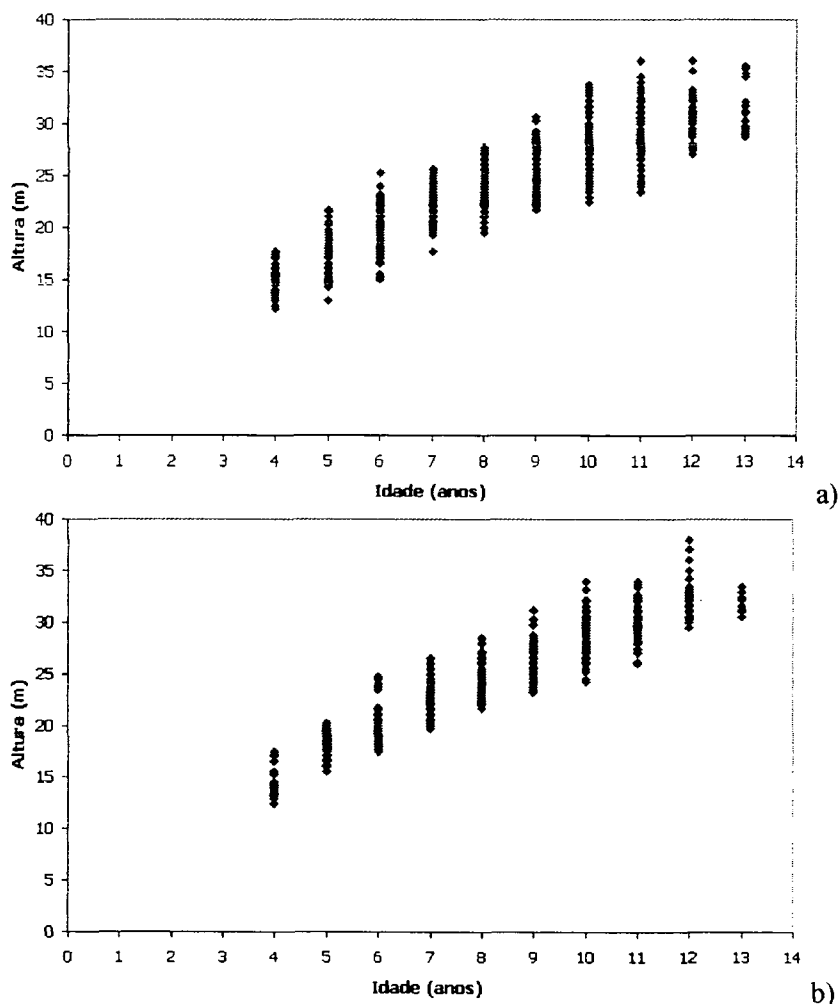


FIGURA 5 - DISTRIBUIÇÃO DAS ALTURAS SEGUNDO IDADE a) HÍBRIDO I-488, b) HÍBRIDO I-63/51

Para que os usuários conheçam com precisão o modelo desenvolvido na presente pesquisa, utilizou-se a terminologia apresentada por SANQUETTA (1996) para sua classificação, correspondendo a um modelo empírico, estático, determinístico, não espacial, em nível de povoamento ou em nível de classe diamétrica que utiliza funções probabilísticas.

O modelo é empírico, já que serve para o manejo florestal e enfatiza a qualidade do ajuste dos dados e das predições. Estático, porque não permite variações na historia dos tratamentos no povoamento. Determinístico, já que dadas as mesmas condiciones iniciais o modelo produzirá sempre os mesmos resultados. Não espacial, porque, a distribuição espacial das árvores não é explicitamente levada em conta.

A implementação computacional do modelo originou o simulador SALICA, cujos módulos e submódulos foram programados em ordem alfabética (Figura 6), de modo que os resultados serão apresentados na mesma ordem.

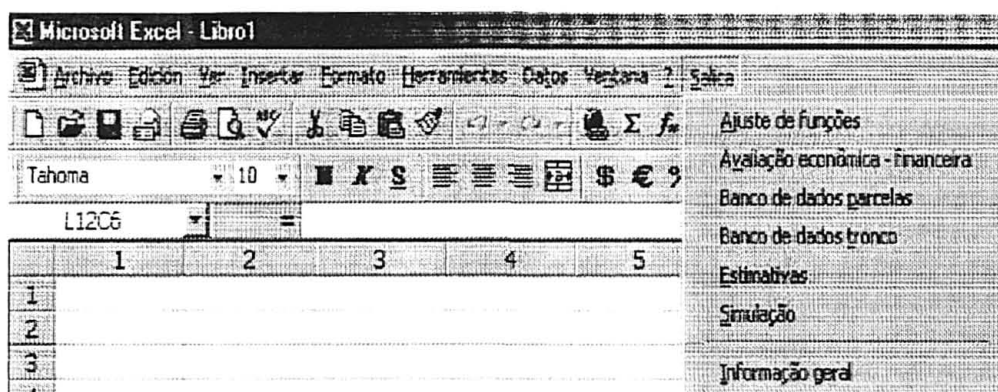


FIGURA 6 - ACESSO AO SIMULADOR SALICA

5.1 AJUSTE DE FUNÇÕES

As funções serão apresentadas em ordem alfabética, ou seja, funções de afilamento, de crescimento, de distribuição diamétrica, hipsométricas, de índice de sítio e de volume, descritas na seqüência.

5.1.1 Funções de afilamento

O resumo da avaliação do desempenho das funções de afilamento de ambos híbridos, tanto em diâmetro como em volume de cada tora, é apresentado na Tabela 6.

No apêndice (Tabela 27 p. 104 e Tabela 28 p. 105) apresenta-se em detalhe sua avaliação.

TABELA 6 - AVALIAÇÃO DAS FUNÇÕES DE AFILAMENTO

Função	Ranking I-488	Ranking I-63/51	Ranking Ponderado
1	5,0	5,0	5,0
2	1,0	3,0	2,0
3	12,0	11,0	12,0
4	7,0	8,0	8,0
5	6,0	7,0	7,0
6	3,0	4,0	3,0
7	2,0	1,0	1,0
8	10,0	13,0	11,0
9	13,0	14,0	14,0
10	14,0	12,0	13,0
11	8,0	2,0	6,0
12	4,0	6,0	4,0
13	9,0	10,0	10,0
14	11,0	9,0	9,0
15	15,0	15,0	15,0

Ao analisar a Tabela 6 pode-se indicar que os modelos, em termos gerais, apresentam similar desempenho em ambos híbridos, ou seja, apresentam mais ou menos o mesmo ranking. Os primeiros cinco modelos do ranking ponderado foram incluídos no simulador SALICA.

Para o híbrido I-488, a função dois apresentou o melhor desempenho. A expressão [13] corresponde à função de afilamento dois com seus coeficientes. Todas as estatísticas apresentadas foram altamente significativas ($P < 0,01$). A integração da função permite obter o volume das toras ou da árvore completa segundo os limites de integração especificados pelo usuário (expressão [14]).

$$d_j = b_1 DAP x + b_2 h (h - h_j) (h - 1,3) + b_3 (h - h_j) (h - 1,3) (h + h_j + 1,3) \quad [13]$$

$$b_1 = 0,88583937$$

$$b_2 = -0,0003167$$

$$b_3 = 0,0003998$$

$$\text{Valor } F = 188209,4$$

$$R^2 \text{ ajustado} = 98,83$$

$$\text{Erro quadrático} = 1,52 \text{ cm}$$

$$V = \frac{\pi}{40000} \int_{h_1}^{h_2} d_i^2 dh_i = \frac{\pi}{40000} \left(\frac{1}{5} b_3^2 (h-1,3)^2 h_i^5 - \frac{1}{2} \%2 b_3 (h-1,3) h_i^4 + \%1 \%2 h_i^2 + \%1^2 h_i \right. \\ \left. \frac{1}{3} (-2 \%1 b_3 (h-1,3) + \%2^2) h_i^3 \right) \Big|_{h_1}^{h_2} \quad [14]$$

$$\%1 = \frac{b_1 DAP h}{h-1,3} + b_2 h^2 (h-1,3) + b_3 h (h-1,3) (h+1,3) \\ \%2 = -\frac{b_1 DAP}{h-1,3} - b_2 h (h-1,3) + b_3 h (h-1,3) - b_3 (h-1,3) (h+1,3)$$

Para o híbrido I-63/51, a função sete apresentou o melhor desempenho. Na expressão [15] é apresentada a função com seus coeficientes, onde todas as estatísticas foram altamente significativas ($P < 0,01$). Na expressão [16] apresenta-se a integração da função sete.

$$d_i = b_1^2 DAP^{2b_2} b_3^{2DAP} \left(\frac{1-\sqrt{z}}{1-\sqrt{0,2}} \right) \left(b_4 z^2 + b_5 \ln(z+0,001) + b_6 \sqrt{z} + b_7 \exp(z) + b_8 \frac{DAP}{h} \right) \quad [15]$$

$$b_1 = 0,27546$$

$$b_2 = 1,37553$$

$$b_3 = 0,99150$$

$$b_4 = -0,43618$$

$$b_5 = -0,12696$$

$$b_6 = 1,08365$$

$$b_7 = 0,07840$$

$$b_8 = -0,19842$$

$$\text{Valor } F = 35094,22$$

$$R^2 \text{ ajustado} = 97,15$$

$$\text{Erro quadrático} = 1,70 \text{ cm}$$

[16]

$$V = \frac{\pi}{40000} \int_{h_1}^{h_2} d_i^2 dh_i = \frac{\pi}{40000} \left(b_1^2 DAP^{2b_2} b_3^{2DAP} \left(\frac{1-\sqrt{z}}{1-\sqrt{0,2}} \right)^{2 \%1} h_i \text{Hypergeom}([2, -2 \%1], [3], \sqrt{z}) \right) \Big|_{h_1}^{h_2}$$

$$\%1 = b_4 z^2 + b_5 \ln(z + 0,001) + b_6 \sqrt{z} + b_7 \exp(z) + b_8 \frac{DAP}{h}$$

Cada função foi validada utilizando-se a amostra de validação do híbrido correspondente. Na Tabela 7 apresenta-se o resultado do teste de Kolmogorov-Smirnov, onde verifica-se que as funções de afilamento estimam satisfatoriamente o diâmetro e volume das toras dos respectivos híbridos ($P > 0,05$). No entanto, a estimativa dos diâmetros é mais acurada que as estimativas dos volumes, já que os valores de “dn” são inferiores.

TABELA 7 - VALIDAÇÃO DAS FUNÇÕES DE AFILAMENTO, TESTE DE KOLMOGOROV-SMIRNOV

	Híbrido	"dn" Diâmetro	"dn" Volume
	I-488	0,0836 ^{ns}	0,0932 ^{ns}
	I-63/51	0,0761 ^{ns}	0,0870 ^{ns}
Nota:	^{ns} =	Diferenças não significativas (P>0,05)	

5.1.2 Funções de crescimento e produção

Três classes foram utilizadas para classificar os sítios. A classe 1 conteve os sítios com índice de sítio superiores ao percentil 67 (28,27 e 28,69 metros para o híbrido I-488 e para o híbrido I-63/51, respectivamente). A classe 3 conteve os sítios com índices inferiores ao percentil 33 (26,57 e 27,42 metros para o híbrido I-488 e para o híbrido I-63/51, respectivamente). A classe 2 conteve os sítios entre os percentis previamente mencionados.

Na Tabela 8 são apresentadas as matrizes de correlação segundo classe de sítio e híbrido, das variáveis que descrevem o povoamento, ou seja, idade, altura dominante, diâmetro médio, área basal e volume.

Ao analisar a Tabela 8 constata-se que as correlações são altamente significativas em todos os casos, com valores que flutuam entre 0,883 e 0,997, indicando que é factível desenvolver funções de crescimento para cada variável de maneira independente, ou seja, relacionar cada variável à idade, aplicando as funções previamente descritas. No entanto, este procedimento poderia gerar incompatibilidades em alguns casos, deste modo preferiu-se gerar um sistema interrelacionado de funções que assegurassem a confiabilidade da prognose.

TABELA 8 - CORRELAÇÃO LINEAR ENTRE AS VARIÁVEIS DO POVOAMENTO SEGUNDO CLASSE DE SÍTIO E HÍBRIDO

	Classe de sítio 1, Híbrido I-488					Classe de sítio 1, Híbrido I-63/51				
	Idade	Hdom	Dmédio	G	V	Idade	Hdom	Dmédio	G	V
Idade	1,000					1,000				
Hdom	0,982	1,000				0,966	1,000			
Dmédio	0,966	0,968	1,000			0,902	0,908	1,000		
G	0,961	0,961	0,979	1,000		0,883	0,828	0,973	1,000	
V	0,956	0,950	0,966	0,997	1,000	0,891	0,839	0,970	0,989	1,000
	Classe de sítio 2, Híbrido I-488					Classe de sítio 2, Híbrido I-63/51				
	Idade	Hdom	Dmédio	G	V	Idade	Hdom	Dmédio	G	V
Idade	1,000					1,000				
Hdom	0,989	1,000				0,989	1,000			
Dmédio	0,935	0,946	1,000			0,908	0,929	1,000		
G	0,903	0,910	0,977	1,000		0,901	0,908	0,968	1,000	
V	0,908	0,908	0,966	0,996	1,000	0,895	0,895	0,963	0,993	1,000
	Classe de sítio 3, Híbrido I-488					Classe de sítio 3, Híbrido I-63/51				
	Idade	Hdom	Dmédio	G	V	Idade	Hdom	Dmédio	G	V
Idade	1,000					1,000				
Hdom	0,973	1,000				0,985	1,000			
Dmédio	0,932	0,964	1,000			0,906	0,940	1,000		
G	0,925	0,950	0,984	1,000		0,947	0,955	0,969	1,000	
V	0,917	0,934	0,964	0,993	1,000	0,955	0,956	0,952	0,989	1,000

O sistema interrelacionado de funções (Tabela 9) considera como ponto de partida a significativa correlação entre altura dominante e idade (entre 0,966 e 0,989) expressa através da função de índice de sítio. Em seguida, a alta correlação entre a altura dominante e o diâmetro médio (entre 0,908 e 0,968) gerou uma função estimativa deste diâmetro. Posteriormente, a elevada correlação do diâmetro médio e da área basal (entre 0,968 e 0,984) gerou uma função para a área basal. Afinal, obtém-se o volume em função da área basal, considerando a altíssima correlação entre estas variáveis (entre 0,989 e 0,997).

TABELA 9 - FUNÇÕES DO POVOAMENTO AJUSTADAS

Híbrido	Função	F	R ² ajustado	Erro padrão
I-488	Dmédio = 5,6789 + 0,0025592 Hn I ₁ + 0,0027001 Hn I ₂ + 0,0026426 Hn I ₃	636,6	89,7	1,30 cm
	G = 0,03273 + 7,8638E-5 D2n I ₁ + 7,8625E-5 D2n I ₂ + 7,8636E-5 D2n I ₃	1,6E6	99,9	0,03 m ² /ha
	V = -2,45395 + 0,390955 G HDom	1,4E4	98,7	7,66 m ³ /ha
I-63/51	Dmédio = 13,502 + 0,0021847 Hn I ₁ + 0,002199 Hn I ₂ + 0,0020966 Hn I ₃	232,1	80,5	1,70 cm
	G = 0,0191277 + 7,8596E-5 D2n I ₁ + 7,8692E-5 D2n I ₂ + 7,8698E-5 D2n I ₃	1,1E6	99,9	0,03 m ² /ha
	V = -6,94089 + 0,260853 G HDom	5,7E3	97,1	9,92 m ³ /ha
I ₁ = Classe sítio 1 (1 ou 0) Hn = HDom n	I ₂ = Classe sítio 2 (1 ou 0) D2n = Dmédio ² n	I ₃ = Classe sítio 3 (1 ou 0)		

Para testar a validade das funções descritas na Tabela 9, utilizou-se a amostra de validação. Na Tabela 10 apresenta-se o resultado do teste de Kolmogorov-Smirnov das funções de crescimento e produção do povoamento, onde é possível observar que todas as funções foram válidas, de modo que podem ser utilizadas na prognose de crescimento e produção.

TABELA 10 - VALIDAÇÃO DAS FUNÇÕES DE CRESCIMENTO E PRODUÇÃO DO POVOAMENTO, TESTE DE KOLMOGOROV-SMIRNOV

Variável	"dn" híbrido I-488	"dn" híbrido I-63/51
Diâmetro médio (Dmédio)	0,2500 ^{ns}	0,2381 ^{ns}
Área basal (G)	0,2500 ^{ns}	0,1905 ^{ns}
Volume (V)	0,2080 ^{ns}	0,1905 ^{ns}

Nota: ^{ns} = Diferenças não significativas (P>0,05)

A classificação dos sítios considerando a amplitude em função dos percentis mostrou reduzida estabilidade (Apêndice C p. 111). Isto afeta a aplicação do modelo desenvolvido na presente pesquisa; No entanto, cada função que forma parte do modelo foi válida; ou seja, os valores reais e estimados não apresentaram diferenças significativas (P>0,05). A explicação deste fato radica na uniformidade da base de dados de ambos híbridos. Nos povoamentos clonais de *Populus* é freqüente evidenciar esta uniformidade dos dados.

Será providenciado um processo que informe ao usuário do simulador SALICA a grau de estabilidade alcançado na classificação dos sítios.

5.1.3 Distribuição diamétrica

Na Tabela 11 observa-se o resultado do teste de Levene e da análise de variância da variável “dn” para cada grupo de distribuições. Em ambos híbridos as hipóteses de homogeneidade de variância foram aceitas em todos os grupos, de modo que é possível desenvolver a análise de variância.

TABELA 11 - TESTE DE LEVENE E ANÁLISE DE VARIÂNCIA DA VARIÁVEL “dn” SEGUNDO HÍBRIDO E GRUPOS DAS DISTRIBUIÇÕES

Grupo	Levene I-488	Valor F I-488	Levene I-63/51	Valor F I-63/51
1	0,074 ^{ns}	2,00 ^{ns}	0,255 ^{ns}	0,93 ^{ns}
2	0,028 ^{ns}	0,02 ^{ns}	0,012 ^{ns}	0,17 ^{ns}
3	1,329 ^{ns}	0,58 ^{ns}	0,058 ^{ns}	0,55 ^{ns}
4	1,598 ^{ns}	74,10 ^{**}	1,592 ^{ns}	67,53 ^{**}
5	1,594 ^{ns}	42,61 ^{**}	1,588 ^{ns}	22,68 ^{**}

Nota: ** = Diferenças altamente significativas ($P \leq 0,01$)
 ns = Diferenças não significativas ($P > 0,05$)

Para ambos híbridos, nos primeiros três grupos de distribuições, os métodos de ajustes avaliados não apresentaram diferenças significativas entre si, de modo que as estimativas podem ser feitas com qualquer método de ajuste da distribuição respectiva. Nos grupos 4 e 5 houve diferenças entre os métodos de ajuste de cada grupo, de modo que existem métodos que representam a estrutura do povoamento de melhor maneira. Na Tabela 12 apresenta-se o teste SNK de comparações múltiplas para os cinco grupos de ambos híbridos, onde é possível observar a magnitude dos valores “dn” médios.

TABELA 12 - TESTE SNK DA VARIÁVEL “dn” SEGUNDO HÍBRIDO E GRUPOS DAS DISTRIBUIÇÕES

Híbrido	Grupo 1		Grupo 2		Grupo 3		Grupo 4		Grupo 5		Continua				
	I-488	B1	0,159	A	G1	0,161	A	LogN	0,167	A	SB1	0,155	A	W2p1	0,161
	B2	0,166	A	G2	0,161	A	N	0,164	A	SB2	0,154	A	W2p2	0,170	C
										SB3	0,141	A	W2p3	0,164	C
										SB4	0,255	B	W2p3'	0,144	B
										SB5	0,159	A	W3p1	0,132	A
													W3p2	0,134	A
													W3p3	0,135	A
													W3p3'	0,124	A

TABELA 12 - TESTE SNK DA VARIÁVEL “dn” SEGUNDO HÍBRIDO E GRUPOS DAS DISTRIBUIÇÕES

Híbrido	Grupo 1		Grupo 2		Grupo 3		Grupo 4		Grupo 5		Conclusão				
I-63/51	B1	0,142	A	G1	0,152	A	LogN	0,160	A	SB1	0,156	A	W2p1	0,156	C
	B2	0,146	A	G2	0,154	A	N	0,157	A	SB2	0,152	A	W2p2	0,162	C
										SB3	0,142	A	W2p3	0,154	C
										SB4	0,253	B	W2p3'	0,145	B
										SB5	0,154	A	W3p1	0,134	A
									W3p2	0,131	A				
									W3p3	0,138	A				
									W3p3'	0,128	A				

Nota: Letras diferentes denotam diferenças significativas ($P < 0,05$) no teste de médias SNK

Grupo 1: distribuição Beta, método de ajuste (B1 = máxima verossimilhança e B2 = momentos)

Grupo 2: distribuição Gamma, método de ajuste (G1 = máxima verossimilhança e G2 = momentos)

Grupo 3: distribuição LogNormal (LogN) e Normal (N), método da máxima verossimilhança ou momentos

Grupo 4: distribuição S_B de Johnson, método de ajuste (SB1 = máxima verossimilhança, SB2 = momentos, SB3 = Knoebel – Burkhart, SB4 = moda e SB5 = regressão linear)

Grupo 5: distribuição Weibull 2P, método de ajuste (W2p1 = máxima verossimilhança, W2p2 = momentos, W2p3 = percentis (0,2 e 0,8) e W2p3' = percentis (0,1, 0,2 ..., 0,8 e 0,9))
distribuição Weibull 3P, método de ajuste (W3p1 = máxima verossimilhança, W3p2 = momentos, W3p3 = percentis (0,2 e 0,8) e W3p3' = percentis (0,1, 0,2 ..., 0,8 e 0,9))

De acordo com o resultado da análise de variância (Tabela 11), os métodos de ajuste dos três primeiros grupos não apresentaram diferenças estatisticamente significativas, o que é corroborado pela análise da Tabela 12. Para o híbrido I-488, os valores de “dn” médios para os três primeiros grupos se situaram em torno de 0,163, enquanto, para o híbrido I-6351 os valores foram ligeiramente inferiores, da ordem de 0,151.

O grupo 4 representado pelos métodos de ajuste da distribuição S_B de Johnson apresentou diferenças estatisticamente significativas. Em ambos híbridos o pior desempenho foi apresentado pelo método da moda (SB4) com um valor médio de “dn” de 0,255. ZOU e McTAGUE (1996) também indicaram que este método de ajuste teve um pobre desempenho em sua pesquisa. Em contraposição, TABAI (1999) determinou que este método é um dos mais indicados para a prognose de produção. O melhor método avaliado por ZOU e McTAGUE (1996) e TABAI (1999) foi o método da regressão linear (SB5), que na presente pesquisa compartilhou o primeiro lugar em ambos híbridos. Dos métodos que ocuparam a primeira posição o método de Knoebel - Burkhart apresenta maior destaque.

Fazendo-se o parâmetro “a” igual a zero, o ajuste otimizado da distribuição Weibull 3P coincide com o ajuste da Weibull 2P. Com outros valores do parâmetro “a” o ajuste da distribuição Weibull 3P apresentara maior precisão que o ajuste da distribuição Weibull 2P. Observa-se na Tabela 12 (grupo 5) que para ambos híbridos o ajuste de três parâmetros supera amplamente ao de dois em todos os métodos de ajuste, constituindo-se uma prova numérica de que a metodologia proposta por VALLEJOS *et al.* (b, no prelo) assegura um ajuste ótimo.

O método dos momentos recebeu qualificação “A” em todos os grupos avaliados, de modo que este método de ajuste foi programado no simulador SALICA a fim de padronizar a simulação que utiliza o método de recuperação de parâmetros.

Ajustou-se cada distribuição à amostra de validação para conferir a semelhança entre o ajuste das distribuições. Na Tabela 13 apresenta-se o teste de Levene e o teste de variância. O teste de Levene para ambos híbridos não comprovou diferenças significativas ($P > 0,05$) nas variâncias das distribuições, o que possibilitou efetuar a análise de variância da variável “dn” do teste de Kolmogorov-Smirnov, onde constatou-se que as distribuições apresentaram diferenças entre si.

TABELA 13 - TESTE DE LEVENE E ANÁLISE DE VARIÂNCIA DA VARIÁVEL “dn” SEGUNDO HÍBRIDO NA AMOSTRA DE VALIDAÇÃO

	Híbrido	Levene	Valor F
	I-488	0,686 ^{ns}	3,37*
	I-63/51	0,930 ^{ns}	4,37*
Nota:	=	Diferenças significativas ($P \leq 0,05$)	
ns	=	Diferenças não significativas ($P > 0,05$)	

O teste SNK (Tabela 14) da amostra de validação mostrou que a distribuição Weibull 3P estima da melhor forma a estrutura dos povoamentos de *Populus*.

TABELA 14 - TESTE SNK DA VARIÁVEL "dn" SEGUNDO HÍBRIDO E GRUPOS DAS DISTRIBUIÇÕES

Distribuição	dn I-488			dn I-63/51		
Beta	0,174	A	B	0,139	A	B
Gamma	0,176	A	B	0,139	A	B
Normal	0,179	A	B	0,152	A	B
S _B de Johnson	0,201		B	0,167		B
Weibull 3P	0,152	A		0,123	A	

Nota: Letras diferentes denotam diferenças significativas ($P < 0,05$) no teste de médias SNK

5.1.4 Função hipsométrica

Na Figura 7 apresenta-se a distribuição do diâmetro e da altura de ambos híbridos. Observa-se uma elevada similaridade entre os híbridos, com uma tendência ascendente sem evidência de anomalias na dispersão dos dados.

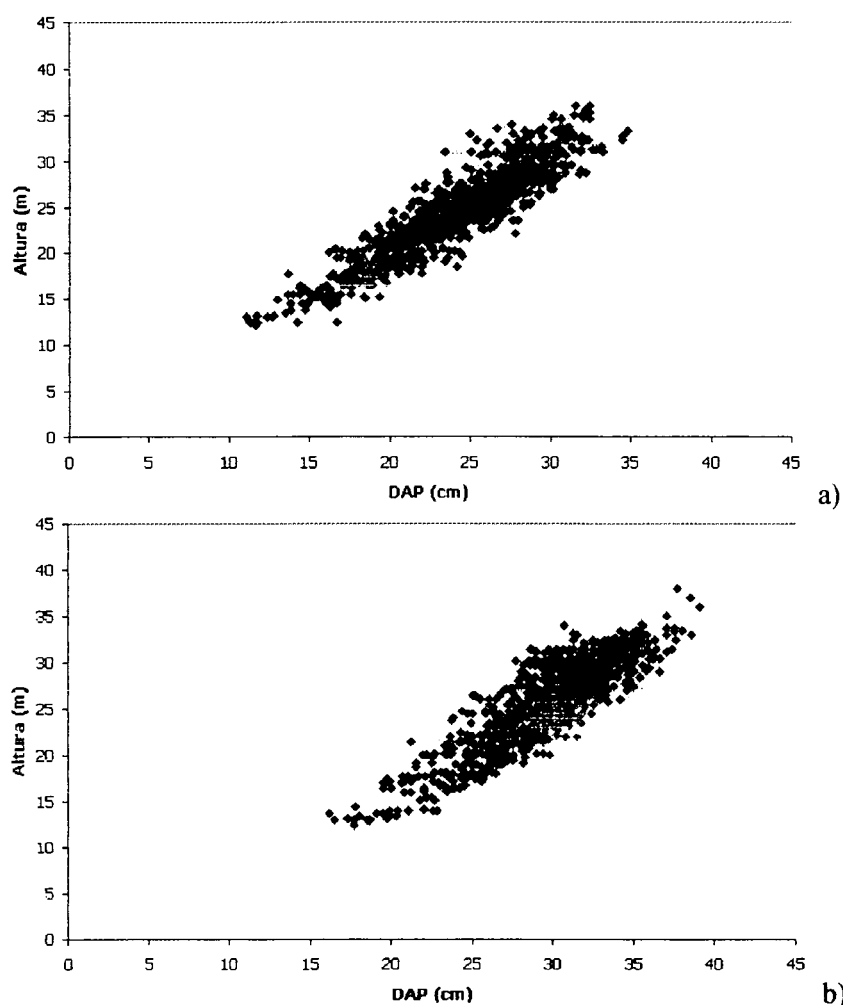


FIGURA 7 - DISTRIBUIÇÃO DOS DIÂMETROS E ALTURAS a) HÍBRIDO I-488 b) HÍBRIDO I-63/51

Ao ajustar-se as funções hipsométricas constatou-se que os termos quadráticos da função seis e oito não foram significativos estatisticamente, originando as funções modificadas seis' e oito', esta última coincidente com a função nove. Na Tabela 15 é apresentado o resumo da avaliação das funções hipsométricas e os detalhes são apresentados no apêndice (Tabela 29 p. 106).

TABELA 15 - AVALIAÇÃO DAS FUNÇÕES HIPSONÉTRICAS

Função	Ranking I-488	Ranking I-63/51	Ranking Ponderado
1	10,0	10,0	10,0
2	9,0	8,0	9,0
3	7,0	9,0	8,0
4	8,0	7,0	7,0
5	5,0	2,0	4,0
6'	3,0	4,0	3,0
7	1,0	1,0	1,0
8' - 9	2,0	3,0	2,0
10	4,0	5,0	5,0
11	12,5	12,5	12,5
12	12,5	12,5	12,5
13	14,0	14,0	14,0
14	6,0	6,0	6,0
15	11,0	11,0	11,0

As funções hipsométricas apresentaram, em geral, desempenho similar em ambos híbridos, ou seja, apresentam mais ou menos o mesmo ranking (Tabela 15). Os primeiros cinco modelos do ranking ponderado foram incluídos no simulador SALICA.

A função hipsométrica sete foi selecionada em ambos híbridos. Na expressão [17] apresenta-se o ajuste do híbrido I-488 e na expressão [18] apresenta-se o ajuste do híbrido I-63/51. Em ambos híbridos todas as estatísticas foram altamente significativas ($P < 0,01$).

$$H = b_0 DAP^{b_1}$$

[17]

$$b_0 = 1,07964$$

$$b_1 = 0,97905$$

$$\text{Valor } F = 6707,08$$

$$R^2 \text{ ajustado} = 86,25$$

$$\text{Erro quadrático} = 1,77 \text{ m}$$

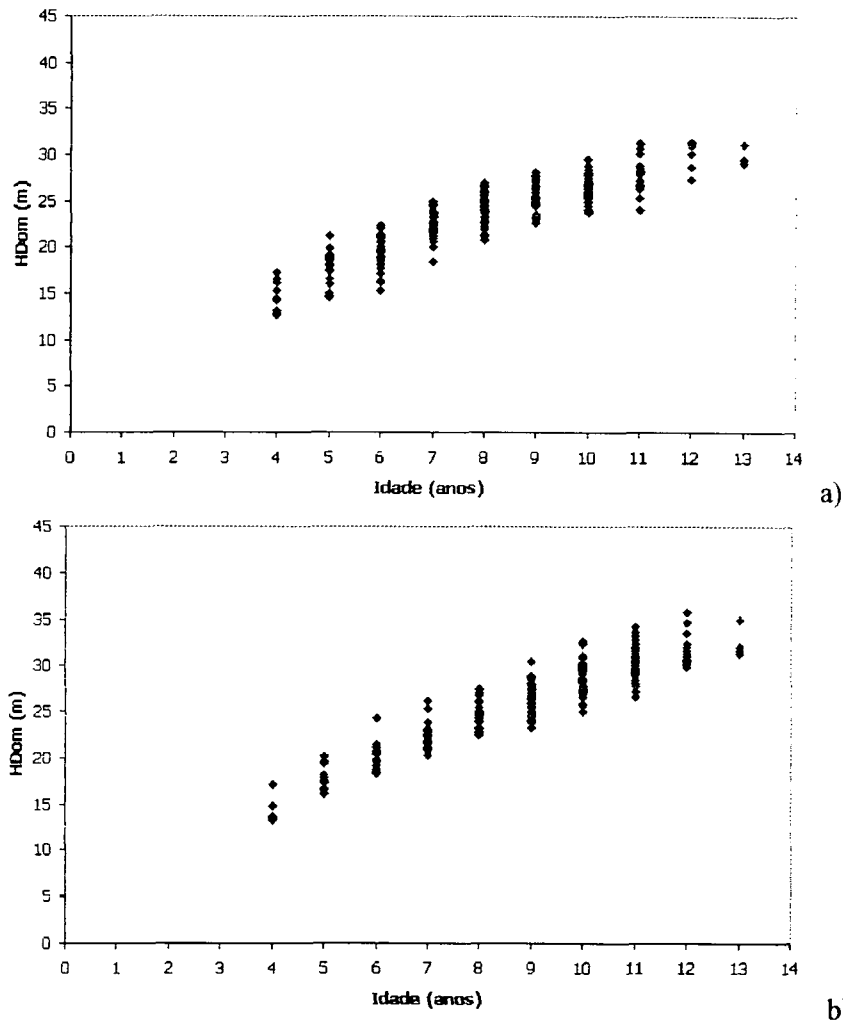


FIGURA 8 - DISPERSÃO DOS DADOS REQUERIDOS PARA AJUSTAR A FUNÇÃO DE ÍNDICE DE SÍTIO
a) HÍBRIDO I-488, b) HÍBRIDO I-63/51

Ao ajustar as funções de índice de sítio, comprovou-se que quatro funções não apresentaram alguns de seus coeficientes de regressão estatisticamente significativos, de modo que foram eliminadas gerando funções modificadas das originalmente propostas. O termo quadrático da função cinco não foi significativo, de modo que a função modificada cinco' coincidiu com a função quinze. Nas funções nove e dez somente a raiz da idade foi significativa, de modo que as funções modificadas nove' e dez' são idênticas. O termo cúbico da função treze não foi significativo, de modo que a função treze' coincidiu com a função doze.

Na Tabela 17 apresenta-se o resumo da avaliação das funções de índice de sítio e no apêndice (Tabela 30 p. 107), apresenta-se o detalhe desta avaliação.

TABELA 17 - AVALIAÇÃO DAS FUNÇÕES DE ÍNDICE DE SÍTIO

Função	Ranking I-488	Ranking I-63/51	Ranking Ponderado
1	9,5	8,0	9,0
2	6,0	4,5	6,0
3	12,0	12,0	12,0
4	8,0	7,0	8,0
5' -15	4,0	6,0	4,0
6	7,0	10,0	10,0
7	5,0	2,0	3,0
8	9,5	3,0	7,0
9' -10'	1,0	4,5	1,0
11	2,0	9,0	5,0
12-13'	3,0	1,0	2,0
14	11,0	11,0	11,0

Os ranking de algumas funções apresentam valores discordantes entre híbridos. As funções que tiveram um ranking ponderado até cinco foram incluídas no simulador SALICA.

A função modificada nove, que coincidiu com a modificação da função dez, apresentou o melhor desempenho no híbrido I-488. No híbrido I-63/51 a função doze, que coincidiu com a função treze modificada, foi a mais destacada. Na expressão [19] apresenta-se o ajuste para o híbrido I-488 e na expressão [20] apresenta-se o ajuste do híbrido I-63/51. Em ambos híbridos todas as estatísticas foram altamente significativas ($P < 0,01$).

$$H_{Dom} = b_0 + b_1 \sqrt{\text{idade}} \quad [19]$$

$$b_0 = -5,48841$$

$$b_1 = 10,38836$$

$$\text{Valor F} = 1116,96$$

$$R^2 \text{ ajustado} = 83,66$$

$$\text{Erro quadrático} = 1,843 \text{ m}$$

$$H_{Dom} = b_0 \exp \left(b_1 \frac{1}{\text{idade}} + b_2 \left(\frac{1}{\text{idade}} \right)^2 \right) \quad [20]$$

$$b_0 = 3,99702$$

$$b_1 = -7,31991$$

$$b_2 = 8,18003$$

$$\text{Valor F} = 438,24$$

$$R^2 \text{ ajustado} = 83,51$$

$$\text{Erro quadrático} = 1,920 \text{ m}$$

As funções de índice de sítio foram validadas com resultados satisfatórios (Tabela 18), de modo que as estimativas da altura dominante das parcelas são acuradas.

TABELA 18 - VALIDAÇÃO DAS FUNÇÕES DE ÍNDICE DE SÍTIO, TESTE DE KOLMOGOROV-SMIRNOV

Híbrido	"dn" HDom
I-488	0,1666 ^{ns}
I-63/51	0,1429 ^{ns}

Nota: ^{ns} = Diferenças não significativas ($P > 0,05$)

5.1.6 Funções de volume

Na Figura apresenta-se a distribuição do volume e a variável combinada (DAP h) de ambos híbridos. Observa-se similaridade entre os híbridos, com uma tendência ascendente sem evidência de anomalias na dispersão dos dados.

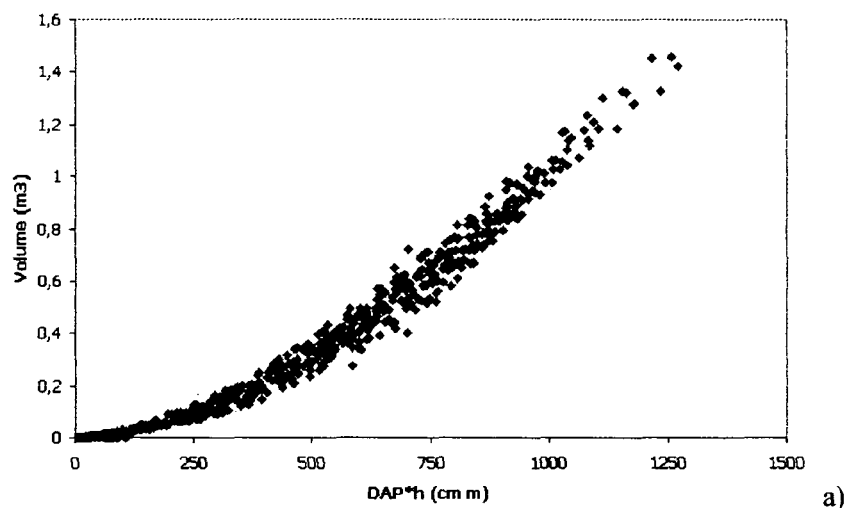


FIGURA 9 - DISPERSÃO DOS DADOS REQUERIDOS PARA AJUSTAR A FUNÇÃO DE VOLUME a) HÍBRIDO I-488

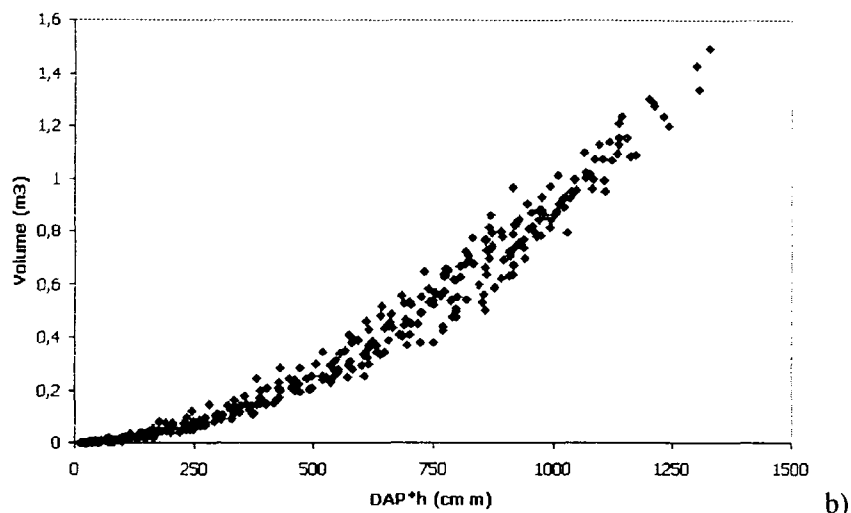


FIGURA 9 - DISPERSÃO DOS DADOS REQUERIDOS PARA AJUSTAR A FUNÇÃO DE VOLUME a) HÍBRIDO I-488, b) HÍBRIDO I-63/51

Ao ajustar as funções comprovou-se que o termo DAP e DAP h da função sete, o termo DAP da função nove, o termo altura da função doze e o termo DAP ao quadrado da função treze não foram significativos estatisticamente, gerando as funções modificadas sete', nove', doze' e treze', respectivamente. A função sete' coincidiu com a função doze'.

Na Tabela 19 apresenta-se um resumo da avaliação das funções de volume. O detalhe da avaliação é apresentado no apêndice (Tabela 31 p. 108).

TABELA 19 - AVALIAÇÃO DAS FUNÇÕES DE VOLUME

Função	Ranking I-488	Ranking I-63/51	Ranking Ponderado
1	9,0	7,0	9,0
2	13,0	12,0	13,0
3	11,0	11,0	11,0
4	10,0	9,0	10,0
5	12,0	13,0	12,0
6	14,0	14,0	14,0
7' - 12'	3,0	2,0	3,0
8	2,0	3,0	2,0
9'	6,0	6,0	6,0
10	1,0	1,0	1,0
11	5,0	4,0	5,0
13'	8,0	8,0	7,0
14	7,0	10,0	8,0
15	4,0	5,0	4,0

As funções de volume apresentaram, em geral, similar desempenho em ambos híbridos, ou seja, apresentaram mais ou menos o mesmo ranking (Tabela 19). Os primeiros cinco modelos do ranking ponderado foram incluídos no simulador SALICA.

Em ambos híbridos a função dez foi selecionada. Na expressão [21] apresenta-se o ajuste do híbrido I-488, enquanto na expressão [22] apresenta-se o ajuste do híbrido I-63/51. Em ambos híbridos todas as estatísticas foram altamente significativas ($P < 0,01$).

$$V = b_0 \text{DAP}^{b_1} h^{b_2} \quad [21]$$

$b_0 = 0,0000133$	$b_1 = 2,12833$	$b_2 = 1,12476$
Valor F = 64216,1	R^2 ajustado = 99,50	Erro quadrático = 0,041 m ³

$$V = b_0 \text{DAP}^{b_1} h^{b_2} \quad [22]$$

$b_0 = 0,0000054$	$b_1 = 2,24829$	$b_2 = 1,21337$
Valor F = 13671,7	R^2 ajustado = 98,64	Erro quadrático = 0,056 m ³

As validações da função sete no híbrido I-488 e da função dez no híbrido I-63/51 foram satisfatórias (Tabela 20), de modo que as funções estimam adequadamente o volume total das árvores.

TABELA 20 - VALIDAÇÃO DAS FUNÇÕES VOLUMÉTRICAS, TESTE DE KOLMOGOROV-SMIRNOV

Híbrido	"dn" Volume
I-488	0,1154 ^{ns}
I-63/51	0,1429 ^{ns}

Nota: ^{ns} = Diferenças não significativas ($P > 0,05$)

5.1.7 Implementação no simulador SALICA

O ajuste de funções foi incluído no simulador SALICA, para proporcionar uma alternativa de ajuste aos usuários que não dispõem de pacotes estatísticos comerciais. Aqueles usuários que tenham acesso a algum pacote estatístico, poderão

fazer os ajustes nesse pacote, e inserir os coeficientes no simulador SALICA para continuar com a simulação.

Na Figura 10 é apresentado o fluxograma do ajuste das funções. Em termos gerais usou-se a mesma seqüência de programação nas diversas funções. Se o usuário seleciona uma função de distribuição diamétrica a seqüência geral de programação sofre uma leve alteração em comparação com o restante das funções que têm uma seqüência homogênea.

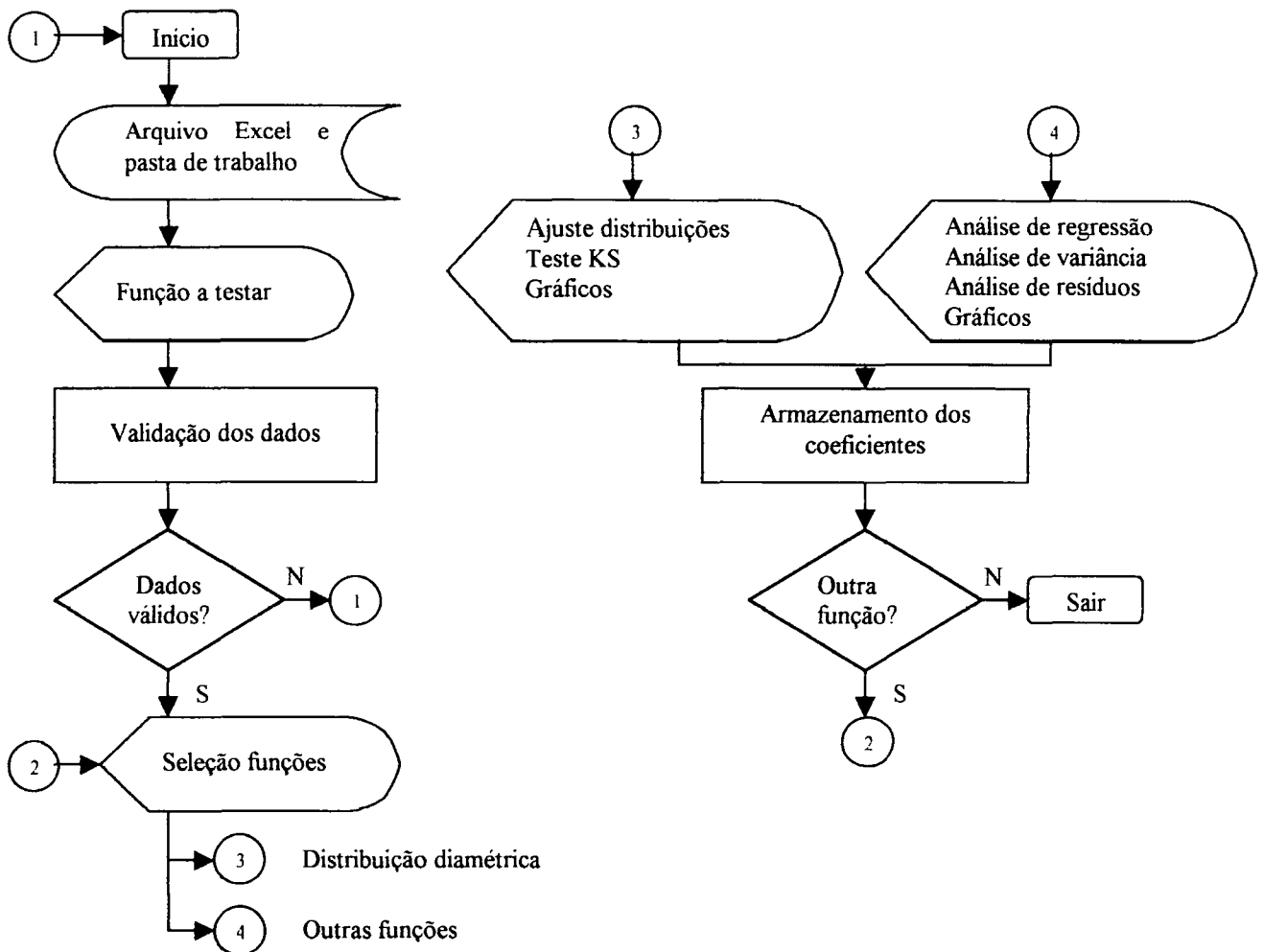


FIGURA 10 - FLUXOGRAMA DO MÓDULO DE AJUSTE DE FUNÇÕES

Em cada uma das funções a testar, o usuário poderá escolher cinco tipos de funções (Figura 11), com exceção no crescimento e produção, onde o usuário somente poderá ajustar aquelas preestabelecidas no simulador SALICA.

1)	$d = b_1 DAP^k + b_2 (h^2 - hr^2) (r-1,3)/r^2$	Amador e Elst (1989)
2)	$d_i = b_1 DAP^k + b_2 h (h-h_i)/(h-1,3) + b_3 (h-h_i)^{-1,3} (h+h_i+1,3)$	Bennet e Swindel (1972)
3)	$(d_i/DAP)^2 = b_1 (z-1) + b_2 (z^2-1)$	Kozak (1969)
4)	$d_i = b_1 DAP^2 b_3^{DAP} L_1^{(b_4 z^2 + b_5 \ln(z+0,001) + b_6 z^{1/2} + b_7 \exp(z) + b_8 DAP/h}$	Kozak (1988)
5)	$d_i/DAP = b_0 + b_1 z + b_2 z^2 + b_3 z^3 + b_4 z^4 + b_5 z^5$	Prodan (1965)
a)		
1) Beta		
2) Gamma		
3) Normal		
4) SB Johnson (otimização de Vallejos et al., 2003)		
5) Weibull 3P (otimização de Vallejos et al., 2003)		
b)		
1)	$h-1,3 = DAP^2 / (b_0 + b_1 DAP^2)$	Nashund
2)	$h-1,3 = DAP^2 / (b_0 + b_1 DAP)$	Prodan Mod.
3)	$h = b_0 DAP^{b_1}$	Stallies
4)	$h = b_0 + b_1 DAP$	Trorey Mod.
5)	$h = b_0 + b_1 \exp(-0,01 DAP)$	
c)		
1)	$HDom = b_0 idade^{b_1}$	Thomasius Mod.
2)	$HDom = b_0 + b_1 idade + b_2 idade^2$	
3)	$HDom = b_0 + b_1 idade^{(1/2)}$	
4)	$HDom = b_0 + b_1 idade + b_2 1/idade$	
5)	$HDom = b_0 \exp(b_1 1/idade + b_2 1/idade^2)$	
d)		
1)	$V = b_0 + b_1 DAP^2 + b_2 DAP^2 h$	Meyer Mod. e Goate
2)	$V = DAP^2 (b_0 + b_1 h)$	Ogaya
3)	$V = b_0 DAP^{b_1} h^{b_2}$	Schumacher Hall
4)	$V = b_0 + b_1 DAP^2 h$	Spurr
5)	$V = b_1 DAP^2 (h-1,3)$	
e)		

FIGURA 11 – FUNÇÕES DISPONÍVEIS NO SIMULADOR SALICA a) FUNÇÕES DE AFILAMENTO b) FUNÇÕES DE DISTRIBUIÇÃO DIAMÉTRICA c) FUNÇÕES HIPSOMÉTRICAS d) FUNÇÕES DE ÍNDICE DE SÍTIO e) FUNÇÕES DE VOLUME

Quando o usuário ajusta as distribuições diamétricas (Figura 11b), o simulador SALICA avalia a quantidade de árvores de cada parcela; se esta for superior a dez, ajusta-se os parâmetros da distribuição selecionada e faz-se o teste de aderência de Kolmogorov-Smirnov para duas amostras. Na medida que a probabilidade aumenta, as duas populações de dados (reais e estimados) têm maior semelhança entre si, de modo que o usuário pode testar as cinco funções, selecionando aquela que apresente maior probabilidade. Na Figura 12 apresenta-se um exemplo do ajuste da função Gamma.

Parâmetro	Valor	dh	Probabilidade
α	352,43967	0,169	0,615
β	0,065643		

FIGURA 12 - EXEMPLO DO RESULTADO DO AJUSTE DA FUNÇÃO GAMMA

Além do resultado numérico, o usuário pode observar graficamente o ajuste da respectiva distribuição (Figura 13). A representação gráfica relaciona a frequência relativa, real e observada, das classes diamétricas com uma amplitude de um centímetro.

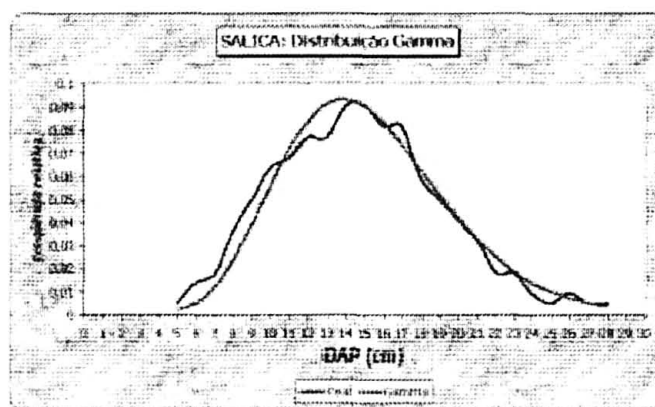


FIGURA 13 - EXEMPLO DO RESULTADO GRÁFICO DO AJUSTE DA FUNÇÃO GAMMA

As demais funções (afilamento, hipsométricas, índice de sítio e volume) têm uma seqüência de programação similar. É possível ajustar funções lineares e não lineares, com e sem intercepto e com diversos parâmetros a estimar. Na Figura 14 apresenta-se um exemplo do resultado da análise de regressão, da função número três de índice de sítio.

Parâmetro	Estimador	Erro padrão	Valor t	Probabilidade
b0	-5,47850	8,96330E-01	-6,112	0,00000
b1	10,33537	3,10924E-01	33,402	0,00000

Função de índice de sítio = 3, arquivo = Salica 488 C.xls, pasta = Parcelas

Salica Continuar Voltar Imprimir Sair

FIGURA 14 – TELA QUE APRESENTA O RESULTADO DA ANÁLISE DE REGRESSÃO DE UMA FUNÇÃO LINEAR

Ao pressionar o botão (C)ontinuar) da Figura 14 apresenta-se a tela da análise de variância, análise de regressão dos valores reais e estimados e da análise dos resíduos (Figura 15). Adicionou-se à informação habitualmente apresentada pela análise de variância o parâmetro “Erro quadrático”, que corresponde ao “Erro padrão da estimativa” quando a variável dependente não sofre transformações. Desta forma, a magnitude do erro quadrático sempre está associada à unidade de medida da variável dependente original, no entanto, a magnitude do erro padrão está associada à medida da variável dependente, seja esta original ou transformada.

A análise de regressão dos valores observados e estimados permite analisar a semelhança entre eles. Espera-se que a probabilidade supere o valor 0,05 para ambos coeficientes “b0” e “b1”. No primeiro caso a hipótese testada é $H_0: \beta_0 = 0$ e para o segundo caso é $H_1: \beta_1 = 1$.

Na análise de resíduos são apresentados o máximo e o mínimo resíduo (e_i) padrão, a percentagem de “ e_i ” acima de 2 e abaixo de -2 e a percentagem acima de 3 e abaixo de -3. Com esta informação o usuário conhecerá a variação e a magnitude dos resíduos. Também são apresentados três testes de hipóteses sobre os resíduos, avaliando sua normalidade, a média e a variância destes. O teste “Qui-Quadrado”

serve para testar a normalidade dos resíduos. O teste "t" é utilizado para comprovar se a média dos resíduos é zero. A homogeneidade de variância dos resíduos é testada com a prova de "Levene", recomendada por DRAPER e SMITH (1998).

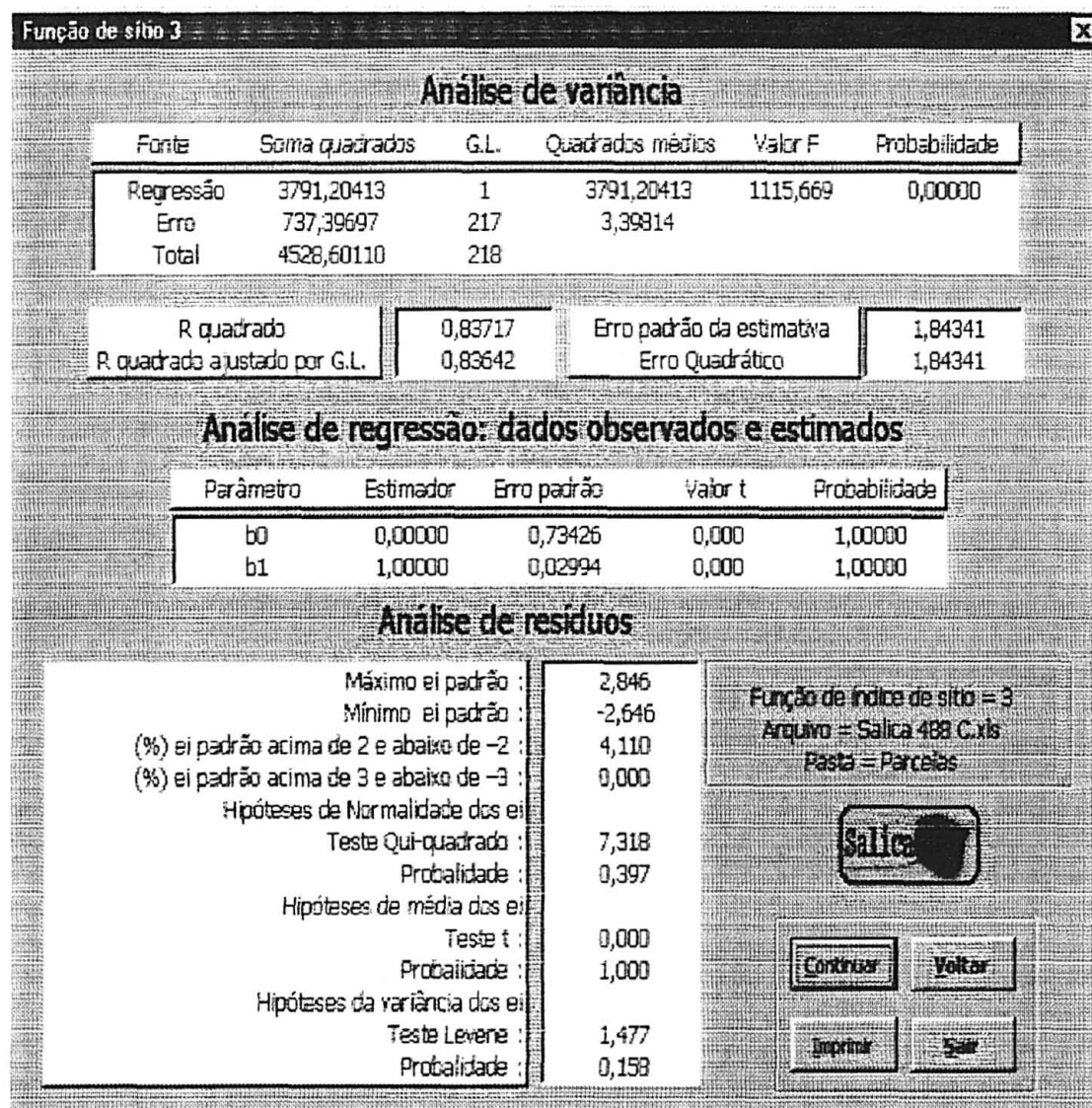


FIGURA 15 - TELA QUE APRESENTA A ANÁLISE DE VARIÂNCIA E A ANÁLISE DOS RESÍDUOS

Pressionando o botão (Continuar) da Figura 15 o usuário poderá observar graficamente os resultados do ajuste (Figura 16a) e os resíduos – padrão (Figura 16b).

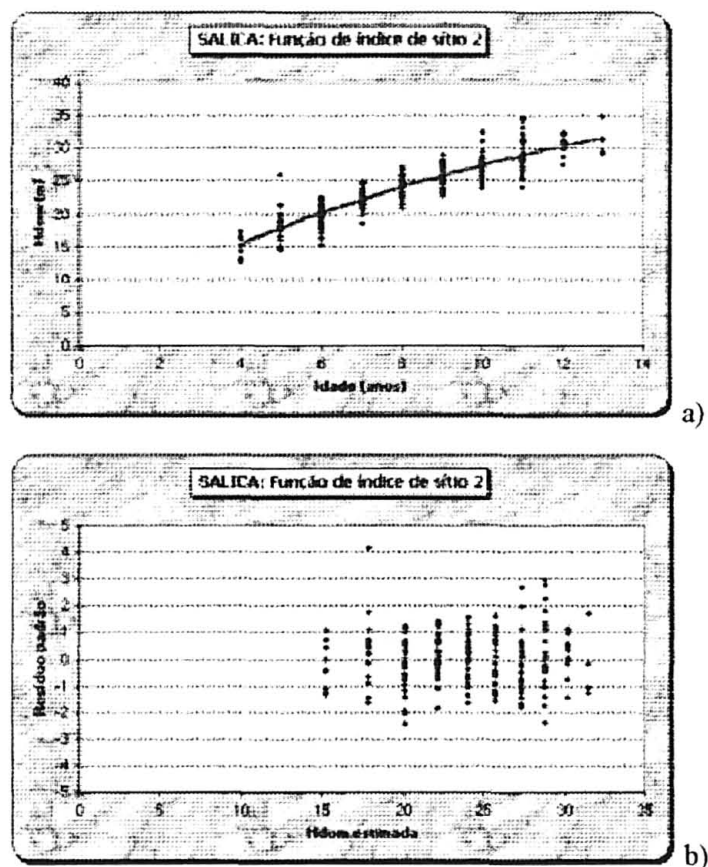


FIGURA 16 - REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DO AJUSTE a) ESTIMATIVA E b) RESÍDUOS – PADRÃO

Para o ajuste da função não linear de afilamento, desenvolveu-se um procedimento que minimiza o erro quadrático médio da função. Para isto, utilizou-se o aplicativo “Solver.xls” disponível no Microsoft Excel. A solução obtida pelo simulador SALICA é uma alternativa de resolução de funções não lineares. No entanto, o método de ajuste de Marquardt deveria ser preferido pelos usuários mais experientes.

5.2 AVALIAÇÃO ECONÔMICA – FINANCEIRA

Processou-se a informação aportada por LOEWE *et al.* (1997) para demonstração do módulo do simulador SALICA. O usuário não deverá considerar a

informação fornecida na Tabela 21 como referência para a tomada de decisões, devendo introduzir no sistema dados próprios de receitas e despesas.

TABELA 21 - AVALIAÇÃO ECONÔMICA – FINANCEIRA DOS REGIMES DE MANEJO EXPOSTOS POR LOEWE *et al.* (1997)

Regime	Indicadores				
	VPL (pesos/ha)	VUL (pesos/ha)	B/C	VET(pesos/ha)	TIR (%)
Po10 VI r	759.652,9	134.361,0	1,68	1.343.610,1	18,6
Po12 VII r	413.199,5	65.074,8	1,36	650.747,7	14,2
Po12 VII rcu	1.189.569,4	190.411,7	1,66	1.904.116,7	29,3
Po12 VII rga	155.711,2	23.505,9	1,07	235.059,7	11,2
Po12 VII rcuga	1.142.426,2	182.800,9	1,48	1.828.008,8	24,5
Po14 VIII r	128.807,9	17.601,1	1,11	176.917,1	11,2
Po16 IX sr	210.582,0	27.975,0	1,25	279.754,0	12,1
Po16 X sr	450.540,2	61.713,2	1,74	617.131,7	15,1

Todos os regimes apresentam indicadores satisfatórios, embora o esquema de manejo Po12 VII rcu tenha se mostrado mais rentável. Isto indica que a associação de *Populus* e cultivos agrícolas seria muito rentável. Neste caso, os proprietários recebem um retorno monetário imediato, que torna mais interessante este regime.

A estrutura de custos é idêntica nos esquemas Po10 VI r, Po12 VII r e Po14 VIII r, variando somente a idade de rotação (dez, doze e quatorze anos, respectivamente). Como poder-se-ia esperar, o esquema com menor idade apresentou melhores indicadores que seus concorrentes.

5.2.1 Implementação no simulador SALICA

Para descrever algum regime de manejo, o usuário deve preencher os dados solicitados na Figura 17, seguindo a descrição apresentada na Tabela 22.

TABELA 23 - DESCRIÇÃO DOS DADOS DE RECEITAS E CUSTOS DO REGIME

Variável	Tipo	Tamanho	Descrição
Nome atividade	T	16	Identifica o nome da atividade, de acordo ao área escolhida
Custo/hectare	N	6	Identifica o custo por hectare da atividade considerada
Nome produto	T	16	Identifica o nome do produto associado à atividade considerada
Quantidade/hectare	N	6	Identifica a quantidade do produto por hectare
Preço unitário	N	6	Identifica o preço por unidade de produto por hectare

T = Texto N = Numérico Simples

Ao ativar a tela de ingressos e custos aparece selecionada a área de produção florestal, onde o usuário deve introduzir as despesas (custo por hectare) e as receitas (quantidade por hectare por preço de produto) das atividades consideradas, que devem estar associadas ao ano em que ocorrerão. Se o regime de manejo incorpora atividades de produção da área agrícola ou pecuária, o usuário deve selecionar a área respectiva e proceder da mesma forma como para a área florestal.

FIGURA 18 - INSERÇÃO DE DESPESAS E RECEITAS DO REGIME DE MANEJO EM ANÁLISE

Uma vez que o usuário tenha inserido todas as despesas e receitas, é possível obter os resultados da avaliação econômica - financeira (Figura 19). O resultado detalha os dados básicos do regime, as despesas e receitas anuais (fluxo de caixa), os indicadores financeiros e a análise de sensibilidade do regime.

O usuário pode analisar a influência das variações da taxa de juros, dos custos, das quantidades e dos preços dos produtos do regime em análise. As variações puderam flutuar entre -50% e +50% a cada cinco por cento. Valores negativos indicam uma redução da magnitude da variável analisada, enquanto valores positivos indicam a situação inversa.

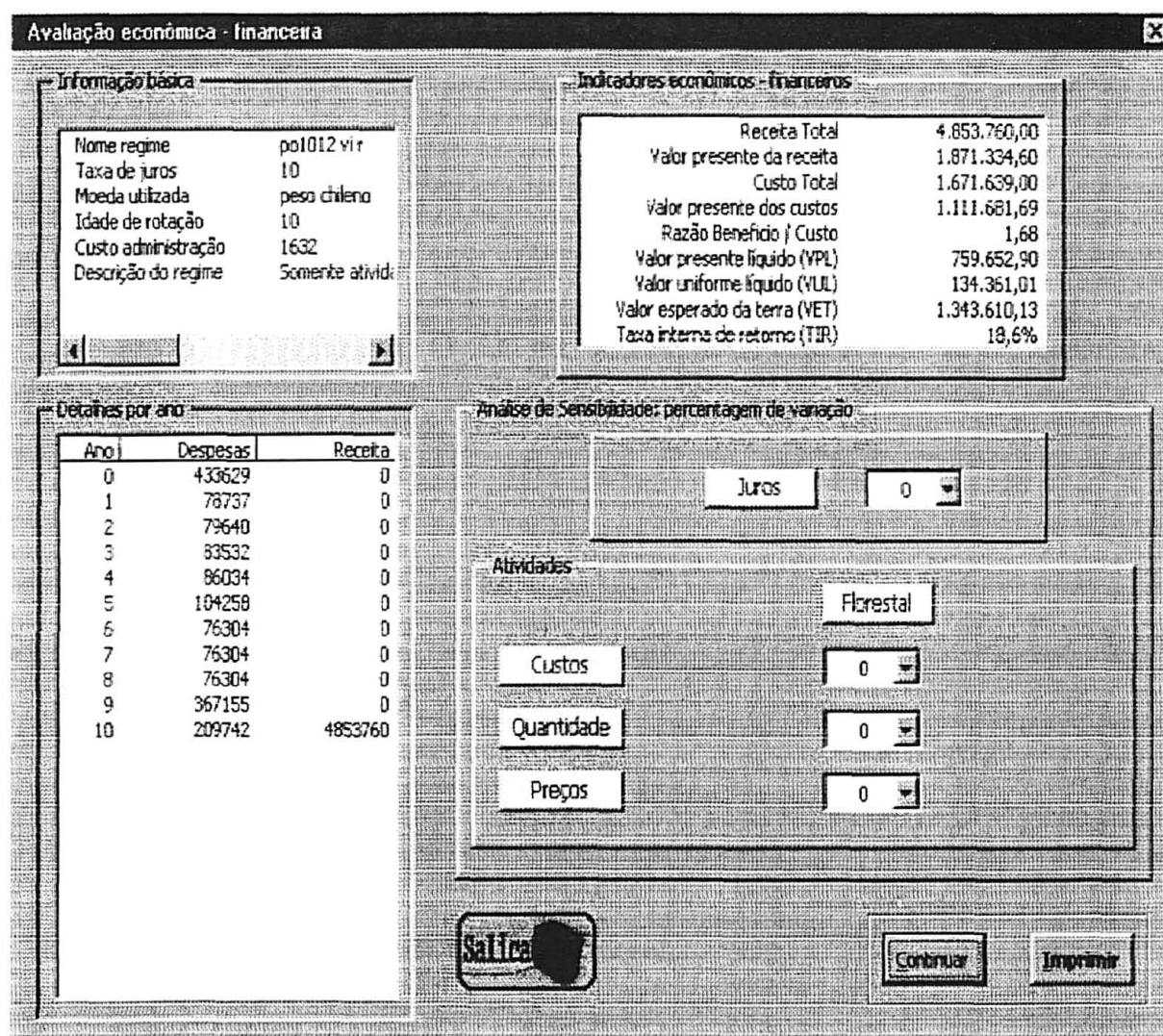


FIGURA 19 - RESULTADO DOS INDICADORES FINANCEIROS DO REGIME DE MANEJO E ANÁLISE DE SENSIBILIDADE

5.3 BANCO DE DADOS DAS PARCELAS

Desenvolveu-se um banco de dados relacional para as medições das parcelas, utilizando as ferramentas disponíveis para tal efeito no Microsoft Excel 2000. A dimensão da pasta Excel impõe limitações na quantidade de dados possíveis de processar, de modo que, o usuário terá que subdividir a informação quando os dados superarem essa dimensão (65535 filas).

5.3.1 Implementação no simulador SALICA

Neste banco de dados, o usuário disporá de sete opções de processamento (Figura 20). As cinco primeiras opções apresentam uma ordem seqüencial de execução, ou seja, é preciso descrever um Projeto, um Híbrido, um Talhão e uma parcela para inserir as medições correspondentes. Nas últimas duas alternativas bastará que os dados estejam disponíveis para que cada procedimento seja executado. A descrição de cada campo utilizado neste banco de dados, foi detalhada na Tabela 2 p. 29.

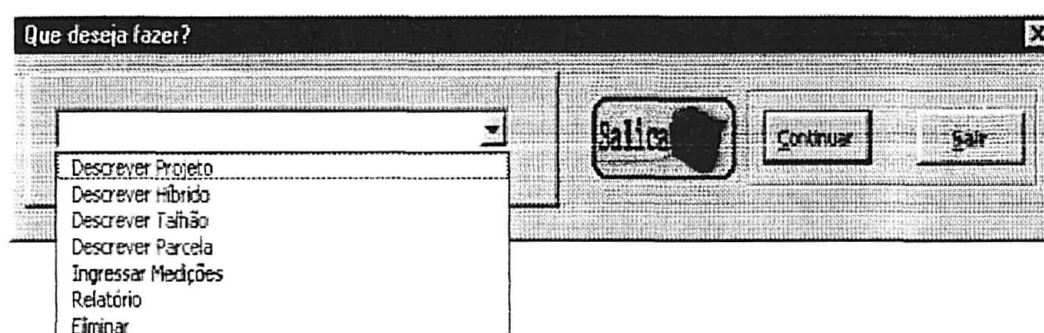
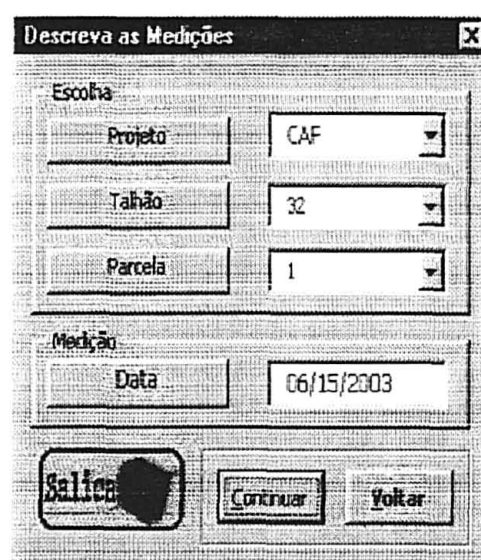


FIGURA 20 - TELA QUE APRESENTA AS OPÇÕES DE PROCESSAMENTO DA INFORMAÇÃO DAS PARCELAS

Para descrever os Projetos, o usuário deve indicar o código, a localização à área dos Projetos em análise. A descrição dos Híbridos somente requer a indicação de um código de identificação. Para a descrição dos Talhões, o usuário deve escolher o Projeto e o Híbrido respectivo e posteriormente inserir o nome, o número, a área e o

espaçamento do Talhão. Para descrever a parcela o usuário deve selecionar o Projeto e Talhão onde a parcela está localizada e posteriormente indicar o número da parcela, a quantidade de árvores originais e a data do plantio.

Para inserir as medições o usuário deve selecionar um Projeto, um Talhão e uma Parcela e informar a data de medição (Figura 21). No exemplo, a parcela número 1, teve uma medição em “15 de Junho de 2003”.



Descreva as Medições	
Escolha	
Projeto	CAF
Talhão	32
Parcela	1
Medição	
Data	06/15/2003
SALICA	Continuar Voltar

FIGURA 21 - TELA ONDE O USUÁRIO DESCREVE AS MEDIÇÕES

Ao pressionar o botão (C)ontinuar) da Figura 21, o simulador SALICA compara a data da medição com a data do plantio e com outras datas de medições, se estas existirem, para ter certeza da validade da data recentemente inserida. Se não existirem erros, a Figura 22 aparece na tela do computador e o usuário deve digitar o DAP e a altura das árvores da parcela em estudo.

The screenshot shows a software interface for entering parcel data. At the top, there are two input fields labeled 'Dap' and 'Altura'. Below them is a table with three columns: 'Árvore', 'Dap', and 'H'. The table contains 11 rows of data. To the right of the table are several buttons: 'Cancelar', 'Modificar', 'Validar', 'Voltar', and a 'Salva' button with a floppy disk icon.

Árvore	Dap	H
1	240	255
2	256	
3	260	
4	270	265
5	321	320
6	280	
7	295	
8	300	
9	301	
10	298	
11	256	

FIGURA 22 - TELA DE INSERÇÃO DAS RESPECTIVAS MEDIÇÕES

A opção “Relatório” apresentada na Figura 20, permite estruturar os dados da forma requerida pelo simulador SALICA, para seu normal funcionamento. Na Figura 23 é apresentada essa estrutura.

	1	2	3	4	5	6	7	8
1	Hibrido	projeto	talhão	idade	parcela	árvore	DAP	h
2								

FIGURA 23 – ORDEM DOS DADOS DO BANCO DE DADOS DAS PARCELAS

5.4 BANCO DE DADOS DA ANÁLISE DE TRONCO

Ao desenvolver uma análise de tronco é preciso estabelecer uma organização dos processos de medição, tanto em campo como em laboratório. Um banco de dados relacional, que incorpore rotinas de controle e validação dos dados, auxilia no controle destes processos.

O banco de dados da análise de tronco, inserido no simulador SALICA, é uma ferramenta útil para armazenar, analisar e processar dados provenientes da análise de tronco.

5.4.1 Implementação no simulador SALICA

O usuário disporá de seis opções de processamento da análise de tronco (Figura 24). As três primeiras opções apresentam uma ordem seqüencial de execução, ou seja, é preciso descrever a árvore para inserir suas medições e então processar a árvore. No caso das eliminações, basta que os dados estejam disponíveis para proceder a sua eliminação.

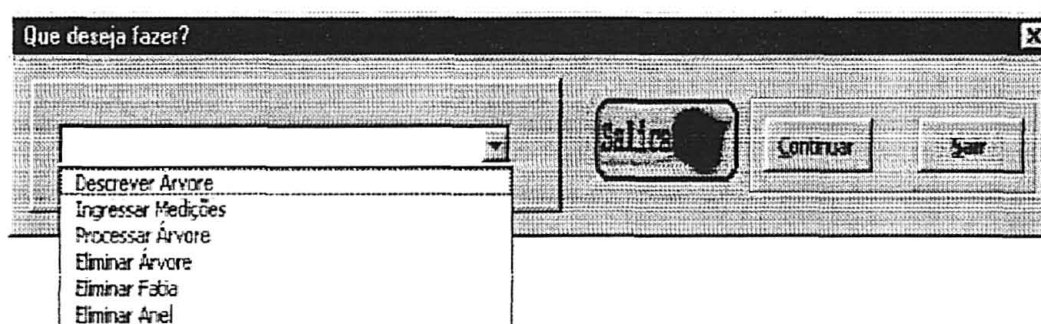


FIGURA 24 - TELA QUE APRESENTA AS OPÇÕES DE PROCESSAMENTO DA ANÁLISE DE TRONCO

Para descrever uma árvore é preciso preencher os campos da Figura 25, seguindo a descrição apresentada na Tabela 3 p. 31. No exemplo, o usuário descreve uma árvore do Projeto "CAF", talhão número "32", híbrido "I-488". O número da árvore é "1" com uma idade de "48" meses, com um DAP de "150" milímetros, uma altura de "154" decímetros. Nesta árvore foram extraídas "4" fatias e medido "1" raio em cada anel. O responsável pelas medições foi o funcionário "Oscar".

Descrição da árvore	
Geral	
Projeto	CAF
Nº Talhão	32
Híbrido	I-488
Árvore	
Número	1
Idade	48
Dap	150
H	154
Quantidade Fatias	4
Quantidade Raios	1
Responsável	Oscar
<input type="button" value="Salva"/> <input type="button" value="Ingressar"/> <input type="button" value="Voltar"/>	

FIGURA 25 - TELA QUE APRESENTA OS CAMPOS QUE DEVEM SER PREENCHIDOS PELO USUÁRIO PARA DESCREVER UMA ÁRVORE

Para inserir as medições da árvore (Figura 26) o usuário deve selecionar em cada campo previamente descrito (Projeto, Nº talhão, Nº árvore, Nº fatia e Nº do anel) a alternativa correspondente, e inserir a nova informação solicitada (hi e Raio n^oj) de acordo com a descrição apresentada na Tabela 3 p. 31. No exemplo, o usuário inseriu informação da árvore “1” do talhão “32” do Projeto “CAF”. A fatia número “1” foi extraída a “0” decímetros, no primeiro anel desta fatia o raio foi de “11” milímetros.

The image shows a software window titled "Ingressar medições". It contains the following fields and values:

Projeto	CAF
Nº Talhão	32
Nº da árvore	1
Nº da Fata	1
Hj	0
Nº do anel	1
Raio nº1	11

At the bottom of the window, there are three buttons: "Salica" (with a logo), "Ingressar", and "Voltar".

FIGURA 26 - TELA QUE APRESENTA OS CAMPOS QUE DEVEM SER PREENCHIDOS PELO USUÁRIO PARA INSERIR CADA MEDIÇÃO

Uma vez pressionado o botão (Ingressar) da Figura 26, o usuário poderá selecionar, de acordo com seu plano de trabalho, uma das seguintes alternativas: a) Inserir outro anel da mesma fatia, b) Inserir outra fatia, c) Inserir outra árvore e d) Voltar à tela principal da análise de tronco.

Cada vez que o usuário pressiona o botão (Ingressar) da Figura 26, o simulador SALICA verifica a abrangência dos dados e se estes são consistentes o registro é armazenado, de modo que o usuário não precisa inserir todos os dados de uma árvore ou fatia numa sessão de trabalho, tornando muito flexível a utilização deste banco de dados.

Para processar a árvore e desse modo obter o relatório, deve-se especificar o Projeto, Número de talhão e Número da árvore em análise. Se faltaram dados ou estes foram incorretos o usuário recebe uma mensagem de erro informando as possíveis causas deste, para sua posterior correção. Quando as informações estiverem

completadas e corretas o relatório será gerado. Em primeiro lugar aparece uma tela com os dados de cada fatia (Figura 27), posteriormente a representação gráfica destes dados (Figura 28) e afinal o relatório propriamente dito (Figura 29).

Fatia	Ht	Ano 1	Ano 2	Ano 3	Ano 4	Ano 5
1	0	11	34	48	57	89
2	13	10	28	40	52	75
3	75		17	28	46	56
4	113			10	22	29

FIGURA 27 - TELA COM OS DADOS DE CADA FATIA

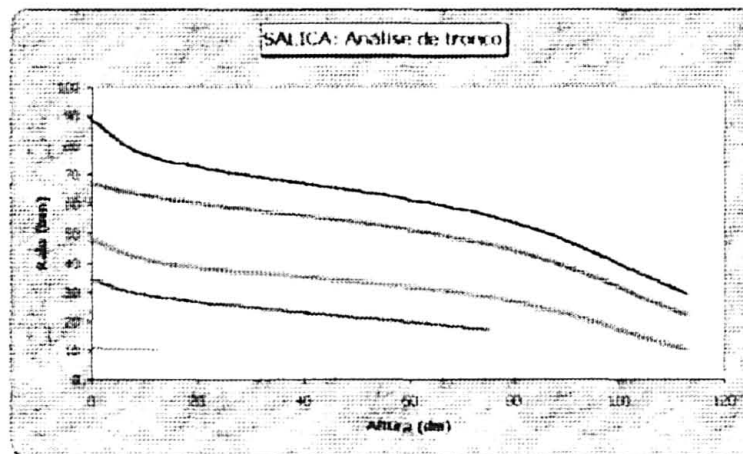


FIGURA 28 - REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DOS DADOS DE CADA FATIA

A Figura 28 apresenta as curvas truncadas de modo que o usuário poderá pensar que o SALICA não fornece as estimativas das alturas da árvore para cada ano de crescimento. No entanto, SALICA calcula essas alturas (Figura 29) e estas não aparecem na Figura 28 por limitações gráficas de Excel.

Número	Projeto	Tamanho	Idade	Árvore	DAP	di	hi	h1	voli
I-438	CAF	32	12	1	20	22	69	0	0
I-438	CAF	32	12	1	20	20	69	13	4513
I-438	CAF	32	12	1	20	0	69	69	3796
I-438	CAF	32	24	1	56	65	111	0	0
I-438	CAF	32	24	1	56	55	111	13	39615
I-438	CAF	32	24	1	56	34	111	75	104499
I-438	CAF	32	24	1	56	0	111	111	16343
I-438	CAF	32	36	1	80	96	127	0	0
I-438	CAF	32	36	1	80	80	127	13	79721
I-438	CAF	32	36	1	80	55	127	75	232176
I-438	CAF	32	36	1	80	20	127	113	52766
I-438	CAF	32	36	1	80	0	127	127	2199
I-438	CAF	32	48	1	124	134	144	0	0
I-438	CAF	32	48	1	124	124	144	13	170163
I-438	CAF	32	48	1	124	92	144	75	530441
I-438	CAF	32	48	1	124	44	144	113	155195
I-438	CAF	32	48	1	124	0	144	144	23568
I-438	CAF	32	60	1	150	175	154	0	0
I-438	CAF	32	60	1	150	150	154	13	276614
I-438	CAF	32	60	1	150	112	154	75	853228
I-438	CAF	32	60	1	150	53	154	113	237388

FIGURA 29 - TELA QUE APRESENTA O RELATÓRIO GERADO PARA A ÁRVORE EM ANÁLISE

O relatório apresenta informação, ano a ano, da árvore em análise. A informação proporcionada descreve a árvore em função de alguns dos campos preenchidos na Figura 25 e Figura 26 e novos campos descritos a seguir:

di = diâmetro da árvore em milímetros a uma altura “i” ;

voli = volume de cada seção “i” de medição em $1E-7 \text{ m}^3$.

Em alguns casos a idade preenchida na Figura 25 não coincide com a apresentada na Figura 29. Este fato deve-se a que, em geral, o usuário conhece a idade desde o plantio, que pode não coincidir com a idade biológica da árvore, pelo tempo que as mudas ficam no viveiro.

5.5 ESTIMATIVAS

As estimativas das funções ajustadas na seção 5.1 permitem a quantificação física do recurso florestal, em nível de povoamento ou em nível de classe diamétrica. Mediante esta quantificação é possível definir o potencial produtivo da propriedade, que será útil no processo de tomada de decisões. A informação gerada serve para avaliar o desenvolvimento dos diversos híbridos e assim, seleccionar aqueles de melhor desempenho.

5.5.1 Implementação no simulador SALICA

Na Figura 30 é apresentado o fluxograma de programação das estimativas. Se foi utilizado o simulador SALICA para o ajuste das funções, os seus coeficientes são gravadas numa pasta de Excel e as estimativas são obtidas de imediato. Caso contrário, o usuário deve inserir os coeficientes correspondentes.

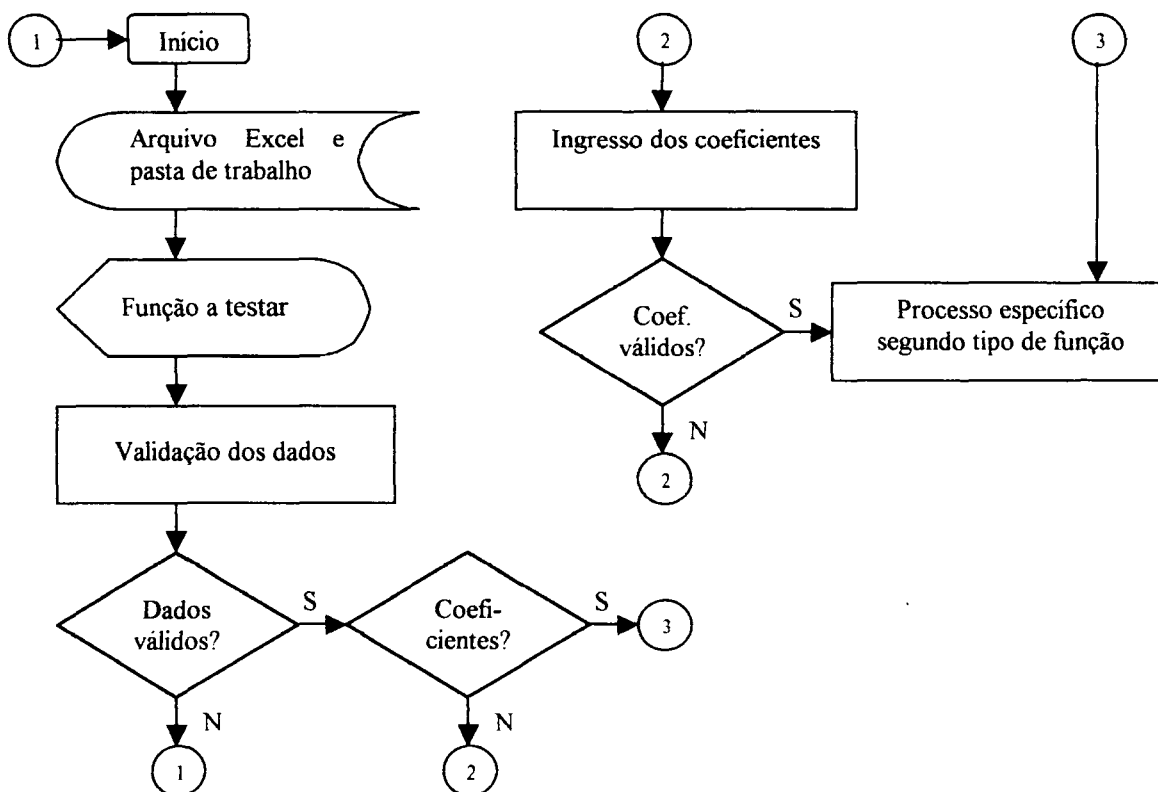


FIGURA 30 - FLUXOGRAMA DAS ESTIMATIVAS

Cada tipo de estimativa possui uma seqüência de programação específica, que serão descritas a seguir.

5.5.1.1 Cálculo do sortimento do povoamento

Para o cálculo de sortimento do povoamento o usuário deve indicar com qual função de afilamento (Figura 11a) e função hipsométrica (Figura 11c) deseja trabalhar. O usuário poderá definir, no máximo, quatro produtos por árvore (Figura 31). Os produtos devem seguir uma ordem seqüencial de importância, ou seja, o primeiro produto é o mais nobre e o último produto é o menos nobre. O usuário deve indicar a altura do toco e a espessura de corte, ambas em milímetros.

A interface 'Informação do sortimento' apresenta os seguintes campos e tabelas:

Corte

H toco	300	Espessura	10
--------	-----	-----------	----

Sortimento

Quantidade de produtos: C 1, C 2, C 3, C 4

Especificações

Produtos	Diâmetro menor	Comprimento
laminação	350	320
serraria	160	320
Polpa	100	244
lenha	50	244

Botões: Salvo, Continuar, Sair

FIGURA 31 - TELA QUE APRESENTA AS ESPECIFICAÇÕES DOS PRODUTOS REQUERIDOS PELOS USUÁRIOS

No exemplo da Figura 31, a madeira para laminação corresponde às toras com diâmetros superiores ou iguais a “350” mm na ponta fina, e um comprimento de “320” mm. Toras com diâmetros na ponta fina entre “160” mm e 349 mm e um

comprimento de “320” mm são madeira de serraria. As toras destinadas a polpa têm os diâmetros na ponta fina entre “100” mm e 159 mm, com um comprimento de “244” mm. Toras com diâmetros na ponta fina entre “50” e 99 mm e um comprimento de “244” mm são consideradas lenha.

O resultado do sortimento do povoamento é apresentado na Figura 32a e Figura 32b, ordenado por Híbrido, Projeto, Talhão e Idade em anos.

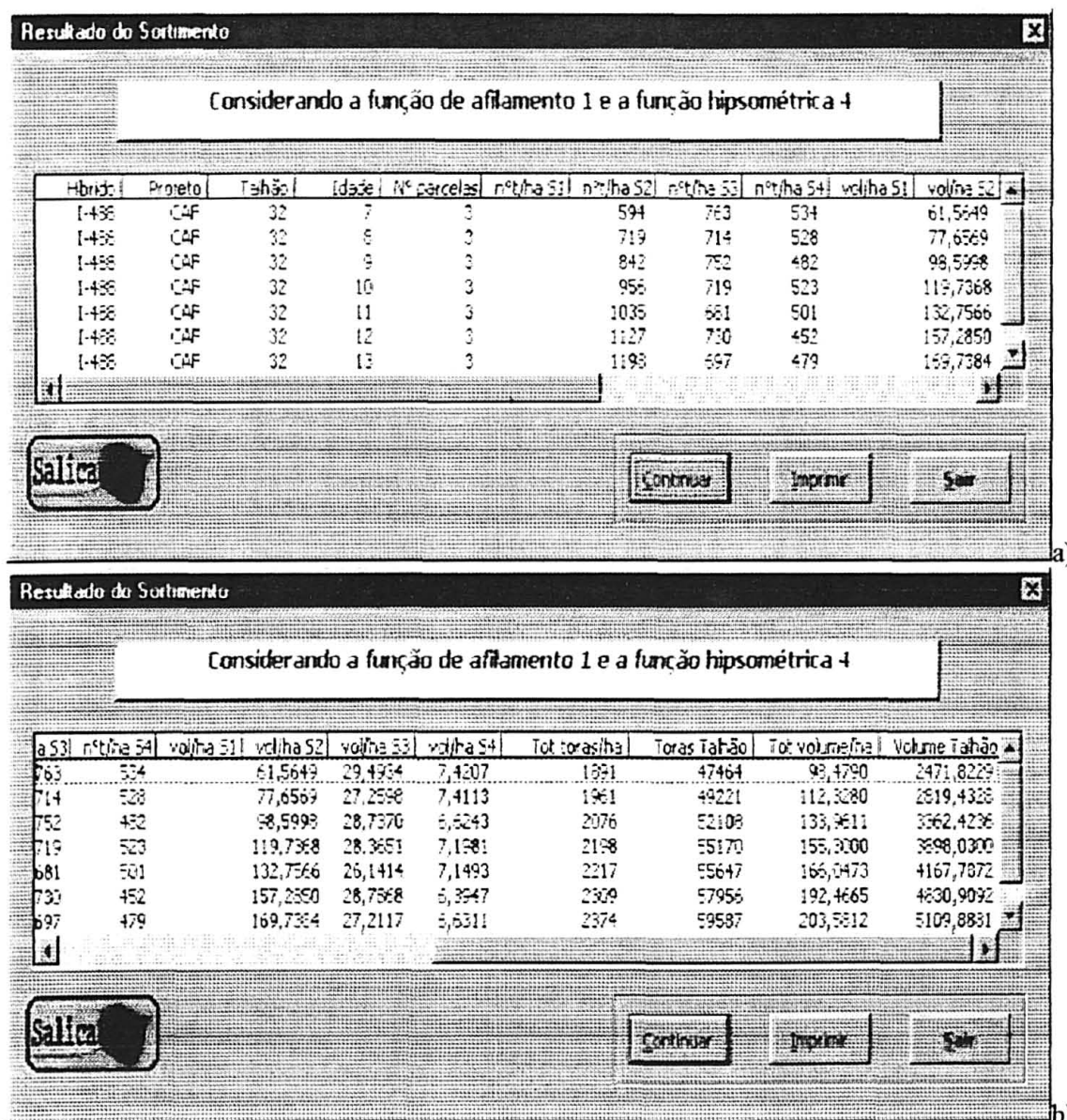


FIGURA 32 - TELA QUE APRESENTA O RESULTADO DO SORTIMENTO DO POVOAMENTO a) CANTO SUPERIOR ESQUERDO DA TELA b) CANTO SUPERIOR DIREITO DA TELA

5.5.1.2 Prognose de crescimento e produção

Para ajustar as funções de crescimento e produção deve-se inserir os dados solicitados na Figura 33. As funções de índice de sítio, hipsométricas e volumétricas serão seleccionadas da lista disponível em cada caso (Figura 11 d, c, e, respectivamente). O número de classes refere-se ao número de classes de índice de sítio, podendo-se seleccionar três ou cinco classes.

A amplitude de classes está definida em termos percentuais com uma dimensão similar entre as classes, de modo que ao se seleccionar três classes de sítio a amplitude de cada uma delas é de 33%, enquanto que seleccionando-se cinco classes, cada classe apresenta 20% da informação. O usuário não pode alterar estes percentuais, que foram definidas para que todas as classes fossem representadas pela mesma quantidade de dados.

The screenshot shows a dialog box with the following content:

Ajuste de funções de crescimento e produção	
Selecione:	
Função índice de sítio	3) fdom = b0 + b1 idade^(1/2)
Número de classes	3
Função Hipsométrica	3) h = b0 Dap^b1
Função Volumétrica	3) v = b0 Dap^b1 h^b2
<input type="button" value="Salta"/> <input type="button" value="Continuar"/> <input type="button" value="Sair"/>	

FIGURA 33 - INFORMAÇÃO REQUERIDA PARA AJUSTAR AS FUNÇÕES DE CRESCIMENTO E PRODUÇÃO

Uma vez inserida a informação da Figura 33, deve ser fornecida a informação da Figura 34 a,b onde o usuário deve indicar se a prognose estará baseada numa medição de parcela ou numa estimativa de um índice de sítio qualquer. Se os

dados provém de uma medição de parcela o usuário deve indicar a idade e a altura dominante da parcela, bem como especificar o índice de sítio requerido.

O usuário poderá realizar uma prognose para um ano específico, bem como selecionar da lista respectiva a alternativa “todas” e o simulador SALICA fornecerá a estimativa de todas as idades registradas no banco de dados de parcelas do arquivo em USO.

Figure 34 displays two screenshots of the SALICA software interface, showing the required information for forecasting growth and production. The interface is titled "Informação requerida para a prognose" and includes a "SALICA" logo and buttons for "Continuar", "Voltar", and "Sair".

a) Medição de Parcela:

Indique	Valor
Prognose	Por medição de parcela
Árvores / hectare	312,5
Superfície	25,1
Idade Prognose	todas
Idade medição	11
HDom medição	29,0

b) Índice de Sítio:

Indique	Valor
Prognose	Por índice de sítio
Árvores / hectare	312,5
Superfície	25,1
Idade Prognose	todas
Índice de sítio	29

FIGURA 34 - INFORMAÇÃO REQUERIDA PARA A PROGNÓSE DE CRESCIMENTO E PRODUÇÃO a) MEDIÇÃO DE PARCELA b) ÍNDICE DE SÍTIO

O resultado da prognose de crescimento e produção em nível de povoamento é apresentado na Figura 35, detalhando-se o diâmetro médio (cm), a área basal por hectare (m^2/ha), o volume por hectare (m^3/ha) e seus respectivos incrementos médios anuais, além da altura dominante (m) e a idade selecionada da prognose.

Idade	D médio	HDom	G/ha	V/ha	V total	IMA Dprom	IMA G/ha	IMA V/ha
5	20,7	17,8	10,54	70,8019	1777,1275	4,14	2,11	14,15
6	22,6	20,0	12,53	95,4720	2396,3473	3,76	2,09	15,91
7	24,3	22,0	14,51	122,5069	3074,9227	3,47	2,07	17,50
8	25,9	23,9	16,48	151,7284	3808,3826	3,23	2,05	18,97
9	27,4	25,7	18,45	182,9935	4593,1368	3,04	2,05	20,33
10	28,8	27,4	20,41	216,1841	5426,2200	2,88	2,04	21,52
11	30,2	29,0	22,37	251,2064	6305,1290	2,74	2,03	22,84
12	31,4	30,5	24,33	287,9567	7227,7134	2,62	2,03	24,00
13	32,7	32,0	26,28	326,3785	8192,1002	2,51	2,02	25,11

FIGURA 35 - RESULTADO DA PROGNOSE DE CRESCIMENTO E PRODUÇÃO

5.5.1.3 Cálculo da tabela de povoamento

É possível gerar a tabela de povoamento de cada parcela armazenada no simulador SALICA. O usuário deve especificar a amplitude da classe diamétrica e a distribuição que deseja avaliar. Na Figura 36 apresenta-se um exemplo, utilizando uma amplitude de classe de um centímetro e avaliando a distribuição Weibull 3P.

Tabela de povoamento

Distribuição Weibull, parcela 1

Dap (cm)	árv./ha real	árv./ha estimado
20	16,3	4,6
21	16,3	14,0
22	49,0	43,7
23	81,7	94,4
24	98,0	92,4
25	16,3	17,9
Total	277,6	267,0

Salta Continuar Sair

FIGURA 36 - TELA QUE APRESENTA A TABELA DE POVOAMENTO

A representação gráfica da tabela de povoamento é apresentada na Figura 37. Com a informação gráfica e tabelar o usuário poderá julgar o ajuste das respectivas distribuições.

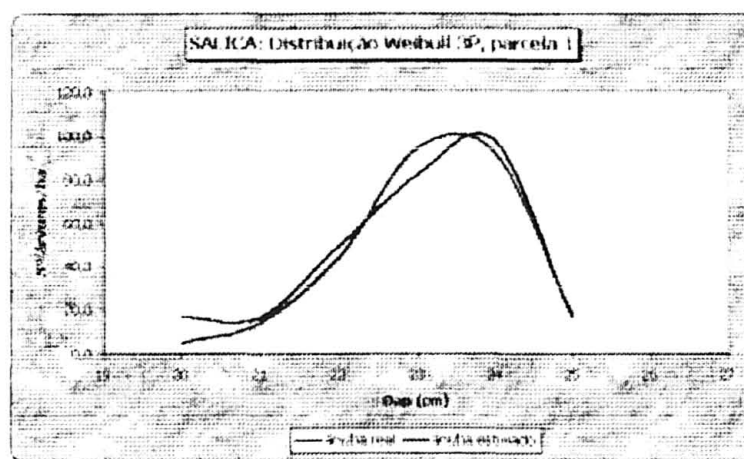


FIGURA 37 - REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DA TABELA DE POVOAMENTO

5.5.1.4 Classificação dos sítios

A estimativa das funções de índice de sítio permitem classificar os sítios de acordo com critérios próprios, considerando a idade de referência, a quantidade de classes e a amplitude destas. Na Figura 38 apresenta-se um exemplo de classificação de sítios, considerando uma idade de referência de dez anos, cinco classes de sítio e uma amplitude constante entre as classes.

O usuário pode escolher entre três ou cinco classes de sítio e a amplitude destas pode ser constante ou variável em relação aos desvios e percentis do índice de sítio.

A imagem mostra uma janela de software intitulada "Classes de sítio". No topo, há uma barra de título com o nome da janela e um ícone de fechamento. O conteúdo da janela é dividido em seções. A primeira seção, rotulada "Idade", contém o campo "De referência" com o valor "10" selecionado. A segunda seção, rotulada "Classes", contém dois campos: "Quantidade" com o valor "5" e "Amplitude" com o valor "Constante". Na base da janela, há um botão "Salir" com um ícone de uma mão apontando para fora, e três botões de ação: "Continuar", "Voltar" e "Sair".

FIGURA 38 - TELA QUE APRESENTA AS OPÇÕES QUE O USUÁRIO PODE ESCOLHER PARA DEFINIR AS CLASSES DE SÍTIO

Uma vez definidas as amplitudes das classes SALICA apresenta os limites de cada classe de sítio (Figura 39) e sua respectiva representação gráfica (Figura 40), podendo-se classificar cada parcela nas correspondentes classes diamétricas.

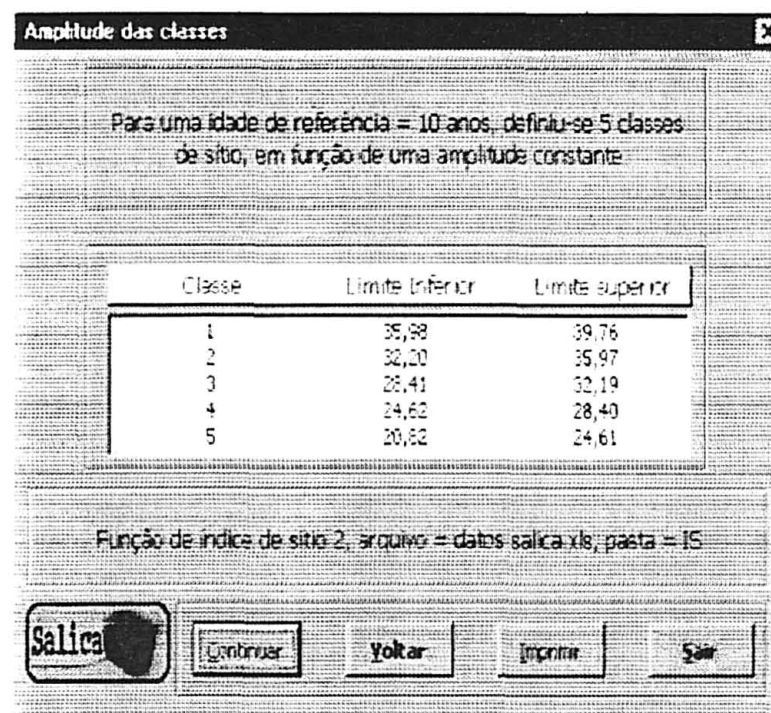


FIGURA 39 - TELA QUE APRESENTA OS RESULTADOS DAS RESPECTIVAS CLASSES DE SÍTIO

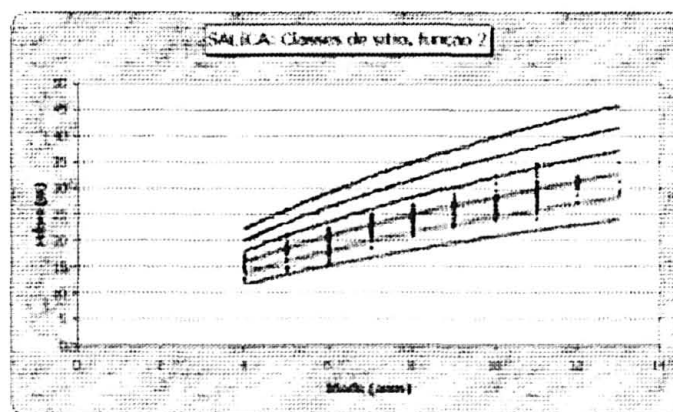


FIGURA 40 - TELA QUE REPRESENTA GRAFICAMENTE AS CLASSES DE SÍTIO

5.5.1.5 Cálculo de volume total do povoamento

O usuário deve especificar com que função de volume (Figura 11e) e função hipsométrica (Figura 11c) deseja trabalhar. A estimativa do volume das árvores do povoamento é apresentada na Figura 41, podendo-se observar que estes valores são levemente superiores aos obtidos no cálculo do sortimento (Figura 32 p. 81), que decorre da própria natureza dos volumes, um total e o outro comercial.

Resultado do volume

Considerando a função de volume 1 e a função hipsométrica 4

Hbrnd:	Projeto:	Tafão:	Idade:	Nº parcelas:	Tot volume/ha:	Volume Talhão:
[-488	CAF	32	7	3	104,3529	2619,2578
[-488	CAF	32	8	3	118,8160	2977,2616
[-488	CAF	32	9	3	140,5408	3527,5741
[-488	CAF	32	10	3	161,3301	4049,3855
[-488	CAF	32	11	3	171,9036	4314,7804
[-488	CAF	32	12	3	195,8753	4941,5700
[-488	CAF	32	13	3	207,2789	5202,7004

Salica

Continuar Imprimir Sair

FIGURA 41 - TELA QUE APRESENTA A ESTIMATIVA VOLUMÉTRICA DO POVOAMENTO

5.6 SIMULAÇÃO

Para simular o crescimento e a produção ao nível de classe diamétrica foram adicionadas às estimativas em nível de povoamento (Tabela 10 p. 65), funções que estimassem o diâmetro mínimo (D_{min}) e diâmetro máximo (D_{max}), com o objetivo de definir os limites da prognose.

Na Tabela 24 observa-se a significativa correlação entre o diâmetro médio e os outros dois diâmetros antes indicados. Por isso, foram desenvolvidas funções para sua estimativa.

Outra variável requerida para a estimativa ao nível de classe diamétrica, considerando o método dos momentos, é a variância dos diâmetros (D_{var}), que não apresenta uma correlação estatisticamente significativa com as variáveis individuais do povoamento. Deste modo utilizou-se uma variável composta para sua estimativa (diâmetro quadrático menos o diâmetro médio, ambos ao quadrado) segundo a recomendação de SCOLFORO (1998).

TABELA 24 - CORRELAÇÃO LINEAR ENTRE DIÂMETROS SEGUNDO CLASSE DE SÍTIO E HÍBRIDO

	Classe de sítio 1, Híbrido I-488			Classe de sítio 1, Híbrido I-63/51		
	Dmin	Dmédio	Dmax	Dmin	Dmédio	Dmax
Dmin	1,000			1,000		
Dmédio	0,908	1,000		0,960	1,000	
Dmax	0,864	0,974	1,000	0,927	0,987	1,000
	Classe de sítio 2, Híbrido I-488			Classe de sítio 2, Híbrido I-63/51		
	Dmin	Dmédio	Dmax	Dmin	Dmédio	Dmax
Dmin	1,000			1,000		
Dmédio	0,903	1,000		0,886	1,000	
Dmax	0,858	0,976	1,000	0,809	0,974	1,000
	Classe de sítio 3, Híbrido I-488			Classe de sítio 3, Híbrido I-63/51		
	Dmin	Dmédio	Dmax	Dmin	Dmédio	Dmax
Dmin	1,000			1,000		
Dmédio	0,958	1,000		0,962	1,000	
Dmax	0,938	0,976	1,000	0,910	0,970	1,000

Na Tabela 25 apresenta-se as funções ajustadas para cada híbrido, onde, em cada caso, as estatísticas foram altamente significativas ($P < 0,01$).

TABELA 25 - FUNÇÕES AJUSTADAS PARA PROGNÓSE POR CLASSE DIAMÉTRICA

Híbrido	Função	F	R ²	
			ajustado	Erro padrão
I-488	Dmin = $-2,8424 + 0,99571 D_{médio I_1} + 0,9943 D_{médio I_2} + 0,99729 D_{médio I_3}$	466,5	86,5	1,59 cm
	Dmax = $1,9946 + 1,02131 D_{médio I_1} + 1,0165 D_{médio I_2} + 1,0228 D_{médio I_3}$	1,4E3	95,1	0,93 cm
	Dvar = $-0,014367 + 1,07515 D_3 I_1 + 1,07394 D_3 I_2 + 1,07769 D_3 I_3$	1,9E5	99,9	0,03
I-63/51	Dmin = $-2,1435 + 0,99605 D_{médio I_1} + 0,9597 D_{médio I_2} + 0,97708 D_{médio I_3}$	394,7	87,5	1,44 cm
	Dmax = $0,1550 + 1,05703 D_{médio I_1} + 1,07613 D_{médio I_2} + 1,0864 D_{médio I_3}$	1,2E3	95,6	0,87 cm
	Dvar = $0,0685252 + 1,01627 D_3 I_1 + 1,05431 D_3 I_2 + 1,04808 D_3 I_3$	2,9E3	98,1	0,25

I_1 = Classe sítio 1 (1 ou 0) I_2 = Classe sítio 2 (1 ou 0) I_3 = Classe sítio 3 (1 ou 0)
 $D_3 = (D_g^2 - D_{médio}^2)$

A validação destas funções, utilizando a amostra de validação, é apresentada na Tabela 26, onde pode-se constatar que as estimativas são acuradas.

TABELA 26 - VALIDAÇÃO DAS FUNÇÕES DE PROGNÓSE POR CLASSE DIAMÉTRICA, TESTE DE KOLMOGOROV-SMIRNOV

Variável	"dn" híbrido I-488	"dn" híbrido I-63/51
Diâmetro mínimo (Dmin)	0,1667 ^{ns}	0,2381 ^{ns}
Diâmetro máximo (Dmax)	0,2500 ^{ns}	0,2857 ^{ns}
Variância dos diâmetros (Dvar)	0,4000 ^{ns}	0,2381 ^{ns}

Nota: ^{ns} = Diferenças não significativas ($P > 0,05$)

Embora todas as funções envolvidas na simulação tenham sido acuradas, a estimativa por classe diamétrica apresentou valores inferiores aos obtidos na estimativa em nível de povoamento.

As causas deste fato estão no próprio agrupamento das árvores em classes e pela utilização das distribuições diamétricas com imposição de limites de prognose. MACHADO e FIGUEIREDO FILHO (2003) indicam que, em classes com menos de cinco centímetros, os erros de agrupamento são desprezíveis, apesar de existirem. Por sua vez, das distribuições avaliadas a distribuição Beta é a única que distribui a totalidade das árvores nos limites de prognose. Deste modo, implementou-se a otimização das distribuições minimizando as diferenças entre as estimativas ao nível de povoamento e as de classe diamétrica.

5.6.1 Implementação no simulador SALICA

Este módulo combina a informação obtida nos módulos anteriores e gera a prognose de crescimento e produção por classe diamétrica. Na Figura 42 apresenta-se a informação que deve ser fornecida pelo usuário para dar início ao processo de simulação.

The 'Simulação' window contains the following fields and options:

Selecione	
Função Índice de sítio	3) $f_{dom} = b_0 + b_1 \text{idade}^{(1/2)}$
Numero de classes	3
Função Hipsométrica	3) $h = b_0 D_{ap}^b$
Função Volumétrica	3) $V = b_0 D_{ap}^b h^b$
Distribuição diamétrica	3) Normal

Buttons: Salir, Continuar, Sair

FIGURA 42 - TELA QUE APRESENTA A INFORMAÇÃO BÁSICA REQUERIDA PARA A SIMULAÇÃO

Em seguida o usuário deverá indicar se a simulação se baseará numa medição de parcela ou num índice de sítio predefinido, como no caso da estimativa da prognose (Figura 34 p. 83). Posteriormente, solicita-se uma informação adicional (Figura 43) a fim de estruturar o processo de simulação.

The 'Informação requerida para a Simulação' window contains the following fields and options:

O modo		Informação adicional	
Estimativa	31,44	Calcula Sortimentó ?	Não
Muda estimativa ?	Não	Otimiza distribuição ?	Não
		Classe diamétrica	:

Buttons: Salir, Continuar, Voltar, Sair

FIGURA 43 - TELA QUE APRESENTA A INFORMAÇÃO ADICIONAL PARA A SIMULAÇÃO

O usuário poderá modificar a estimativa do diâmetro médio dentro de seu intervalo de prognose (expressão [23]), em função de conhecimento de fatos e valores de seu domínio.

$$\text{Limite inferior prognose} = D \text{ médio} - t_{n-p-1, \alpha/2} \sqrt{s^2 \left(1 + z'_o (Z' Z)^{-1} z_o \right)} \quad [23]$$

$$\text{Limite superior prognose} = D \text{ médio} + t_{n-p-1, \alpha/2} \sqrt{s^2 \left(1 + z'_o (Z' Z)^{-1} z_o \right)}$$

Onde:

$t_{n-p-1, \alpha/2}$ = valor da distribuição t-student, com n-p-1 graus de liberdade a um nível de significância de $\alpha/2$;

n = quantidade total de dados;

p = quantidade de parâmetros que apresenta a função;

s = erro padrão da estimativa do diâmetro médio;

z'_o = vetor transposto dos dados das variáveis independentes que farão a prognose;

z_o = vetor dos dados das variáveis independentes que farão a prognose;

$(Z' Z)^{-1}$ = matriz inversa da multiplicação da matriz de dados originais transpostos (Z') e da matriz de dados originais (Z).

Se o usuário desejar é possível obter o sortimento das classes diamétricas consideradas, devendo, assim, selecionar uma função de afilamento (Figura 11a) e especificar as dimensões dos produtos a obter (Figura 31). Também o usuário poderá otimizar a distribuição selecionada, minimizando as diferenças entre a prognose ao nível de povoamento e a prognose ao nível de classe diamétrica.

Utilizando o mesmo exemplo da estimativa ao nível de povoamento (Figura 34 p. 83), mas a uma idade de 12 anos, o diâmetro médio é de 31,4 cm, a área basal é de 24,33 m²/ha e o volume é de 287,9576 m³/ha (Figura 35 p. 84).

Na Figura 44a e na Figura 44b são apresentadas as mesmas distribuições sem e com a otimização da distribuição selecionada. O usuário pode conferir que quando a distribuição é otimizada, o diâmetro médio, a área basal e o número de árvores

coincidem com as estimativas ao nível de povoamento, enquanto o volume apresenta superestimativa, porém dentro da amplitude prefixada (10%). No caso sem otimização, todas as estimativas são subestimadas.

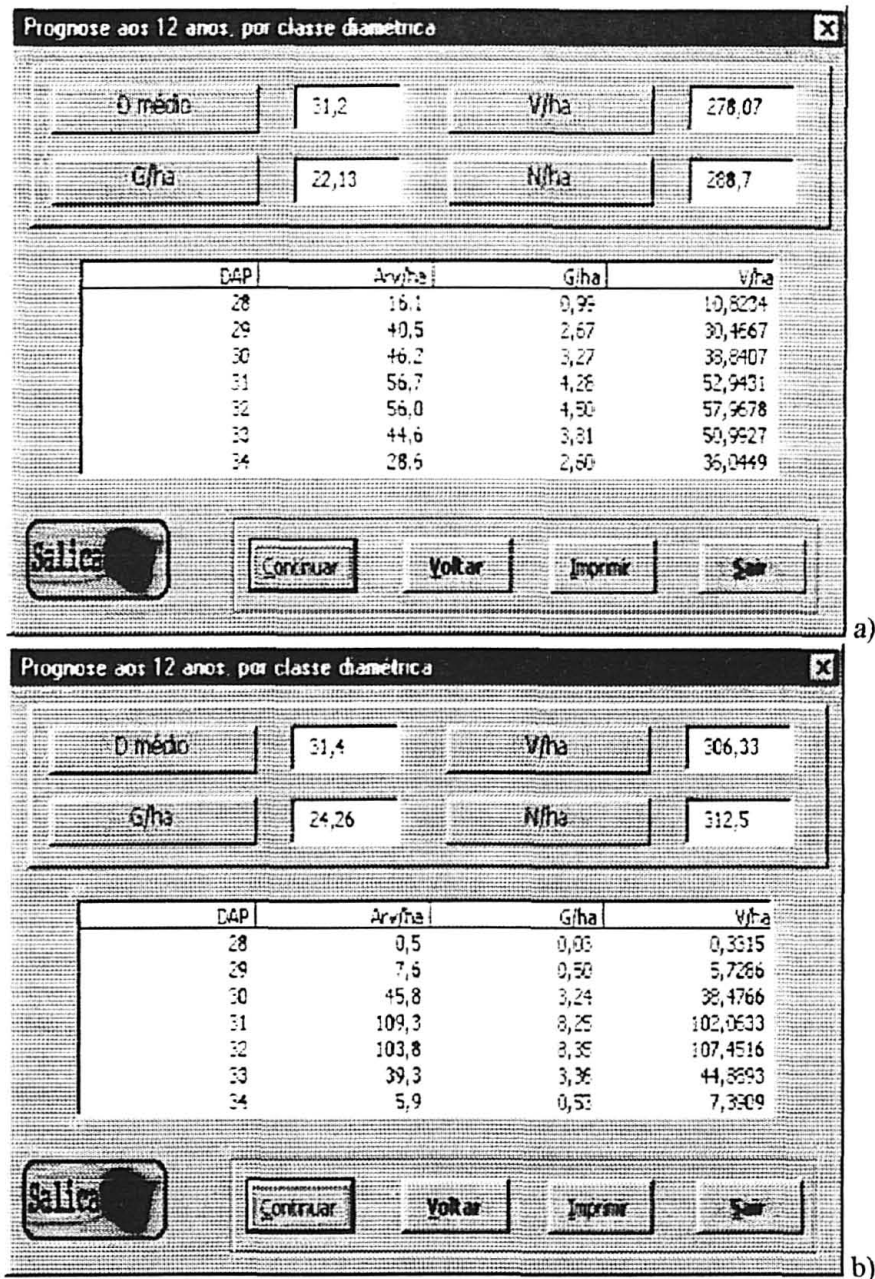


FIGURA 44 - TELA QUE APRESENTA O RESULTADO DA PROGNÓSE POR CLASSE DIAMÉTRICA a) SEM OTIMIZAÇÃO DA DISTRIBUIÇÃO E b) COM OTIMIZAÇÃO DA DISTRIBUIÇÃO

6 CONCLUSÕES

O simulador SALICA desenvolvido na presente pesquisa, cumpre com os requerimentos esboçados nos objetivos em termos de armazenamento e análise de dados de povoamentos de *Populus* spp. Toda vez que foram criados bancos de dados relacionais interligados aos módulos de quantificação física e quantificação econômica – financeira, simulando o crescimento e a produção anual dos povoamentos, obtendo tabelas de sortimento de madeira por classe diamétrica e avaliando os regimes de manejo em termos econômico – financeiros.

Para a quantificação física do híbrido I-488 foi selecionada a função de afilamento de Bennett e Swindel (1972), a distribuição de Weibull 3P, a função hipsométrica de Stoffells, a função de índice de sítio que incorpora a raiz quadrada da idade, e a função volumétrica de Schumacher-Hall. As estatísticas de todas as funções foram altamente significativas ($P < 0,001$), com coeficientes de determinação ajustados que variaram entre 83,66 e 99,50.

Para a quantificação física do híbrido I-63/51 foi selecionada a função de afilamento de Kozak (1988), a distribuição de Weibull 3P, a função hipsométrica de Stoffells, a função de índice de sítio que incorpora um polinômio de segundo grau da inversa da idade, a função volumétrica de Schumacher-Hall. As estatísticas de todas as funções foram altamente significativas ($P < 0,001$), com coeficientes de determinação ajustados que variaram entre 80,5 e 98,64.

Todas as funções selecionadas em ambos híbridos foram válidas, dado que as estimativas na amostra independente de validação foram acuradas.

O sistema interligado de funções de crescimento e produção que incorporou variáveis Dummy, para indicar a qualidade do sítio em análise, assegurou a integridade das estimativas em nível de povoamento.

Os resultados promissórios obtidos ao interligar ferramentas de Pesquisa Operacional junto com a biometria, especificamente no ajuste das distribuições S_B de Johnson e Weibull 3P, para o ajuste de funções não lineares de afilamento e para o processo de simulação, indicaram claramente que podem ser utilizadas em conjunto, a fim de gerar estimativas mais acuradas.

O simulador SALICA incorporou um módulo de avaliação econômica – financeira de esquemas de manejo de *Populus*, possibilitando o ingresso de múltiplas atividades florestais, agrícolas e pecuárias, permitindo a tomada de decisões por parte dos usuários.

7 RECOMENDAÇÕES

Recomenda-se a utilização do sistema de SALICA, em aquelas plantações que apresentem condições silvícolas similares às consideradas em seu desenvolvimento. O sistema também poderá ser utilizado em aquelas plantações onde o número de árvores por hectare diminua no transcurso da rotação, com exceção do módulo de prognose de crescimento em nível de povoamento (modelo explícito de produção) e o módulo de simulação (modelo implícito de produção).

Recomenda-se adicionar às novas versões de SALICA, aspectos não considerados na presente pesquisa, tais como: integração com um sistema de informação geográfica e estruturação das cadeias de custódia, a fim de aperfeiçoar o sistema de simulação proposto.

Recomenda-se examinar outras aplicações da Pesquisa Operacional em conjunto com a biometria, a fim de propor metodologias que gerem estimativas cada vez mais acuradas.

8 REFERÊNCIAS

ALDER, D. **Estimación del volumen forestal y predicción del rendimiento con referencia especial a los trópicos. II Predicción del rendimiento.** FAO. FAO Montes 22/2. Roma. 1980. p. 80.

ARCE, J. **Um sistema de programação do transporte principal de multiprodutos florestais visando a minimização de custos.** Curitiba, Brasil. 1997. 98 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais)- Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Universidade Federal de Paraná.

ARCE, J. **Um sistema de análise, simulação e otimização do sortimento florestal em função da demanda por multiprodutos e dos custos de transporte.** Curitiba, Brasil. 2000. 125 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais)- Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Universidade Federal de Paraná.

BARRERA, M. **Modelos de distribución diamétrica para dos variedades de álamo en el valle central de la Séptima Región.** Talca, Chile. 1995. 60 f. Tese (Licenciado em Engenharia Florestal)- Escola de Engenharia Florestal, Faculdade de Recursos Naturais, Universidade de Talca.

BARROS, S.; AGUIRRE, C. **Crecimiento de algunas especies y cultivares de Álamo, regiones IV, VIII y IX.** Santiago: Informe técnico n° 87, INFOR, 1980. p. 39.

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

BAILEY, R.; DELL, T. Quantifying diameter distributions with the Weibull Function. **Forest Sci.** v. 19. n. 2. p. 97 – 104. 1973

BORDERS, B.; SOUTER, R.; BAILEY, R. WARE, K. Percentile based distributions characterize forest stand tables. **For. Sci.** v.33. p. 570 – 576. 1987

BYRNE, J.; REED, D. Complex compatible taper and volume estimation systems for Red and Loblolly pine. **Forest Sci.** v. 32. n. 2. p. 423 - 443. 1986.

CAF El Álamo, Resumen público de la certificación. Disponível em: <www.smartwood.org/reports/pdfs/alamo.pdf> Acesso em: 25 jun. 2003.

CAO, Q.; BURKHART, H. A segmented distribution approach for modeling diameter frequency data. **Forest Sci.** v. 30. n. 1. p. 129 – 137. 1984

CARTER, R.; KLINKA, K. Relationships between growing - season soil water - deficit, mineralizable soil nitrogen and site index of Coastal Douglas Fir. **For. Ecol. Manage.** v. 30. p. 301 - 311. 1990.

CHACON, I. Edad óptima de corta de un rodal existente. **Ciencia e Investigación Forestal (INFOR-CORFO).** v. 8. n. 1. p. 177 - 188. 1994.

CHACON, I. Edad óptima de cosecha, una discusión en torno al valor presente neto (VAN) y la tasa interna de retorno (TIR). **Ciencia e Investigación Forestal (INFOR-CORFO).** v. 9. n. 1. p. 103 - 116. 1995.

- CHANG, S. J. Determination of the optimal rotation age: a theoretical analysis. **For. Ecol. Manage.** v. 8. n. 2. p. 137 - 147. 1984
- CHATURVEDI, A.; RAWAT, B. Poplar tree improvement programmed. **Indian Forester.** v. 120. n° 2. p. 97 – 124. 1994.
- CHILE FORESTAL. Seminario “Proyección y Negocio del Álamo”: alternativa para el Agro. **Chile Forestal**, ano XXIII. n. 261. p. 36 - 38. jun., 1998.
- CHILE FORESTAL. Álamo: opción promisoría. **Chile Forestal**, ano XXV. n. 281. p. 42 - 43. out., 2000.
- CLUTTER, J.; FORTSON, J.; PIENAAR, L.; BRISTER, G.; BAILEY, R. **Timber Management: a quantitative approach.** New York: John Wiley & Sons, 1983. p. 333.
- CODD, E. Relational model of data large shared data banks. **ACM Transactions on database system**, New York. v. 1. n. 1, p. 123 – 174. 1970.
- COMISIÓN NACIONAL DE ÁLAMO. ¿Qué é la Comisión Nacional del Álamo?. Disponível em <<http://www.sectorforestal.com/contenidos/cna.asp>> Acesso em: 11 jul. 2002.
- CONAF. **Recurso Forestal.** Disponível em <<http://www.conaf.cl>> Acesso em: 14 out. 2003.
- CZAPLEWSKI, R.; MCCLURE, J. Conditioning a segmented stem profile model for two diameter measurements. **Forest Sci.** v. 34. n.2 p. 512 - 522. 1988.
- DANIEL, T.; HELMS, J.; BAKER, F. **Principios de Silvicultura.** McGraw-Hill. 1982. 492 p.
- DRAPER, N.; SMITH, H. **Applied Regression Analysis.** Third Edition. John Wiley & Sons. 1998. 706 p.
- DYER, M.; BAILEY, R. A test of six methods for estimating true heights from stem analysis data. **Forest Sci.** v. 33. n.1 p. 3 - 13. 1987.
- DYKSTRA, D. **Mathematical programming for natural resource management.** New York: McGraw Hill Book Co., 1984. p. 318.
- FAO. **Los álamos e sauces.** Roma: Colección FAO: Montes n° 10, 1980. p. 349.
- GIBBONS, J. G.; CHAKRABORTI, S. **Nonparametric Statistical Inference.** Third Edition, Revised and Expanded. New York: Editorial DEKKER, v. 131, 1992. 544 p.
- GLADE, J. E. **Prognose de volume por classes diamétricas para *Eucalyptus grandis* Hill Ex-Maiden.** Curitiba, Brasil, 1986. 94 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais). Universidade Federal do Paraná.
- GOLDSTAIN, R. **Database. Technology and management.** New York: John Wiley & Sons, 1985. p. 353.
- GORDON, A. Comparison of compatible polynomial taper equations. **New Zealand J. For. Sc.** v. 13. n. 2. p. 146 - 155. 1983.
- HAFLEY, W.L.; BUFORD, M.A. A bivariate model for growth and yield prediction. **Forest Sci.** Washington, v. 31. n. 1. p. 237-247, mar. 1985.

HERRERA, R.; ARIAS, M.; BOURKE, M.; ZAMUDIO, F. Determinación de diversidad genética en población clonal de *Populus*: Con la técnica infalible. **Chile Forestal**, ano XXV n.282. p. 46 – 49. nov.; 2000.

HOSOKAWA, R.; MOURA, J. de; CUNHA, U. da. **Introdução ao manejo e economia de florestas**. Curitiba: Ed. da UFPR, 1998. p. 162.

JOHNSON, N. L.; KITCHEN, J. O. Tables to facilitate fitting S_B curves II: both terminals known. **Biometrika**, Great Britain, v. 58. n. 3. p. 657 - 668. jan., 1971.

JOHNSON, R.; WICHERN, D. **Applied multivariate statistical analysis**. 2. ed. New Jersey: Prentice Hall International, Inc., 1988. p. 607

JOHNSTON, D.; GARYSON, A.; BRADLEY, R. **Planejamento Florestal**. Lisboa: Fundação Calouste Gulbekian, 1977. p. 788.

KANGAS, A.; MALTAMO, M. Calibrating predicted diameter distribution with additional information. **Forest. Sci.** v. 46. n. 3. p. 390 – 396. 2000.

KOEHLER, H. **Sistema computacional de dinâmica para florestas naturais**. Curitiba, Brasil. 2002. 192 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Paraná.

KNOEBEL, B.C.; BURKHART, H.E. A bivariate distribution approach to modeling forest diameter distributions at two points in time. **Biometrics**, v. 47. p. 241 - 253. 1991.

KOZAK, A. Effects of multicollinearity and autocorrelation on the variable - exponent taper functions. **Can. J. For. Res.** v. 27. p. 619 - 629. 1997.

KROENKE, D. M. **Banco de dados: Fundamentos, projeto e implementação**. 6. ed. Tradução de: Luiz Carlos Gabriel Soares e Amir Kurban. Rio de Janeiro: LTC, 1999. 382 p.

LANDSBERG, J.; WARING, R.H. A generalized model of forest productivity using simplified concepts of radiation-use efficiency, carbon balance and portioning. **For. Ecol. Manage.** v. 95. p. 209 – 228 . 1997

LAROZE, A. A linear programming, tabu search method for solving forest-level bucking optimization problems. **For. Sci.** v. 45. n. 1. p. 108 – 116. 1999.

LEBART, L.; MORINEAU, A.; FÉNELON, J. D. **Tratamiento Estadístico de datos, métodos y programas**. Barcelona – México: Marcombo Boixareau Editores, 1985. 520 p.

LEITE, J. **A otimização dos custos do transporte rodoviário de madeira roliça oriunda de reflorestamento**. Curitiba, Brasil. 2002. 251 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais)- Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Universidade Federal de Paraná.

LEUSCHNER, W. **Forest regulation, harvest scheduling, and planning techniques**. New York: John Wiley & Sons, 1990. p. 281.

LOUCKS, D. The development of an optimal program for sustained-yield management. **Journal of Forestry**. v. 62. p. 485 – 490. 1964.

LOETSCH, F.; ZÖHRER, F.; HALLER, K.E. **Forest Inventory**. Munchen, BLV. V 2. 1973. 479 p.

LOEWE, V.; TORAL, M.; FERNÁNDEZ, M.; PINEDA, G.; LÓPEZ, C.; URQUIETA, E. **Potencialidad de especies y sitios para una diversificación silvícola nacional: Monografía de Álamo *Populus* spp.** Santiago: INFOR – CONAF, 1997. 143 p.

MACHADO, S. A.; FIGUEIREDO FILHO, A. **Dendrometria.** Curitiba, 2003. 309 p.

MAESTRI, R. **Modelo de crescimento e produção para povoamentos clonais de *Eucalyptus grandis* considerando variáveis ambientais.** Curitiba, 2003. 143 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Paraná.

MALTAMO, M.; KANGAS, A.; UUTTERA, J.; TORNIAINEN, T.; SARAMÄKI, J. Comparison of percentile based prediction methods and the Weibull distribution in describing the diameter distribution of heterogeneous Scots pine stands. **For. Ecol. Manage.** v. 133. p. 263 - 274. 2000.

MARQUÉS, M. **Historia de los sistemas de bases de datos.** Disponível em :<<http://www3.uji.es/~mmarques/f47/apun/node6.html>> Acesso em: 10 out. 2003.

MOHREN, G.; BURKHART, H.E. Contrasts between biologically-based process models and management-oriented growth and yield models. **For. Ecol. Manage.** V. 69, pp. 1-5. 1994.

MONSERUD, R.; MOODY, U.; BREUER, D. A soil - site study for inland Douglas - fir. **Can. J. For. Res.** v. 20. p. 686 - 695. 1990.

MORAGA, V.; LATORRE, J.; AEDO, D. Generación de funciones de volumen para álamo empleando variables indicadoras de variedad. In: AEDO, D.; NEUENSCHWANDER, R.; LATORRE, A (Ed.). **Sistemas de Producción Forestal: Análisis, cuantificación y sustentabilidad.** Talca: Universidade de Talca, 1997. p. 223 – 232.

MUHAIWE, CH.; LEMAY, V.; KOZAK, A. Effects of adding tree, stand, and site variables to Kozak's variable - exponent taper equation. **Can. J. For. Res.**, v. 24. p. 252 - 259. 1994.

NELSON, T. Diameter distribution and growth of loblolly pine. **Forest Sci.** v. 10. n° 1. p. 105 – 114. 1964.

NEPAL, S.; SOMERS, G. A generalized approach to stand table projection. **Forest Sci.** v 38. n° 1. p. 120 – 133. 1992.

NEWMAN, D. H. **The optimal forest rotation: a discussion and annotated bibliography.** General-Technical-Report - USDA-Forest-Service. SE-48, 1988. 47 p.

NEWNHAM, R. Variable - form taper functions for four Alberta tree species. **Can. J. For. Res.**, v. 22. p. 210 - 223. 1992.

NEWNHAM, R. M. **LOGPLAN: A model for planning logging operations.** Ottawa. Information Report FMR-X- 77. 1975. p. 59.

OLIVEIRA, E. B. **Um sistema computadorizado de prognose do crescimento e produção de *Pinus taeda* L., com critérios quantitativos para a avaliação técnica e econômica de regimes de manejo.** Curitiba, 1995. 134 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais)- Pós-graduação em Engenharia Florestal, Universidade Federal do Paraná.

PADRÓ, A. Es primordial apostar por la calidad. **Chile Forestal**, ano XXIV. n. 275. p. 13 - 15. set., 1999.

- PRODAN, M.; PETERS, R.; COX, F.; REAL, P. **Mensura Forestal**. Serie investigación y educación en desarrollo sostenible. IICA/BMZ/GTZ. San José, Costa Rica. 1997. 586 p.
- PROGRAMA DE DESARROLLO Y FOMENTO DEL GÉNERO *Populus* EN CHILE. Disponível em : <<http://www2.utralca.cl/pdfp/>> Acesso em: 11 jul.; 2002.
- REYNOLDS, M. Estimating the error in model predictions. **Forest Sci.** v.30 n. 2. p. 454 – 469. 1984.
- ROGERS, R.; JOHNSON, P. Approaches to modeling natural regeneration in oak-dominated forest. **For. Ecol. Manage.**, v. 106. n. 1. p. 45 - 54. 1998.
- SANHUEZA, A. Podemos ser un país de referencia para el álamo y el sauce. **Chile Forestal**, n. 283. p. 42 - 45. jan-feb 2001.
- SANQUETTA, C. **Fundamentos biométricos dos modelos de simulação florestal**. Curitiba: FUPEF, 1996. 48 f (Série Didática n° 8).
- SCOLFORO, J. R. **Sistema integrado para predição e análise presente e futura do crescimento e produção, com otimização de remuneração de capitais, para *Pinus caribaea* var. *hondurensis***. Curitiba, 1990. 290 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais)- Pós-Graduação em Engenharia Florestal. Universidade Federal do Paraná.
- SCOLFORO, J. R. **Modelagem do crescimento e da produção de florestas plantadas e nativas**. Lavras: UFLA/FAEPE. 1998. 441 p.
- SOLVER.COM. **Generalized Reduced Gradient Method**. Disponível em < <http://www.solver.com/technology4.htm> > Acesso em 11 nov. 2003
- SHAMBLIN, J. STEVENS, G. Jr. **Pesquisa operacional: uma abordagem básica**. Tradução de: Carlos Viera de Araujo. São Paulo: Atlas S.A., 1979. p. 426.
- SILBERSCHATZ, A.; KORTH, H.; SUDARSHAN, S. **Sistema de banco de dados**. Tradução: Marília Guimarães Pinheiro e Cláudio César Canhette. 3. ed. São Paulo: MAKRON Books, 1999. p. 778.
- SILVA, E.Q. da. **Nova função de densidade de probabilidade aplicável à Ciência Florestal**. Curitiba, 2003. 98 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais)- Universidade Federal do Paraná.
- SPURR, S.H. **Forestry Inventory**. New York: Ronald Press, 1952. p. 476.
- 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 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal)- Universidade Federal de Lavras.
- TAHA, H. **Investigação de Operações**. 5. ed. México: Alfaomega, 1994. p. 960.
- THIERSCH, A. **Eficiência das distribuições diamétricas para prognose da produção de *Eucalyptus camaldulensis***. Lavras, 1997. 155 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal)- Universidade Federal de Lavras.
- TORRUBIANO, C. **Funciones de ahusamiento para *Pinus radiata* (D. Don)**. Valdivia, Chile. 1994. 129 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais)- Fac. Ciências Florestais, Escola de Graduados. Universidade Austral de Chile.

UGALDE, L. **El sistema MIRA componente de silvicultura: Manual del usuario.** CATIE. 2001. 140 p.

VALLEJOS, O. **Productividad y relaciones del índice de sitio con variables fisiográficas, edafoclimáticas y foliares para *Tectona grandis* L. f., *Bombacopsis quinatum* (Jacq.) Dugand y *Gmelina arborea* Roxb. em Costa Rica.** Turrialba, Costa Rica, 1996. 124 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais)- CATIE.

VALLEJOS, O.; ARACENA, P.; FLANDES, A. Funciones de ahusamiento para especies de *Nothofagus* en provincias de la VII Región. In: REUNIÓN INTERNACIONAL: MODELOS Y MÉTODOS ESTADÍSTICOS APLICADOS A BOSQUES NATURALES, 2000, Valdivia, Chile. **Anais ...** Valdivia: Universidade Austral de Chile - IUFRO, 2000. p. 1- 13.

VALLEJOS, O.; MENDOZA, A.; ROJAS, M. Función de ahusamiento para *Eucalyptus delegatensis* R.T. Baker Hacienda "El Picazo", VII Región, Chile. In: PRIMER CONGRESO LATINO-AMERICANO IUFRO, EL MANEJO SUSTENTABLE DE LOS RECURSOS FORESTALES, DESAFÍO DEL SIGLO XXI, 1., 1998. Valdivia. **Anais ...** Valdivia: Universidade Austral de Chile, 1998. p. 1 – 11.

VALLEJOS, O.; SANQUETTA, C.; ARCE, J.; MACHADO, S. **Ajuste ótimo da distribuição S_B Johnson (proposta metodológica) ?** [2003?]. No prelo.

VALLEJOS, O.; SANQUETTA, C.; ARCE, J.; MACHADO, S. **Ajuste ótimo da distribuição Weibull 3P (proposta metodológica) ?** [2003?]. No prelo.

VANCLAY, J. **Modelling forest growth and yield: applications to mixed tropical forest.** Wallingford: CAB International, 1994. 312 p.

VITA, A. **El cultivo de los Álamos.** Santiago: manual n° 4, Universidade de Chile, Faculdade de Ciências Florestais. 1977. p. 23.

WAGNER, H. **Pesquisa operacional.** Tradução por: Paulo Antônio Mariotto e Fábio Luiz Mariotto. 2. ed. Rio de Janeiro: Prentice-Hall do Brasil Ltda, 1985. p. 851.

WARE, G.; CLUTTER, J. A mathematical programming system or the management of industrial forest. **For. Sci.** v. 17. p. 428 – 445. 1971.

WETHERBE, J.C. **Análise de sistemas para sistemas de informação por computador.** 3. ed. Rio de Janeiro, Campus, 1987. 539 p.

YOSHIMOTO, A.; BRODIE, J.; SESSIONS, J. A new heuristic to solve spatially constrained long-term harvest scheduling problems. **Forest Sci.**, v. 40, n. 3. p. 365 - 396. 1994.

ZEIDE, B. Analysis of growth equations. **Forest Sci.**, v. 39, n. 3. p. 594 - 616. 1993.

ZHOU, B.; McTAGUE, J. P. Comparison and evaluation of five methods of estimation of the Johnson System parameters. **Can. J. For. Res.**, v. 26. p. 928 - 935. Jan 1996.

9 APÊNDICES

9.1 APÊNDICE A: AVALIAÇÃO DAS FUNÇÕES

TABELA 27 - INDICADORES DE DESEMPENHO DAS FUNÇÕES DE AFILAMENTO PARA O DIÂMETRO DE CADA TORA

Função	Indicadores de desempenho												Ranking													
	Híbrido I-488						Híbrido I-63/51						Híbrido I-488						Híbrido I-63/51							
	EQ	R ² a	D	SD	SSRR	PR	EQ	R ² a	D	SD	SSRR	PR	EQ	R ² a	D	SD	SSRR	PR	EQ	R ² a	D	SD	SSRR	PR		
1	1,599	0,969	0,111	1,61	1,600	E3	2,027	2,285	0,948	0,180	2,306	1,176	E3	2,187	10,0	10,0	7,0	10,0	12,0	4,0	8,0	8,0	6,0	9,0	11,0	4,0
2	1,514	0,972	0,010	1,514	1,354	E3	6,389	2,134	0,955	0,016	2,134	9,461	E2	2,786	4,0	4,5	1,0	4,0	8,0	8,0	6,0	5,0	1,0	7,0	6,0	5,0
3	1,813	0,96	0,471	1,75	1,355	E3	8,869	2,767	0,924	0,760	2,659	9,089	E2	8,666	14,0	14,0	14,0	14,0	9,0	11,0	14,0	14,0	12,0	13,0	5,0	9,0
4	1,576	0,97	0,358	1,534	1,309	E3	5,037	2,125	0,955	0,542	2,054	9,466	E2	1,24	9,0	8,5	13,0	8,0	7,0	7,0	5,0	5,0	10,0	4,0	7,0	3,0
5	1,525	0,972	0,076	1,522	1,305	E3	13,164	2,068	0,958	0,176	2,059	1,146	E3	20,509	6,0	4,5	5,0	5,0	6,0	12,0	3,0	3,0	5,0	5,0	10,0	12,0
6	1,542	0,971	0,215	1,526	9,085	E2	0,558	2,51	0,937	0,777	2,385	5,593	E2	7,973	7,0	7,0	9,0	6,0	1,0	2,0	11,0	11,0	14,0	10,0	1,0	8,0
7	1,363	0,977	0,030	1,363	1,212	E3	2,887	1,68	0,972	0,045	1,679	8,588	E2	0,115	1,0	1,0	3,0	1,0	3,0	6,0	1,0	1,0	2,0	1,0	3,0	1,0
8	1,668	0,966	0,023	1,669	2,423	E5	188,769	2,683	0,928	0,067	2,683	6,133	E5	407,504	11,0	11,0	2,0	11,0	15,0	14,0	13,0	13,0	4,0	14,0	15,0	15,0
9	1,506	0,972	0,213	1,55	1,240	E3	0,236	2,322	0,946	0,499	2,475	1,181	E3	9,182	3,0	4,5	8,0	9,0	4,0	1,0	9,0	9,0	7,0	12,0	12,0	11,0
10	1,759	0,962	0,241	1,742	1,389	E3	8,24	2,568	0,934	0,772	2,448	1,001	E3	6,032	13,0	13,0	10,0	13,0	10,0	9,0	12,0	12,0	13,0	11,0	8,0	6,0
11	1,499	0,973	0,048	1,501	1,484	E3	2,15	1,808	0,968	0,064	1,81	1,016	E3	0,741	2,0	2,0	4,0	3,0	11,0	5,0	2,0	2,0	3,0	2,0	9,0	2,0
12	1,518	0,972	0,31	1,485	1,005	E3	1,532	2,119	0,955	0,534	2,049	7,132	E2	9,077	5,0	4,5	11,0	2,0	2,0	3,0	4,0	5,0	8,0	3,0	2,0	10,0
13	1,563	0,97	0,312	1,531	2,395	E3	16,674	2,182	0,953	0,538	2,113	3,041	E3	30,039	8,0	8,5	12,0	7,0	13,0	13,0	7,0	7,0	9,0	6,0	13,0	13,0
14	1,701	0,965	0,079	1,699	1,282	E3	8,612	2,352	0,945	0,601	2,273	8,926	E2	6,658	12,0	12,0	6,0	12,0	5,0	10,0	10,0	10,0	11,0	8,0	4,0	7,0
15	2,198	0,941	0,859	2,655	2,207	E5	195,2	2,78	0,923	0,824	3,125	1,939	E5	248,419	15,0	15,0	15,0	15,0	14,0	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0	14,0	14,0

Onde:

- EQ = erro quadrático médio
- R²a = coeficiente de determinação ajustado
- D = desvio
- SD = desvio padrão das diferenças
- SSRR = soma dos quadrados de resíduos relativos
- PR = percentagem dos resíduos

Tabela 28 - Indicadores de desempenho das funções de afilamento para o volume de cada tora

Função	Indicadores de desempenho												Ranking													
	Híbrido I-488						Híbrido I-63/51						Híbrido I-488					Híbrido I-63/51								
	EQ	R ² a	D	SD	SSRR	PR	EQ	R ² a	D	SD	SSRR	PR	EQ	R ² a	D	SD	SSRR	PR	EQ	R ² a	D	SD	SSRR	PR		
1	0,007	0,980	0,000	0,007	6,785	E3	11,493	0,010	0,962	0,001	0,011	5,867	E3	24,916	2,5	1,5	2,5	5,0	9,0	10,0	2,5	3,0	2,5	8,0	9,0	9,0
2	0,007	0,980	0,000	0,007	4,592	E3	0,875	0,011	0,955	0,001	0,012	3,670	E3	10,358	2,5	1,5	2,5	5,0	4,0	1,0	6,0	7,0	2,5	13,0	4,0	5,0
3	0,008	0,974	0,003	0,007	4,203	E3	4,177	0,012	0,951	0,004	0,011	3,083	E3	0,244	8,0	7,5	12,0	5,0	3,0	5,0	10,5	9,0	8,5	8,0	3,0	1,0
4	0,008	0,973	0,003	0,007	5,915	E3	3,076	0,012	0,946	0,006	0,011	4,906	E3	14,546	8,0	9,5	12,0	5,0	6,0	3,0	10,5	12,5	13,5	8,0	8,0	6,0
5	0,008	0,975	0,002	0,007	1,885	E4	31,489	0,011	0,955	0,004	0,011	1,892	E4	57,062	8,0	6,0	7,5	5,0	12,0	12,0	6,0	7,0	8,5	8,0	12,0	12,0
6	0,007	0,977	0,002	0,007	6,135	E3	6,183	0,011	0,955	0,004	0,011	2,414	E3	17,86	2,5	4,5	7,5	5,0	8,0	7,0	6,0	7,0	8,5	8,0	1,0	8,0
7	0,008	0,977	0,001	0,008	7,843	E3	10,578	0,009	0,970	0,000	0,009	1,403	E4	41,871	8,0	4,5	5,0	10,5	10,0	9,0	1,0	1,0	1,0	1,5	10,0	10,0
8	0,007	0,978	0,002	0,007	1,019	E4	17,798	0,011	0,956	0,003	0,011	1,721	E4	42,688	2,5	3,0	7,5	5,0	11,0	11,0	6,0	5,0	5,5	8,0	11,0	11,0
9	0,026	0,719	0,009	0,030	3,074	E6	482,918	0,047	0,229	0,021	0,060	9,603	E6	1346,213	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0
10	0,009	0,969	0,002	0,009	4,167	E3	4,796	0,013	0,946	0,005	0,011	4,037	E3	5,398	12,5	12,0	7,5	12,5	2,0	6,0	13,0	12,5	11,5	8,0	6,0	3,0
11	0,008	0,972	0,003	0,008	5,633	E4	81,761	0,010	0,966	0,003	0,009	2,537	E4	65,816	8,0	11,0	12,0	10,5	14,0	14,0	2,5	2,0	5,5	1,5	13,0	13,0
12	0,008	0,973	0,003	0,007	5,935	E3	3,503	0,012	0,947	0,006	0,011	4,885	E3	14,783	8,0	9,5	12,0	5,0	7,0	4,0	10,5	11,0	13,5	8,0	7,0	7,0
13	0,008	0,974	0,003	0,007	4,959	E3	1,024	0,012	0,949	0,005	0,011	3,941	E3	8,771	8,0	7,5	12,0	5,0	5,0	2,0	10,5	10,0	11,5	8,0	5,0	4,0
14	0,009	0,966	0,000	0,009	3,536	E3	6,448	0,011	0,960	0,004	0,010	2,998	E3	2,072	12,5	13,0	2,5	12,5	1,0	8,0	6,0	4,0	8,5	3,0	2,0	2,0
15	0,012	0,945	0,000	0,012	3,931	E4	71,194	0,017	0,896	0,002	0,017	2,548	E4	78,488	14,0	14,0	2,5	14,0	13,0	13,0	14,0	14,0	4,0	14,0	14,0	14,0

Onde:

- EQ = erro quadrático médio
- R²a = coeficiente de determinação ajustado
- D = desvio
- SD = desvio padrão das diferenças
- SSRR = soma dos quadrados de resíduos relativos
- PR = percentagem dos resíduos

TABELA 30 - INDICADORES DE DESEMPENHO DAS FUNÇÕES DE ÍNDICE DE SÍTIO

Função	Indicadores de desempenho												Ranking											
	Híbrido I-488						Híbrido I-63/51						Híbrido I-488						Híbrido I-63/51					
	EQ	R ² a	D	SD	SSRR	PR	EQ	R ² a	D	SD	SSRR	PR	EQ	R ² a	D	SD	SSRR	PR	EQ	R ² a	D	SD	SSRR	PR
1	1,111	0,941	1,476	1,106	0,007	6,352	1,373	0,927	1,322	1,361	0,011	5,881	8,0	5,5	6,5	8,0	6,5	7,0	8,0	7,5	5,0	6,0	7,5	6,0
2	1,105	0,941	1,477	1,100	0,007	6,351	1,365	0,928	1,344	1,357	0,010	5,907	6,0	5,5	8,0	7,0	6,5	6,0	3,5	4,5	10,0	3,5	1,5	9,0
3	1,173	0,934	1,495	1,170	0,007	6,410	1,419	0,922	1,370	1,415	0,011	6,070	12,0	12,0	12,0	12,0	6,5	10,0	12,0	12,0	11,5	12,0	7,5	12,0
4	1,118	0,940	1,469	1,113	0,007	6,330	1,391	0,925	1,314	1,383	0,011	5,835	9,0	9,0	3,5	9,0	6,5	3,0	9,0	9,5	1,0	9,0	7,5	1,0
5' -15	1,094	0,942	1,489	1,092	0,007	6,421	1,351	0,929	1,370	1,347	0,011	6,032	1,0	1,5	11,0	1,0	6,5	12,0	1,0	1,5	11,5	1,0	7,5	11,0
6	1,124	0,939	1,467	1,121	0,007	6,318	1,397	0,925	1,321	1,393	0,011	5,877	10,0	10,0	2,0	10,0	6,5	1,0	10,0	9,5	4,0	10,0	7,5	3,5
7	1,102	0,941	1,476	1,097	0,007	6,383	1,369	0,928	1,320	1,361	0,011	5,877	3,0	5,5	6,5	3,0	6,5	9,0	5,5	4,5	3,0	6,0	7,5	3,5
8	1,103	0,941	1,481	1,098	0,007	6,412	1,369	0,928	1,319	1,361	0,011	5,879	4,0	5,5	10,0	4,5	6,5	11,0	5,5	4,5	2,0	6,0	7,5	5,0
9' -10'	1,097	0,942	1,474	1,095	0,007	6,377	1,358	0,929	1,335	1,354	0,011	5,929	2,0	1,5	5,0	2,0	6,5	8,0	2,0	1,5	9,0	2,0	7,5	10,0
11	1,104	0,941	1,464	1,099	0,007	6,319	1,370	0,927	1,329	1,362	0,011	5,889	5,0	5,5	1,0	6,0	6,5	2,0	7,0	7,5	7,0	8,0	7,5	7,0
12-13'	1,106	0,941	1,469	1,098	0,007	6,342	1,365	0,928	1,331	1,357	0,010	5,902	7,0	5,5	3,5	4,5	6,5	5,0	3,5	4,5	8,0	3,5	1,5	8,0
14	1,137	0,938	1,478	1,134	0,007	6,340	1,404	0,924	1,323	1,400	0,011	5,860	11,0	11,0	9,0	11,0	6,5	4,0	11,0	11,0	6,0	11,0	7,5	2,0

Onde:

- EQ = erro quadrático médio
- R²a = coeficiente de determinação ajustado
- D = desvio
- SD = desvio padrão das diferenças
- SSRR = soma dos quadrados de resíduos relativos
- PR = percentagem dos resíduos

TABELA 31 - INDICADORES DE DESEMPENHO DAS FUNÇÕES DE VOLUME DA ÁRVORE COMPLETA

Função	Indicadores de desempenho												Ranking											
	Híbrido I-488						Híbrido I-63/51						Híbrido I-488					Híbrido I-63/51						
	EQ	R ² a	D	SD	SSRR	PR	EQ	R ² a	D	SD	SSRR	PR	EQ	R ² a	D	SD	SSRR	PR	EQ	R ² a	D	SD	SSRR	PR
1	0,067	0,980	0,039	0,055	4,965 E1	17,220	0,083	0,973	0,048	0,068	6,751 E1	23,527	10,5	10,5	10,0	12,0	7,0	5,0	10,0	10,0	7,0	12,0	5,0	3,0
2	0,068	0,979	0,054	0,041	4,354 E5	740,434	0,091	0,968	0,074	0,053	2,321 E5	857,104	12,5	12,5	12,5	9,0	13,0	13,5	11,5	11,5	11,5	9,5	13,0	13,0
3	0,058	0,985	0,043	0,040	6,483 E4	330,249	0,078	0,977	0,060	0,049	7,074 E4	510,997	9,0	9,0	11,0	7,0	11,0	12,0	9,0	9,0	10,0	8,0	12,0	12,0
4	0,056	0,986	0,037	0,042	3,262 E4	164,157	0,073	0,979	0,049	0,054	1,942 E4	210,252	8,0	8,0	8,5	11,0	10,0	10,0	8,0	8,0	8,0	11,0	10,0	9,0
5	0,133	0,921	0,068	0,114	3,648 E1	17,955	1,281	0,810	0,507	1,175	5,450 E2	69,349	14,0	14,0	14,0	14,0	4,0	7,0	14,0	14,0	14,0	14,0	7,0	8,0
6	0,068	0,979	0,054	0,041	4,354 E5	740,434	0,091	0,968	0,074	0,053	2,321 E5	857,105	12,5	12,5	12,5	9,0	14,0	13,5	11,5	11,5	11,5	9,5	14,0	14,0
7' - 12'	0,039	0,993	0,026	0,029	5,117 E3	84,992	0,054	0,989	0,034	0,041	1,063 E3	66,920	1,0	3,0	3,0	1,0	8,0	8,0	1,0	1,0	1,5	2,0	8,0	7,0
8	0,040	0,993	0,026	0,031	2,580 E1	13,274	0,057	0,988	0,037	0,043	5,456 E1	25,066	2,0	3,0	3,0	4,0	2,0	2,0	3,0	2,5	4,0	4,0	4,0	5,0
9'	0,052	0,988	0,031	0,041	3,694 E1	14,835	0,058	0,987	0,041	0,040	1,792 E4	246,271	7,0	6,5	6,0	9,0	5,0	4,0	5,0	5,0	6,0	1,0	9,0	10,0
10	0,041	0,993	0,025	0,031	2,323 E1	12,525	0,056	0,988	0,034	0,044	3,207 E1	18,702	4,0	3,0	1,0	4,0	1,0	1,0	2,0	2,5	1,5	5,5	1,0	1,0
11	0,041	0,993	0,028	0,030	1,099 E4	125,496	0,058	0,987	0,036	0,045	4,201 E1	21,257	4,0	3,0	5,0	2,0	9,0	9,0	5,0	5,0	3,0	7,0	2,0	2,0
13'	0,051	0,988	0,037	0,035	2,423 E5	327,017	0,067	0,982	0,051	0,044	5,380 E4	373,998	6,0	6,5	8,5	6,0	12,0	11,0	7,0	7,0	9,0	5,5	11,0	11,0
14	0,067	0,980	0,036	0,056	2,813 E1	14,256	0,182	0,872	0,077	0,165	4,589 E1	24,140	10,5	10,5	7,0	13,0	3,0	3,0	13,0	13,0	13,0	13,0	3,0	4,0
15	0,041	0,993	0,026	0,031	4,674 E1	17,398	0,058	0,987	0,040	0,042	1,723 E2	38,335	4,0	3,0	3,0	4,0	6,0	6,0	5,0	5,0	5,0	3,0	6,0	6,0

Onde:

- EQ = erro quadrático médio
- R²a = coeficiente de determinação ajustado
- D = desvio
- SD = desvio padrão das diferenças
- SSRR = soma dos quadrados de resíduos relativos
- PR = percentagem dos resíduos

TABELA 29 - INDICADORES DE DESEMPENHO DAS FUNÇÕES HIPSOMÉTRICAS

Função	Indicadores de desempenho												Ranking											
	Híbrido I-488						Híbrido I-63/51						Híbrido I-488						Híbrido I-63/51					
	EQ	R ² a	D	SD	SSRR	PR	EQ	R ² a	D	SD	SSRR	PR	EQ	R ² a	D	SD	SSRR	PR	EQ	R ² a	D	SD	SSRR	PR
1	1,934	0,819	0,096	1,930	7,292	0,339	2,452	0,762	0,164	2,446	12,199	0,564	10,0	10,0	11,0	10,0	9,0	6,0	9,0	9,0	11,0	9,0	9,0	6,0
2	1,923	0,821	0,095	1,920	7,200	0,335	2,442	0,764	0,161	2,435	12,049	0,557	8,5	8,5	10,0	9,0	8,0	5,0	8,0	8,0	10,0	8,0	8,0	5,0
3	1,912	0,823	0,000	1,911	7,727	0,516	2,463	0,760	0,000	2,462	14,801	0,837	7,0	7,0	4,5	7,0	10,0	7,0	10,0	10,0	4,5	10,0	10,0	7,0
4	1,923	0,821	0,101	1,919	7,154	0,317	2,439	0,765	0,173	2,431	11,881	0,525	8,5	8,5	12,0	8,0	7,0	4,0	7,0	7,0	12,0	7,0	6,0	4,0
5	1,834	0,837	0,103	1,830	6,396	0,116	2,345	0,782	0,174	2,337	10,189	0,199	5,0	5,0	13,0	5,0	5,0	2,0	1,5	2,0	13,0	1,0	3,0	2,0
6'	1,823	0,839	0,143	1,817	6,170	0,043	2,353	0,781	0,232	2,341	9,985	0,065	4,0	3,0	14,0	2,0	1,0	1,0	4,5	4,5	14,0	2,0	1,0	1,0
7	1,819	0,839	0,070	1,817	6,228	0,288	2,348	0,782	0,117	2,343	10,075	0,467	2,0	3,0	9,0	2,0	2,0	3,0	3,0	2,0	9,0	3,0	2,0	3,0
8' - 9	1,818	0,840	0,000	1,817	6,280	0,565	2,345	0,782	0,000	2,344	10,518	0,888	1,0	1,0	4,5	2,0	3,0	11,0	1,5	2,0	4,5	4,0	4,0	10,0
10	1,822	0,839	0,000	1,821	6,373	0,543	2,353	0,781	0,000	2,352	11,061	0,856	3,0	3,0	4,5	4,0	4,0	9,0	4,5	4,5	4,5	5,0	5,0	9,0
11	2,149	0,776	0,000	2,148	11,161	0,603	2,757	0,699	0,000	2,755	23,125	0,998	12,5	12,5	4,5	12,5	12,5	12,5	12,5	12,5	4,5	12,5	12,5	12,5
12	2,149	0,776	0,000	2,148	11,161	0,603	2,757	0,699	0,000	2,755	23,125	0,998	12,5	12,5	4,5	12,5	12,5	12,5	12,5	12,5	4,5	12,5	12,5	12,5
13	2,183	0,769	0,000	2,182	11,683	0,622	2,794	0,691	0,000	2,792	24,180	1,028	14,0	14,0	4,5	14,0	14,0	14,0	14,0	14,0	4,5	14,0	14,0	14,0
14	1,842	0,835	0,000	1,841	6,698	0,524	2,378	0,776	0,000	2,377	12,032	0,839	6,0	6,0	4,5	6,0	6,0	8,0	6,0	6,0	4,5	6,0	7,0	8,0
15	2,027	0,801	0,000	2,026	9,397	0,547	2,603	0,732	0,000	2,601	18,898	0,896	11,0	11,0	4,5	11,0	11,0	10,0	11,0	11,0	4,5	11,0	11,0	11,0

Onde:

- EQ = erro quadrático médio
- R²a = coeficiente de determinação ajustado
- D = desvio
- SD = desvio padrão das diferenças
- SSRR = soma dos quadrados de resíduos relativos
- PR = percentagem dos resíduos

9.2 APÊNDICE B: AJUSTE ÓTIMO DA DISTRIBUIÇÃO WEIBULL 3P.

Neste apêndice apresenta-se um exemplo que utilizou a metodologia proposta por VALLEJOS *et al.* (no prelo) para o ajuste ótimo da distribuição Weibull 3P (método dos momentos). O exemplo considerou os dados apresentados por SCOLFORO (1998) na página 251, que correspondem a uma parcela de *E. grandis* com 39 diâmetros, descritos na seqüência:

4,8 4,9 5,2 5,5 6,0 6,2 6,4 6,9 7,0 7,2 7,5 7,5 7,7 7,7 7,8 7,8 9,0 9,4 9,8 9,8
9,8 10,0 10,7 10,8 10,8 11,0 11,3 11,3 11,3 11,5 11,8 12,2 12,3 12,7 13,0 13,3 13,5 15,9 15,9

Para minimizar o valor da estatística “dn” do teste de Kolmogorov-Smirnov formulou-se um problema de otimização. Para formular esse problema deve-se definir a função objetivo (Expressão [24]) e as restrições correspondentes ao método de ajuste utilizado (Expressão [25]), descrito na seqüência:

$$\text{Função Objetivo:} \quad \text{Minimizar } d_n = \text{Max} \left\{ \text{Max} \left\{ \frac{i}{n} - F(\text{Dap}) \right\}; \text{Max} \left\{ F(\text{Dap}) + \frac{1-i}{n} \right\} \right\} \quad [24]$$

$$\text{Restrições:} \quad \begin{array}{lll} a & \geq & 0 \\ a & < & \text{Dap mínimo} \\ b & > & 0 \\ c & > & 0 \end{array} \quad [25]$$

em que:

- $F(\text{DAP}_i)$ = distribuição acumulativa da distribuição Weibull (Expressão [26]);
- a = parâmetro de locação, cujo valor deve ser superior ou igual a zero e inferior que o DAP mínimo;
- b = parâmetro de escala, cujo valor deve ser maior que zero (Expressão [27]);
- c = parâmetro de forma, cujo valor deve ser maior que zero (Expressão [28]). Este parâmetro obtém-se por sucessivas iterações.

$$F(D_{ap}) = 1 - \exp\left(-\left(\frac{D_{ap}-a}{b}\right)^c\right) \quad [26]$$

$$b = \frac{\overline{D_{ap}} - a}{\Gamma\left(1 + \frac{1}{c}\right)} \quad [27]$$

$$\frac{\sigma_{D_{ap}-a}}{\overline{D_{ap}} - a} = \frac{\sqrt{\Gamma\left(1 + \frac{2}{c}\right) - \Gamma^2\left(1 + \frac{1}{c}\right)}}{\Gamma\left(1 + \frac{1}{c}\right)} \quad [28]$$

Para resolver o problema de otimização utilizou-se o simulador SALICA, que tem uma interface com o complemento SOLVER.xla de Microsoft Excel 2000. Para cada um dos 39 diâmetros o simulador calcula automaticamente os valores $\{i/n - F(DAP)\}$ e $\{F(DAP) + (1-i)/n\}$ e seu correspondente máximo. O valor máximo, dos máximos calculados corresponde ao valor dn , que neste caso teve um valor de 0,1026. Isto aconteceu quando os parâmetros a , b e c tiveram um valor de 3,642142, 6,743974 e 2,068662, respectivamente. A probabilidade associada ao valor dn foi de 66,3%.

SCOLFORO (1998) com estes dados ajustou a distribuição Weibull 3P, considerando o método de ajuste dos percentis. Assumiu-se um valor zero para o parâmetro a , entanto o parâmetro b e c tiveram um valor de 10,165122 e 3,390556, respectivamente. O valor dn foi de 0,1318 com uma probabilidade associada de 50,8%.

9.3 APÊNDICE C: ESTABILIDADE NA CLASSIFICAÇÃO DOS SÍTIOS

Uma vez concluído o simulador SALICA analisou-se a estabilidade da classificação dos sítios; ou seja, determinou-se se a altura média das árvores dominantes das parcelas permaneceram na mesma classe de sítio nas correspondentes idades (4 até 13 anos). Segundo CLUTTER *et al.* (1983) a base para os estudos de crescimento e produção radicam na correta definição dos limites de cada classe de sítio.

No simulador SALICA o usuário pode classificar os sítios em três ou cinco classes, com uma amplitude constante ou variável dependendo dos desvios ou percentis inseridos por ele. De maneira que existem múltiplas alternativas de classificação dos sítios, sendo tarefa do usuário escolher a mais adequada a seus dados.

Na Tabela 32 apresenta-se a classificação das parcelas utilizadas na presente pesquisa. Foram definidas três classes de sítios considerando as três amplitudes: a) amplitude constante, neste caso 49 parcelas (63% do total) apresentaram estabilidade em sua classificação, b) amplitude variável considerando um desvio padrão, neste caso 60 parcelas (77% do total) apresentaram estabilidade, e c) amplitude variável considerando percentis ($\pm 33\%$), neste caso somente 29 parcelas (37% do total) apresentaram estabilidade.

Considerando a variabilidade dos resultados obtidos determinou-se implementar um processo que informe ao usuário o percentagem de estabilidade alcançado em cada caso. Esse processo será disponibilizado na seguinte versão do simulador SALICA.

TABELA 32 - CLASSE DE SÍTIO DAS PARCELAS SEGUNDO IDADE E AMPLITUDE CONSIDERADA

		Classificação 1												Classificação 2												Classificação 3												Continua.
Híbrido	Talhão	Parcela	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13						
I-488	32	1				2	2	2	2	3	3	3				2	2	2	2	3	3	3				2	2	3	3	3	3	3						
		2				2	2	2	2	3	3	3				2	2	2	2	3	3	3				2	2	3	3	3	3	3						
		3				2	2	2	2	2	2	2 =				2	2	2	2	2	2	2 =				1	1	1	2	2	2	2						
	41	1				2	2	2	2	2	2	2 =				2	2	2	2	2	2	2 =				1	1	1	2	2	2	2						
		2				2	2	2	2	2	2	2 =				2	2	2	2	2	2	2 =				1	2	2	2	2	2	2						
		3				2	2	2	2	2	2	2 =				2	2	2	2	2	2	2 =				1	2	2	3	3	3	3						
		4				2	2	2	2	2	2	2 =				2	2	2	2	2	2	2 =				1	2	2	2	2	2	2						
		5				2	2	2	2	2	2	2 =				2	2	2	2	2	2	2 =				1	2	2	2	3	3	3						
	72	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2 =				2	2	2	2	2	2	2 =				1	1	2	2	3	3	3						
		2	2	2	2	2	3	3	3	3	3	3 =				2	2	2	2	3	3	3 =				2	2	3	3	3	3	3						
		3	2	2	2	2	3	3	3	3	3	3 =				2	2	2	2	3	3	3 =				2	2	2	3	3	3	3						
	91	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2 =				2	2	2	2	2	2	2 =				1	1	2	2	2	3	3						
		2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2 =				2	2	2	2	2	2	2 =				1	1	1	2	2	3	3						
		3	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2 =				2	2	2	2	2	2	2 =				1	1	2	2	2	2	2						
	93	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2 =				2	2	2	2	2	2	2 =				1	1	1	1	1	1	1 =						
		3	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2 =				2	2	2	2	2	2	2 =				1	1	1	2	1	2	2 =						
		4				2	2					2 =				2	2					2 =				2	3											
	94	1				2	1	1	1	2	2	2				2	1	1	1	2	2	2				2	1	1	1	2	1	2						
		2				2	1	1	1	2	2	2				2	1	1	1	2	2	2				3	1	1	1	2	1	1						
		3				2	1	1	2	2	2	2				2	1	1	2	2	2	2				1	1	1	1	1	1	1 =						
		4				2	2	2	2	2	2	2 =				2	2	2	2	2	2	2 =				2	1	1	1	1	1	1						
	101	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2 =				1	1	1	1	2	2	2 =				1	1	1	1	1	2	2 =						
		2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3 =				3	3	3	3	3	3	3 =				3	3	3	3	3	3	3 =						
		3	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2 =				2	2	2	2	2	2	2 =				3	2	2	2	2	3	3 =						
		4	3	3	3	2	3	2	3	2	3	3 =				3	3	2	2	2	2	3 =				3	3	3	3	3	3	3 =						
		5	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2 =				2	2	2	2	2	2	2 =				2	1	3	1	2	2	3 =						
		6	3	2	3	2	2	2	2	2	2	2 =				3	2	3	2	2	2	2 =				3	3	3	2	2	2	3 =						
		7	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2 =				2	2	2	2	2	2	2 =				3	2	3	2	2	3	3 =						
		8				3	3	3	3	3	3	3 =				3	3	3	3	3	3	3 =				3	3	3	3	3	3	3 =						
		9	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3 =				3	3	3	3	3	3	3 =				3	3	3	3	3	3	3 =						
		10	3	3	2	3	2	2	2	2	2	2 =				2	3	2	3	2	2	2 =				3	3	2	3	2	3	3 =						
		11				2	2	2	2	2	2	2 =				2	2	2	2	2	2	2 =				3	2	2	2	2	2	2 =						
	231	1								1	1	1 =								1	1	1 =							1	1	1 =							
		2								2	2	2 =								2	2	2 =							2	2	2 =							
		3								2	2	2 =								2	2	2 =							1	1	1 =							
	281	1								1	1	1 1 =								1	1	1 1 =							1	1	1 1 =							
		2								2	1	1 =								1	1	1 =							1	1	1 =							
		3								3	1	1 =								3	1	1 =							3	1	1 =							
		4								3	2	3 =								2	2	2 =							3	3	3 =							
	292	1								2	2	2 2 =								2	2	2 2 =							2	2	2 2 =							
		2								2	2	2 2 =								2	2	2 2 =							1	1	1 1 =							
		3								2	2	2 2 =								2	2	2 2 =							2	2	2 2 =							

TABELA 32 - CLASSE DE SÍTIO DAS PARCELAS SEGUNDO IDADE E AMPLITUDE CONSIDERADA

Híbrido	Talhão	Parcela	Classificação 1											Classificação 2											Classificação 3											Conclusão.		
			4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13						
I-6351	141	1	2	2	2	2	2	2					=	2	2	2	2	2	2					=	2	2	2	2	1	1								
		2	2	2	2	2	2	2	2					=	2	2	2	2	2	2					=	1	2	1	1	1	1	1	1					
		3	2	2	2	3	3	3	3						2	2	2	2	2	2						1	1	2	3	3	3	3	3					
		4	2	2	2	2	3	2	3						2	2	2	2	2	2						1	1	1	2	2	2	2	3					
		5	2	2	3	3	3	2	2						2	2	2	2	2	2						2	2	2	2	2	2	2	2			=		
	152	1		3	3	2	2	2	2	2				2	2	2	2	2	2	2					3	2	1	1	1	1	1	1						
		2		3	2	2	2	2	2	2				2	2	1	1	1	1	1					2	2	1	1	1	1	1	1						
		3		3	3	2	2	2	2	2				2	2	2	2	2	2	2					3	3	2	2	2	2	2	2						
		4		3	3	2	2	2	2	2				2	2	2	2	2	2	2					3	2	2	2	2	1	1	1						
	171	1	3	3	3	3	3	2	2				3	3	3	3	3	2	2					3	3	3	3	3	2	2								
		2	3	3	3	3	3	3	3				=	3	2	2	2	3	3	2					3	3	3	3	3	3	3				=			
		3	3	3	3	3	3	3	3	3				=	3	3	3	3	3	3	3					=	3	3	3	3	3	3	3				=	
		4	2	2	2	2	3	3	3				2	2	2	2	3	2	1					2	1	1	1	3	3	1								
	251	1		3	3	3	3	3	3	3			=	2	2	2	2	2	2	2					=	3	3	2	2	2	2	2						
		2		2	2	2	2	2	3				=	2	2	2	2	2	2	2					=	2	2	2	2	2	2	2				=		
		3							1	1			=							1	1				=							1	1			=		
		4							2	2			=							2	2				=							1	1			=		
	253	1		3	3	3	3	3	3			=	3	3	3	3	3	3						=	3	3	3	3	3	3					=			
		2							2			=							2					=							2				=			
	282	1								2		=								2				=							2				=			
		2								2		=									2				=							2				=		
	352	1	1	1	2	2	2	2	2	2				1	1	2	2	2	2	2						1	1	1	1	2	2	2						
		2	3	3	1	1	2	1						3	2	1	1	1	1	1						3	2	1	1	1	1	1						
		3	1	1	1	1	1	1	1				=	1	1	1	1	1	1	1					=	1	1	1	1	1	1	1				=		
	371	1		3	2	2	2	2					2	2	2	2	2	2						=	3	1	1	2	2									
		2		3	2	2	2	2					2	2	2	2	2	2						=	3	2	1	2	2									
		3		3	3	3	3	3				=	3	3	3	3	3	3						=	3	3	3	3	3						=			
		4		2	2	2	2	2				=	2	2	2	2	2	2						=	3	1	1	1	2									
	382	1				3	3	3				=					2	2	2					=					3	3	3				=			
		2				3	3	3	3			=					3	3	3	3				=					3	3	3	3			=			
		3				3	3	3	3			=					2	2	2	2				=					3	3	2	2						
		4				3	3	3	3	3	3		=					2	2	2	2	2			=					3	3	3	2	2				
		5				3	2	2	3	3								2	2	2	2	2			=					3	2	2	2	2				
		6				3	2	2	2	3								2	2	2	2	2			=					3	2	2	2	2				
	472	1				2	2	2	2			=					2	2	2	2				=					1	1	1	1			=			
		2				2	2	2	2			=					2	2	2	2				=					2	1	1	2						
		3				2	2	2	2			=					2	2	2	2				=					2	1	1	1						

Nota: A Classificação 1 corresponde à amplitude constante
 A Classificação 2 corresponde à amplitude que considera um desvio padrão
 A Classificação 3 corresponde à amplitude que considera os percentis (± 33%)
 O símbolo "=" identifica uma parcela que não mudou sua classificação no transcorrer do tempo

9.4 APÊNDICE D: OTIMIZAÇÃO DA PROGNOSE EM NÍVEL DE CLASSE DIAMÉTRICA

Com o objetivo de exemplificar a otimização da prognose em nível de classe diamétrica, será desenvolvido um exemplo de aplicação, descrito na seqüência: Fazer a prognose de produção de uma parcela do híbrido I-488, que na atualidade tem 11 anos de idade, uma altura dominante de 29 m e 312,5 árvores ha⁻¹. A idade de prognose será de 12 anos. As funções utilizadas no exemplo forma descritas no corpo da presente pesquisa.

Passo 1. Obter o índice de sítio da parcela:

$$IS = 29 + 10,38836 (\sqrt{10} - \sqrt{12}) = 27,4 \text{ m}$$

Passo 2. Classificar o sítio:

Sítio 1 IS acima de 28,27 m, sítio 3 IS abaixo de 26,57 m e Sítio 2 IS entre os valores citados. Então classe de sítio = 2 ($I_1=I_3=0$; $I_2=1$)

Passo 3. Obter a altura dominante aos 12 anos:

$$H_{dom} = 27,4 + 10,38836 (\sqrt{12} - \sqrt{10}) = 30,5 \text{ m}$$

Passo 4. Obter estimativas em nível de povoamento do Dmédio, G e V.

$$\begin{aligned} D_{médio} &= 5,6789 + 0,0025592 \cdot 30,5 \cdot 312,5 \cdot 0 + 0,0027001 \cdot 30,5 \cdot 312,5 \cdot 1 \\ &\quad + 0,0026426 \cdot 30,5 \cdot 312,5 \cdot 0 = 31,4 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} G &= 0,03273 + 7,8638e-5 \cdot 31,4^2 \cdot 312,5 \cdot 0 + 7,8625e-5 \cdot 31,4^2 \cdot 312,5 \cdot 1 \\ &\quad + 7,8636e-5 \cdot 31,4^2 \cdot 312,5 \cdot 0 = 24,26 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$V = -2,45395 + 0,390955 \cdot 24,26 \cdot 30,5 = 286,82 \text{ m}^3$$

Passo 5. Obter as estimativas de Dmin, Dmax e Dvar

$$\begin{aligned} D_{min} &= -2,8424 + 0,9957 \cdot 31,4 \cdot 0 + 0,9943 \cdot 31,4 \cdot 1 + 0,9973 \cdot 31,4 \cdot 0 \\ &= 28,4 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} D_{max} &= 1,9946 + 1,0213 \cdot 31,4 \cdot 0 + 1,0165 \cdot 31,4 \cdot 1 + 1,0228 \cdot 31,4 \cdot 0 \\ &= 33,9 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Dvar} &= -0,014367 + 1,07515 (31,44^2 - 31,4^2) 0 + 1,07394 (31,44^2 - \\
 &\quad 31,4^2) 1 + 1,07769 (31,44^2 - 31,4^2) 0 \\
 &= 2,685
 \end{aligned}$$

Passo 6. Utilizar uma função probabilística de distribuição diamétrica (método dos momentos) e decidir a amplitude das classes.

Por simplicidade utilizara-se a distribuição Normal com uma amplitude de classe de 1 cm. Deve utilizar-se a função hipsométrica e volumétrica definida para o híbrido I-488.

Na seqüência apresenta-se o resultado da prognose por classe diamétrica.

DAP	Arvore/ha	G/ha	V/ha	h_i	v_i	F Normal
28	9,3	0,57	6,3612	28,2	0,6840	0,03837962
29	26,5	1,75	20,3123	29,2	0,7665	0,12312045
30	52,6	3,72	45,0098	30,2	0,8557	0,29141679
31	72,8	5,49	69,0362	31,1	0,9483	0,52433154
32	70,2	5,65	73,8083	32,1	1,0514	0,74898727
33	47,2	4,04	54,8464	33,1	1,1620	0,90000566
34	22,1	2,01	28,2946	34,1	1,2803	0,97074541

O diâmetro médio foi de 31,3 cm (subestimativa de 0,3%), a densidade foi de 300,7 árvores ha⁻¹ (subestimativa de 3,8%) a área basal foi de 23,23 m² ha⁻¹ (subestimativa de 4,2%) e o volume foi de 297,6688 m³ ha⁻¹ (superestimativa de 3,8%).

Definido o problema de otimização, descrito na Expressão [4] e utilizando o complemento “Solver.xla” de Microsoft Excel 2000 ® obtém-se a estimativa otimizada em nível de classe diamétrica, apresentada na seqüência.

DAP	Arvore/ha	G/ha	V/ha	h_i	v_i	F Normal
28	0,6	0,03	0,3885	28,2	0,6840	0,00186588
29	8,4	0,55	6,4316	29,2	0,7665	0,02871649
30	48,5	3,43	41,5398	30,2	0,8557	0,18406009
31	111,2	8,39	105,4296	31,1	0,9483	0,5398279
32	101,4	8,16	106,6205	32,1	1,0514	0,8643339
33	36,8	3,15	42,7768	33,1	1,1620	0,98213564
34	5,3	0,48	6,7603	34,1	1,2803	0,99903233

O diâmetro médio foi de 31,4 cm, a densidade foi de 312,2 árvores ha⁻¹ (subestimativa de 0,1%) a área basal foi de 24,20 m² ha⁻¹ (subestimativa de 0,2%) e o volume foi de 309,9470 m³ ha⁻¹ (superestimativa de 9,1%). Com exceção do volume, o resto das estimativas são praticamente coincidentes com os valores obtidos em nível do povoamento.

10 ANEXOS

TABELA 33 - FUNÇÕES DE AFILAMENTO AVALIADAS NA PRESENTE PESQUISA

	Autor	Descrição
1	Amidon e Elliot (1983)	$d_i = b_1 DAP x + b_2 \left(h^2 - h_i^2 \right) \left(\frac{h_i - 1,3}{h^2} \right)$
2	Bennett e Swindel (1972)	$d_i = b_1 DAP x + b_2 h (h - h_i) (h - 1,3) + b_3 (h - h_i) (h - 1,3) (h + h_i + 1,3)$
3	Coffré (1983)	$\frac{d_i}{DAP} = b_1 x + b_2 x^2 + b_3 x^3$
4	Forslund (1982)	$\frac{d_i}{DAP} = \left(1 - (z^{b_1}) \right)^{(1/b_2)}$
5	Goulding e Murray (1976)	$\left(\frac{d_i}{DAP} \right)^2 = b_1 y + b_2 y^2 + b_3 y^3 + b_4 y^4 + b_5 y^5$
6	Kozak (1969)	$\left(\frac{d_i}{DAP} \right)^2 = b_1 (z - 1) + b_2 (z^2 - 1)$
7	Kozak (1988)	$d_i = b_1 DAP b_2 b_3 DAP \left[\frac{1 - \sqrt{z}}{1 - \sqrt{0,2}} \right] \left(b_4 z^2 + b_5 \ln(z + 0,001) + b_6 \sqrt{z} + b_7 e^z + b_8 \frac{DAP}{h} \right)$
8	Kozak, <i>et al.</i> (1969)	$\left(\frac{d_i}{DAP} \right)^2 = b_0 + b_1 z + b_2 z^2$
9	Newnham (1988)	$\frac{d_i}{DAP} = x^{1/e} \left(b_0 + b_1 x + b_2 \left(\frac{DAP}{h} \right)^2 + b_3 x^2 \left(\frac{DAP}{h} \right) + b_4 \sqrt{z} + b_5 DAP z \right)$
10	Ormerod (1973)	$\frac{d_i}{DAP} = b_0 x^{b_1}$
11	Pérez (1990)	$d_i = b_1 DAP b_2 \left[\frac{1 - \sqrt{z}}{1 - \sqrt{0,20}} \right] \left(b_3 z^2 + b_4 \ln(z + 0,001) + b_5 \frac{DAP}{h} \right)$
12	Prodan (1965)	$\frac{d_i}{DAP} = b_0 + b_1 z + b_2 z^2 + b_3 z^3 + b_4 z^4$
13	Prodan (1965)	$\frac{d_i}{DAP} = b_0 + b_1 z + b_2 z^2 + b_3 z^3 + b_4 z^4 + b_5 z^5$
14	Reed e Green (1987)	$\left(\frac{d_i}{DAP} \right)^2 = b_0 (1 - z)^{b_1}$
15	Thomas e Parresol (1991)	$\left(\frac{d_i}{DAP} \right)^2 = b_1 (z - 1) + b_2 \text{seno} (b_3 \pi z) + b_4 \text{cot angente} \left(\frac{\pi z}{2} \right)$

Onde:

b₁, ... b_n = coeficientes de regressão

Dap = diâmetro a 1,3 m (cm)

h = altura total da árvore (m)

y = $\frac{h - h_i}{h}$ d_i = diâmetro na altura i (cm)h_i = altura i (m)x = $\frac{h - h_i}{h - 1,3}$ z = $\frac{h_i}{h}$

TABELA 34 - FUNÇÕES DE DISTRIBUIÇÃO DIAMÉTRICA AVALIADAS NA PRESENTE PESQUISA

	Distribuição	Descrição da função de distribuição de probabilidade
1	Beta $a \leq DAP \leq b$ $a > 0$	$f(DAP) = \frac{\Gamma(\alpha + \beta)}{\Gamma(\alpha) \Gamma(\beta)} \frac{(DAP - a)^{\alpha-1} (b - DAP)^{\beta-1}}{(b - a)^{\alpha+\beta-1}}$
2	Gamma	$f(DAP) = \frac{DAP^{\alpha-1} e^{-\frac{DAP}{\beta}}}{\beta^{\alpha} \Gamma(\alpha)}$
3	Log-Normal	$f(DAP) = \frac{1}{DAP \sqrt{2\pi\sigma^2}} e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{\ln(DAP) - \mu}{\sigma} \right)^2}$
4	Normal	$f(DAP) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{DAP - \mu}{\sigma} \right)^2}$
5	S _B de Johnson $0 < \varepsilon < DAP < \varepsilon + \lambda$ $\lambda > 0$ $-\infty < \gamma < \infty$ $\delta > 0$	$f(DAP) = \frac{\delta}{\sqrt{2\pi}} \frac{\lambda}{(DAP - \varepsilon)(\varepsilon + \lambda - DAP)} e^{-\frac{1}{2} \left(\gamma + \delta \ln \left(\frac{DAP - \varepsilon}{\varepsilon + \lambda - DAP} \right) \right)^2}$
6	Weibull 2P $b > 0$ $c > 0$	$f(DAP) = \frac{c}{b} \left(\frac{DAP}{b} \right)^{c-1} e^{-\left(\frac{DAP}{b} \right)^c}$
7	Weibull 3P $0 \leq a < DAP \leq \infty$ $b > 0$ $c > 0$	$f(DAP) = \frac{c}{b} \left(\frac{DAP - a}{b} \right)^{c-1} e^{-\left(\frac{DAP - a}{b} \right)^c}$

Onde:

- α, β = parâmetros da distribuição Beta ou Gamma;
 μ'', σ'' = parâmetros da distribuição Log-Normal;
 μ, σ = parâmetros da distribuição Normal;
 $\delta, \varepsilon, \gamma, \lambda$ = parâmetros da distribuição S_B Johnson;
 a, b, c = parâmetros da distribuição Weibull;
 $DAP > 0$;
 e = função exponencial;
 \ln = Logaritmo natural;
 Γ = função Gamma;

TABELA 35 – MÉTODOS DE AJUSTE UTILIZADOS EM CADA DISTRIBUIÇÃO

Distribuição	Método de ajuste	Estimadores
Beta	Momentos (B1)	<p style="text-align: right;">Continua</p> $\alpha = \frac{(\bar{d} - a) ((b - \bar{d})(\bar{d} - a) - \sigma^2)}{\sigma^2 (b - a)}$ $\beta = \frac{(b - \bar{d}) ((b - \bar{d})(\bar{d} - a) - \sigma^2)}{\sigma^2 (b - a)}$ <p>a = Limite inferior primeira classe diamétrica b = Limite superior última classe diamétrica</p>
Gamma	Momentos (B2) SCOLFORO (1998)	<p>Mesmas funções com a = Diâmetro mínimo Mesmas funções com b = Diâmetro máximo</p>
	Momentos (G1) SCOLFORO (1998)	$\alpha = \frac{2}{\bar{d}}$ $\beta = \frac{\sigma^2}{\bar{d}}$
	Máxima verossimilhança (G2) (NELSON, 1964)	$\alpha = \frac{1 + \sqrt{1 + \frac{4}{3} \left(\text{Ln}(\bar{d}) - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \text{Ln}(d_i) \right)}}{4 \left(\text{Ln}(\bar{d}) - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \text{Ln}(d_i) \right)}$ $\beta = \frac{\bar{d}}{\alpha}$
Log Normal	Momentos ou máxima verossimilhança SCOLFORO (1998)	$\mu'' = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \text{Ln}(d_i)$ $\sigma'' = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \text{Ln}(d_i)^2 - \frac{1}{n} \left(\sum_{i=1}^n \text{Ln}(d_i) \right)^2}{n - 1}}$
Normal	Momentos ou máxima verossimilhança SCOLFORO (1998)	$\mu = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n d_i$ $\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n d_i^2 - \frac{1}{n} \left(\sum_{i=1}^n d_i \right)^2}{n - 1}}$
S _B de Johnson	Máxima verossimilhança (SB1) SCOLFORO (1998)	<p>Para ε e λ conhecidos</p> $f_i = \text{Ln} \left(\frac{d_i - \varepsilon}{\varepsilon + \lambda - d_i} \right)$ $\bar{f} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n f_i$

TABELA 35 – MÉTODOS DE AJUSTE UTILIZADOS EM CADA DISTRIBUIÇÃO

Distribuição	Método de ajuste	Continuação Estimadores
S _B de Johnson	Máxima verossimilhança (SB1) SCOLFORO (1998)	$\sigma_f = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n f_i^2 - \frac{1}{n} \left(\sum_{i=1}^n f_i \right)^2}{n-1}}$ $\delta = \frac{1}{\sigma_f}$ $\gamma = -\frac{\bar{f}}{\sigma_f}$
	Momentos (SB2) JOHNSON e KITCHEN (1971)	<p>Para ε e λ conhecidos</p> $\mu' = \frac{\bar{d} - \varepsilon}{\lambda}$ $\sigma' = \frac{\sigma}{\lambda}$ $\delta \approx \frac{\mu'(1-\mu')}{\sigma'} + \frac{\sigma'}{4} \left(\frac{1}{\mu'(1-\mu')} - 8 \right)$ $\gamma \approx \delta \ln \left(\frac{1-\mu'}{\mu'} \right) + \frac{0,5-\mu'}{\delta}$
	Knoebel-Burkhart (SB3) KNOEBEL e BURKHART (1991)	<p>ε = Diâmetro mínimo -1,3 λ = Diâmetro máximo - ε + 3,8</p> $\delta = \frac{Z_{95}}{\ln \left(\frac{D_{95}^{-\varepsilon}}{\varepsilon + \lambda - D_{95}} \right) - \ln \left(\frac{D_{50}^{-\varepsilon}}{\varepsilon + \lambda - D_{50}} \right)}$ $\gamma = -\delta \ln \left(\frac{D_{50}^{-\varepsilon}}{\varepsilon + \lambda - D_{50}} \right)$
	Moda (SB4) HAFLEY e BUFORD (1985)	<p>Para ε e λ conhecidos</p> $\delta \approx \frac{\lambda}{4\sigma}$ $\gamma = \frac{2 d_m - 2\varepsilon - \lambda}{\lambda \delta} - \delta \ln \left(\frac{d_m^{-\varepsilon}}{\varepsilon + \lambda - d_m} \right)$
	Regressão linear (SB5) ZHOU e McTAGUE (1996)	<p>Para ε e λ conhecidos $D_i = 0,1; 0,2 \dots, 0,8; 0,9$</p> $f_i = \ln \left(\frac{D_i - \varepsilon}{\varepsilon + \lambda - D_i} \right)$ $Z_i = \frac{D_i - \bar{d}}{\sigma}$ $\delta = \frac{\sum_{i=1}^9 f_i Z_i - \frac{1}{9} \sum_{i=1}^9 f_i \sum_{i=1}^9 Z_i}{\sum_{i=1}^9 f_i^2 - \frac{1}{9} \left(\sum_{i=1}^9 f_i \right)^2}$

TABELA 35 – MÉTODOS DE AJUSTE UTILIZADOS EM CADA DISTRIBUIÇÃO

Distribuição	Método de ajuste	Conclusão Estimadores
S _B de Johnson	Regressão linear (SB5) ZHOU e McTAGUE (1996)	$\gamma = \frac{1}{9} \sum_{i=1}^9 Z_i - \delta \frac{1}{9} \sum_{i=1}^9 f_i$
Weibull 2P	Máxima verossimilhança (W2P1) SCOLFORO (1998)	$n = c \left(n \frac{\sum_{i=1}^n d_i^c \ln(d_i)}{\sum_{i=1}^n d_i^c} - \sum_{i=1}^n \ln(d_i) \right)$ $b = c \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n d_i^c}$
	Momentos (W2P2) SCOLFORO (1998)	$\frac{\sigma}{\bar{d}} = \frac{\sqrt{\Gamma\left(1 + \frac{2}{c}\right) - \left(\Gamma\left(1 + \frac{1}{c}\right)\right)^2}}{\Gamma\left(1 + \frac{1}{c}\right)}$ $b = \frac{\bar{d}}{\Gamma\left(1 + \frac{1}{c}\right)}$
	Percentis (W2P3) BAILEY e DELL (1973)	$D_i = 0,2 \text{ e } 0,8$ $y_i = \ln(D_i)$ $x_i = \ln(-\ln(1-i))$ $c = \frac{\sum_{i=1}^2 x_i^2 - \frac{1}{2} \left(\sum_{i=1}^2 x_i\right)^2}{\sum_{i=1}^2 x_i y_i - \frac{1}{2} \sum_{i=1}^2 x_i \sum_{i=1}^2 y_i}$ $b = e^{\left(\frac{1}{2} \sum_{i=1}^2 y_i - \frac{1}{c} \frac{1}{2} \sum_{i=1}^2 x_i\right)}$
Weibull 3P	Máxima verossimilhança (W3P1) Adaptação de SCOLFORO (1998)	Seja a conhecida então $d_i' = d_i - a$; e aplica-se as fórmulas de W2P1
	Momentos (W3P2) Adaptação de SCOLFORO (1998)	Seja a conhecida então $d_i' = d_i - a$; e aplica-se as fórmulas de W2P2
	Percentis (W3P3) Adaptação de SCOLFORO (1998)	Seja a conhecida então $d_i' = d_i - a$; e aplica-se as fórmulas de W2P3

Onde:

\bar{d}	=	diâmetro médio da amostra
σ^2	=	variância dos diâmetros da amostra
n	=	quantidade total de diâmetros na amostra
d_i	=	i -ésimo diâmetro da amostra ($i = 1, 2, \dots, n$)
Z_i	=	valor normal padrão correspondente ao diâmetro do percentil i
D_i	=	diâmetro do percentil i
d_m	=	moda dos diâmetros da amostra

TABELA 36 - FUNÇÕES DE DISTRIBUIÇÃO DIAMÉTRICA ACUMULADA

Distribuição	Descrição
Beta	$F(\text{DAP}) = \frac{\Gamma(\alpha + \beta) \text{DAP}^\alpha \text{hypergeom}[\alpha, 1 - \beta, 1 + \alpha, \text{DAP}]}{\Gamma(\alpha) \Gamma(\beta) \alpha}$
Gamma	$F(\text{DAP}) = \frac{\text{Gammauno} + \text{Gammados}}{\Gamma(\alpha)}$
	$\text{Gammauno} = \frac{\text{DAP}^\alpha \left(\frac{1}{\beta}\right)^\alpha \left(\frac{\text{DAP}}{\beta}\right)^{-\frac{\alpha}{2}} e^{-\frac{\alpha}{2} \left(\frac{\text{DAP}}{2\beta}\right)} \text{WhittakerM}\left(\frac{\alpha}{2}, \frac{\alpha}{2} + \frac{1}{2}, \frac{\text{DAP}}{\beta}\right)}{\alpha(1 + \alpha)}$
	$\text{Gammados} = \frac{\beta \text{DAP}^{\alpha-1} \left(\frac{1}{\beta}\right)^\alpha \left(\frac{\text{DAP}}{\beta}\right)^{-\frac{\alpha}{2}} e^{-\frac{\alpha}{2} \left(\frac{\text{DAP}}{2\beta}\right)} \text{WhittakerM}\left(\frac{\alpha}{2} + 1, \frac{\alpha}{2} + \frac{1}{2}, \frac{\text{DAP}}{\beta}\right)}{\alpha}$
Weibull 2p	$F(\text{DAP}) = 1 - e^{-\left(\frac{\text{DAP}}{b}\right)^c}$
Weibull 3p	$F(\text{DAP}) = 1 - e^{-\left(\frac{\text{DAP} - a}{b}\right)^c}$

Onde:

$$\text{hypergeom}(n, d, z) = \sum_{k=0}^{\infty} \frac{\prod_{l=1}^p \left(\frac{\Gamma(n[l] + k)}{\Gamma(n[l])}\right)^* z^k}{\prod_{l=1}^q \left(\frac{\Gamma(d[l] + k)}{\Gamma(d[l])}\right)^* k!}$$

$$(i = 1 \dots p) \quad n = [n_1, n_2, \dots, n_p]$$

$$(i = 1 \dots q) \quad d = [d_1, d_2, \dots, d_q]$$

$$\text{WhittakerM}(\mu, \nu, z) = e^{-\frac{z}{2}} z^{\left(\frac{1}{2} + \nu\right)} \text{Hypergeom}\left(\left[\frac{1}{2} + \nu - \mu\right], [1 + 2\nu], z\right)$$

TABELA 37 - FUNÇÕES HIPSOMÉTRICAS AVALIADAS NA PRESENTE PESQUISA

	Função	Descrição	Modificação
1	Curtis	$h = b_0 e^{\left(\frac{b_1}{DAP}\right)}$	
2	Emrovic	$h = b_0 \left(\frac{DAP}{1 + DAP}\right)^{b_1}$	
3	Henricksen	$h = b_0 + b_1 \ln(DAP)$	
4	Michaillof	$h - 1,3 = b_0 e^{\left(\frac{-b_1}{DAP}\right)}$	
5	Näslund	$h - 1,3 = \frac{DAP^2}{(b_0 + b_1 DAP)^2}$	
6	Prodan	$h - 1,3 = \frac{DAP^2}{b_0 + b_1 DAP + b_2 DAP^2}$	$h - 1,3 = \frac{DAP^2}{b_0 + b_1 DAP}$
7	Stoffells	$h = b_0 DAP^{b_1}$	
8	Trorey	$h = b_0 + b_1 DAP + b_2 DAP^2$	$h = b_0 + b_1 DAP$
9		$h = b_0 + b_1 DAP$	
10		$h = b_0 + b_1 e^{\left(-\frac{DAP}{100}\right)}$	
11		$h = b_0 + b_1 \frac{1}{DAP + 1}$	
12		$h = b_0 + b_1 \frac{DAP}{DAP + 1}$	
13		$h = b_0 + b_1 \frac{DAP + 1}{DAP}$	
14		$h = b_0 + b_1 \sqrt{DAP}$	
15		$h = b_0 + b_1 \frac{1}{\sqrt{DAP}}$	

TABELA 38 - FUNÇÕES DE ÍNDICE DE SÍTIO AVALIADAS NA PRESENTE PESQUISA

	Função	Descrição	Modificação
1	Chapman-Richards	$H_{dom} = b_0 \left(1 - b_1 e^{(-b_2 \text{ idade})} \right)^{\frac{1}{1-b_3}}$	
2	Prodan	$H_{dom} = \frac{\text{idade}^2}{b_0 + b_1 \text{ idade} + b_2 \text{ idade}^2}$	
3	Schumacher	$H_{dom} = b_0 e^{\left(\frac{-b_1}{\text{idade}} \right)}$	
4	Schumacher	$H_{dom} = b_0 e^{\left(\frac{-b_1}{\text{idade}^{b_2}} \right)}$	
5	Thomasius	$H_{dom} = b_0 e^{\left(b_1 \text{Ln}(\text{idade}) + b_2 (\text{Ln}(\text{idade}))^2 \right)}$	$H_{dom} = b_0 e^{(b_1 \text{Ln}(\text{idade}))}$
6		$H_{dom} = b_0 + b_1 \text{Ln}(\text{idade})$	
7		$H_{dom} = b_0 + b_1 \text{ idade} + b_2 \text{ idade}^2$	
8		$H_{dom} = b_0 + b_1 \text{ idade} + b_2 \text{ idade}^3$	
9		$H_{dom} = b_0 + b_1 \sqrt{\text{idade}} + b_2 \text{ idade}$	$H_{dom} = b_0 + b_1 \sqrt{\text{idade}}$
10		$H_{dom} = b_0 + b_1 \text{ idade} + b_2 \text{ idade}^2 + b_3 \sqrt{\text{idade}}$	$H_{dom} = b_0 + b_1 \sqrt{\text{idade}}$
11		$H_{dom} = b_0 + b_1 \text{ idade} + b_2 \frac{1}{\text{idade}}$	
12		$H_{dom} = b_0 e^{\left(b_1 \frac{1}{\text{idade}} + b_2 \left(\frac{1}{\text{idade}} \right)^2 \right)}$	
13		$H_{dom} = b_0 e^{\left(b_1 \frac{1}{\text{idade}} + b_2 \left(\frac{1}{\text{idade}} \right)^2 + b_3 \left(\frac{1}{\text{idade}} \right)^3 \right)}$	$H_{dom} = b_0 e^{\left(b_1 \frac{1}{\text{idade}} + b_2 \left(\frac{1}{\text{idade}} \right)^2 \right)}$
14		$H_{dom} = e^{\left(b_0 + \frac{b_1}{\text{idade} + 1} \right)}$	
15		$H_{dom} = b_0 \text{ idade}^{b_1}$	

TABELA 39 - FUNÇÕES DE VOLUME AVALIADAS NA PRESENTE PESQUISA

	Função	Descrição	Modificação
1	Berkhout	$V = b_0 DAP^{b_1}$	
2	Dissescu	$V = b_0 + b_1 DAP^2$	
3	Dissescu	$V = b_1 DAP + b_2 DAP^2$	
4	Hohenadl	$V = b_0 + b_1 DAP + b_2 DAP^2$	
5	Honer	$V = \frac{DAP^2}{b_0 + b_1 \frac{1}{h}}$	
6	Kopezky	$V = b_0 + b_1 g$	
7	Meyer	$V = b_0 + b_1 DAP + b_2 DAP^2 + b_3 DAP h + b_4 DAP^2 h$	$V = b_0 + b_1 DAP^2 + b_2 DAP^2 h$
8	Ogaya	$V = DAP^2 (b_0 + b_1 h)$	
9	Prodan	$V = b_0 DAP^{b_1} \ln(DAP)^{b_2} h^{b_3} \ln(h)^{b_4}$	$V = b_0 \ln(DAP)^{b_1} h^{b_2} \ln(h)^{b_3}$
10	Schumacher - Hall	$V = b_0 DAP^{b_1} h^{b_2}$	
11	Spurr	$V = b_0 + b_1 DAP^2 h$	
12	Stoate	$V = b_0 + b_1 DAP^2 + b_2 DAP^2 h + b_3 h$	$V = b_0 + b_1 DAP^2 + b_2 DAP^2 h$
13	Stoate	$V = b_0 + b_1 DAP^2 + b_2 DAP^3 + b_3 h + b_4 \frac{1}{h}$	$V = b_0 + b_1 DAP^3 + b_2 h + b_3 \frac{1}{h}$
14	Takata	$V = \frac{DAP^2 h}{b_0 + b_1 DAP}$	
15		$V = b_1 DAP^2 (h - 1,3)$	

TABELA 40 – INDICADORES DA QUALIDADE DO AJUSTE

Indicador	Descrição
Erro quadrático médio	$EQ = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{n-k}}$
Coefficiente de determinação ajustado	$R^2_a = 1 - (1 - R^2) \frac{n-1}{n-k} = 1 - \frac{SQ_{\text{Erro}} \frac{n-1}{n-k}}{SQ_{\text{Total}}}$
Desvio	$D = \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)}{n}$
Desvio padrão das diferenças	$SD = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - D)^2}{n}}$
Soma de quadrados dos resíduos relativos	$SSRR = \sum_{i=1}^n \left(\frac{y_i - \hat{y}_i}{y_i} \right)^2$
Porcentagem dos resíduos	$PR = \frac{\sum_{i=1}^n \left(\frac{y_i - \hat{y}_i}{y_i} \right)}{n} 100$

Onde

- y_i = variável real sem transformação; ou seja, na função de afilamento (d_i e v_i), na função hipsométrica (h_i), na função de índice de sítio (H_{Dom_i}) e na função de volume (v_i)
 \hat{y}_i = variável estimada sem transformação;
 n = número total de observações;
 k = número total de parâmetros da função.

TABELA 41 – INDICADORES ECONÔMICOS - FINANCEIROS

Indicador	Descrição
Valor Presente das Receitas	$VPR = \sum_{t=0}^n \frac{R_t}{(1+i)^t}$
Valor Presente das Despesas	$VPD = \sum_{t=0}^n \frac{D_t}{(1+i)^t}$
Relação Benefício Custo	$RB/C = \frac{VPR}{VPD}$
Valor Presente Líquido	$VPL = \sum_{t=0}^n \frac{R_t - D_t}{(1+i)^t}$
Valor Uniforme Líquido	$VUL = VPL \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1}$
Valor Esperado da Terra	$VET = VPL \frac{(1+i)^n}{(1+i)^n - 1}$
Taxa Interna de Retorno (i^*)	$i^* \text{ que permite, } \sum_{t=0}^n \frac{R_t - D_t}{(1+i^*)^t} = 0$

Onde:

- n = idade de rotação da plantação (anos);
 t = idade intermediária do talhão (entre 0 e n anos);
 i = taxa de juros ou taxa mínima de atratividade (valor decimal);
 R_t = receitas obtidas no ano t (\$/ha);
 D_t = despesas incorridas no ano t (\$/ha).

TABELA 42 - DESPESAS E RECEITAS ANUAIS DO REGIME PO10 VI R

Categoria	Atividades	Descrição	Ano 0	Ano 1	Ano 2	Ano 3	Ano 4	Ano 5	Ano 6	Ano 7	Ano 8	Ano 9	Ano 10	
Despesa	Florestais	Colheita											209.742	
		Construção de estradas											331.115	
		Construção de cercados	69.069											
		Controle de ervas daninhas		35.000	35.000	35.000	35.000	35.000	35.000	35.000	35.000	35.000		
		Controle de pragas		5.304	5.304	5.304	5.304	21304	5.304	5.304	5.304			
		Irrigação	30.000	36.000	36.000	36.000	36.000	36.000	36.000	36.000	36.000		36.000	
		Plantio	244.560											
		Poda		2.433	3.336	7.228	9.730	11.954						
		Preparo do solo	90.000											
		Receita	Florestais	Volume sortimento 1										
Valor sortimento 1													14.660	
Volume sortimento 2													16	
Valor sortimento 2													10.160	

Unidades de medida: despesas (pesos chilenos hectare ano⁻¹), volume de sortimento (m³ ha⁻¹) e valor do sortimento (Pesos chilenos m⁻³)

TABELA 43 - DESPESAS E RECEITAS ANUAIS DO REGIME PO12 VII R

Categoria	Atividades	Descrição	Ano 0	Ano 1	Ano 2	Ano 3	Ano 4	Ano 5	Ano 6	Ano 7	Ano 8	Ano 9	Ano 10	Ano 11	Ano 12		
Despesa	Florestais	Colheita													209.742		
		Construção de estradas													331.115		
		Construção de cercados	69.069														
		Controle de ervas daninhas		35.000	35.000	35.000	35.000	35.000	35.000	35.000	35.000	35.000	35.000	35.000			
		Controle de pragas		5.304	5.304	5.304	5.304	5.304	5.304	21.304	5.304	5.304	5.304	5.304	5.304		
		Irrigação	30.000	36.000	36.000	36.000	36.000	36.000	36.000	36.000	36.000	36.000	36.000	36.000	36.000		
		Plantio	244.560														
		Poda		2.433	3.336	7.228	9.730	11.954									
		Preparo do solo	90.000														
		Receita	Florestais	Volume sortimento 1													320
Valor sortimento 1															14.660		
Volume sortimento 2															16		
Valor sortimento 2															10.160		

Unidades de medida: despesas (pesos chilenos hectare ano⁻¹), volume de sortimento (m³ ha⁻¹) e valor do sortimento (Pesos chilenos m⁻³)

TABELA 44 - DESPESAS E RECEITAS ANUAIS DO REGIME PO12 VII RCU

Categoria	Atividades	Descrição	Ano 0	Ano 1	Ano 2	Ano 3	Ano 4	Ano 5	Ano 6	Ano 7	Ano 8	Ano 9	Ano 10	Ano 11	Ano 12		
Despesa	Florestais	Colheita													209.742		
		Construção de estradas													331.115		
		Construção de cercados	69.069														
		Controle de ervas daninhas		35.000	35.000	35.000	35.000	35.000	35.000	35.000	35.000	35.000	35.000	35.000			
		Controle de pragas		5.304	5.304	5.304	21.304	5.304	5.304	5.304	21.304	5.304	5.304	5.304	5.304		
		Irrigação	30.000	36.000	36.000	36.000	36.000	36.000	36.000	36.000	36.000	36.000	36.000	36.000	36.000		
		Plantio	244.560														
		Poda		2.433	3.336	7.228	9.730	11.954									
		Preparo do solo	90.000														
		Agrícolas	Semeadura beterraba açucareira	369.242													
				Semeadura de milho	306.930												
Receita	Florestais	Volume sortimento 1													320		
		Valor sortimento 1													14.660		
		Volume sortimento 2													16		
		Valor sortimento 2													10.160		
	Agrícolas	Produção beterraba açucareira		30													
		Valor beterraba açucareira		21.100													
		Produção milho			11												
	Valor milho			94.400													

Unidades de medida: despesas (pesos chilenos hectare ano⁻¹), volume de sortimento (m³ ha⁻¹), valor do sortimento (Pesos chilenos m⁻³), produção agrícola (ton ha⁻¹) e valor da produção agrícola (pesos chilenos ton⁻¹)

TABELA 45 - DESPESAS E RECEITAS ANUAIS DO REGIME PO12 VII RGA

Categoria	Atividades	Descrição	Ano 0	Ano 1	Ano 2	Ano 3	Ano 4	Ano 5	Ano 6	Ano 7	Ano 8	Ano 9	Ano 10	Ano 11	Ano 12		
Despesa	Florestais	Colheita													209.742		
		Construção de estradas													331.115		
		Construção de cercados	69.069														
		Controle de ervas daninhas		35.000	35.000	35.000	35.000	35.000	35.000	35.000	35.000	35.000	35.000	35.000			
		Controle de pragas		5.304	5.304	5.304	21.304	5.304	5.304	5.304	21.304	5.304	5.304	5.304	5.304		
		Irrigação	30.000	36.000	36.000	36.000	36.000	36.000	36.000	36.000	36.000	36.000	36.000	36.000	36.000		
		Plantio	244.560														
		Poda		2.433	3.336	7.228	9.730	11.954									
		Preparo do solo	90.000														
		Pecuárias	Compra de gado	252.500													
			Fertilização pastagem			59.900	59.900	59.900	59.900								
			Inseminação artificial		11.282	11.282	11.282	11.282	11.282	11.282	11.282	11.282	11.282	11.282	11.282		
			Instalação de gado	24.150													
			Instalação pastagem	275.000													
			Manejo do gado	31.051	31.051	31.051	31.051	31.051	31.051	31.051	31.051	31.051	31.051	31.051	31.051	31.051	
Receita	Florestais	Manutenção da cerca elétrica						3.250									
		Volume sortimento 1													320		
		Valor sortimento 1													14.660		
		Volume sortimento 2													16		
	Pecuárias	Valor sortimento 2													10.160		
		Peso bezerro		153	153	153	144	117	81	36	36	36	36				
		Valor bezerro		600	600	600	600	600	600	600	600	600	600				
		Peso vaca			22,5	22,5	157,5	135	180	22,5	22,5	22,5	22,5				
		Valor vaca			460	460	460	460	460	460	460	460	460				
		Peso forragem				3.722	3.722	3.722									
Valor forragem				26,5	26,5	26,5											

Unidades de medida: despesas (pesos chilenos hectare ano⁻¹), volume de sortimento (m³ ha⁻¹), valor do sortimento (Pesos chilenos m⁻³), peso gado (Kg ha⁻¹) e valor do gado (pesos chilenos Kg⁻¹)

TABELA 46 - DESPESAS E RECEITAS ANUAIS DO REGIME PO12 VII RCUGA

Categoria	Atividades	Descrição													Conclusão	
			Ano 0	Ano 1	Ano 2	Ano 3	Ano 4	Ano 5	Ano 6	Ano 7	Ano 8	Ano 9	Ano 10	Ano 11	Ano 12	
Receita	Pecuárias	Peso vaca							22,5	22,5	157,5	135	180	22,5		
		Valor vaca							460	460	460	460	460	460		
		Peso forragem								3.722	3.722	3.722				
		Valor forragem								26,5	26,5	26,5				

Unidades de medida: despesas (pesos chilenos hectare ano⁻¹), volume de sortimento (m³ ha⁻¹), valor do sortimento (Pesos chilenos m⁻³), peso gado (Kg ha⁻¹), valor do gado (pesos chilenos Kg⁻¹), produção agrícola (ton ha⁻¹) e valor da produção agrícola (pesos chilenos ton⁻¹)

TABELA 47 - DESPESAS E RECEITAS ANUAIS DO REGIME PO14 VIII R

Categoria	Atividades	Descrição																
			Ano 0	Ano 1	Ano 2	Ano 3	Ano 4	Ano 5	Ano 6	Ano 7	Ano 8	Ano 9	Ano 10	Ano 11	Ano 12	Ano 13	Ano 14	
Despesa	Florestais	Colheita															209.742	
		Construção de estradas															331.115	
		Construção de cercados	69.069															
		Controle de ervas daninhas		35.000	35.000	35.000	35.000	35.000	35.000	35.000	35.000	35.000	35.000	35.000	35.000			
		Controle de pragas		5.304	5.304	5.304	5.304	5.304	5.304	5.304	21.304	5.304	5.304	5.304	5.304	5.304	5.304	
		Irrigação	30.000	36.000	36.000	36.000	36.000	36.000	36.000	36.000	36.000	36.000	36.000	36.000	36.000	36.000	36.000	
		Plantio	244.560															
		Poda		2.433	3.336	7.228	9.730	11.954										
Receita	Florestais	Preparo do solo	90.000															
		Volume sortimento 1															320	
		Valor sortimento 1																14.660
		Volume sortimento 2																16
		Valor sortimento 2															10.160	

Unidades de medida: despesas (pesos chilenos hectare ano⁻¹), volume de sortimento (m³ ha⁻¹) e valor do sortimento (Pesos chilenos m⁻³)

TABELA 48 - DESPESAS E RECEITAS ANUAIS DO REGIME PO16 IX SR

Categoria Atividades	Descrição	Ano 0	Ano 1	Ano 2	Ano 3	Ano 4	Ano 5	Ano 6	Ano 7	Ano 8	Ano 9	Ano 10	Ano 11	Ano 12	Ano 13	Ano 14	Ano 15	Ano 16
Despesa Florestais	Colheita																	209.742
	Construção de estradas																	331.115
	Construção de cercados	69.069																
	Controle de ervas daninhas			35.000	35.000	35.000	35.000	35.000	35.000	35.000	35.000	35.000	35.000	35.000	35.000	35.000		
	Fertilização	17.448	17.448	17.448			17.448			17.448								
	Plantio	244.560																
	Poda		2.433	3.336	7.228	9.730	11.954											
	Preparo do solo	90.000																
	Receita Florestais	Volume sortimento 1																
Valor sortimento 1																		14.660
Volume sortimento 2																		16
Valor sortimento 2																		10.160

Unidades de medida: despesas (pesos chilenos hectare ano⁻¹), volume de sortimento (m³ ha⁻¹) e valor do sortimento (Pesos chilenos m⁻³)

TABELA 49 - DESPESAS E RECEITAS ANUAIS DO REGIME PO16 X SR

Categoria	Atividades	Descrição	Ano 0	Ano 1	Ano 2	Ano 3	Ano 4	Ano 5	Ano 6	Ano 7	Ano 8	Ano 9	Ano 10	Ano 11	Ano 12	Ano 13	Ano 14	Ano 15	Ano 16	
Despesa Florestais		Colheita																	1.115.999	
		Construção de estradas																	331.115	
		Construção de cercados	69.069																	
		Controle de ervas daninhas	20.288	20.288	20.288	20.288	20.288	20.288	20.288	20.288	20.288	20.288	20.288	20.288	20.288	20.288	20.288	20.288	20.288	20.288
		Controle de pragas		19.071			16.230				8.115									
		Fertilização	17.448	17.448	17.448			17.448				17.448								
		Plantio	139.948																	
		Poda		2.433	3.336	7.226	9.730	11.954												
		Preparo do solo	10.956																	
	Receita Florestais		Volume sortimento 1																	320
		Valor sortimento 1																	14.660	
		Volume sortimento 2																	16	
		Valor sortimento 2																	10.160	

Unidades de medida: despesas (pesos chilenos hectare ano⁻¹), volume de sortimento (m³ ha⁻¹) e valor do sortimento (Pesos chilenos m⁻³)