

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
Curso de Pós-Graduação em Eng. Florestal

Tese de Doutorado

**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.**

EDILSON BATISTA DE OLIVEIRA

Tese apresentada como requisito parcial
à obtenção do grau de Doutor. Curso de
Pós-Graduação em Engenharia Florestal,
Universidade Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Sebastião do Amaral Machado,

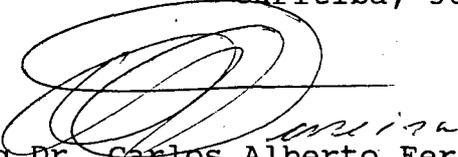
CURITIBA
1995

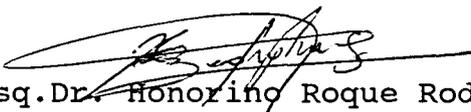
MINISTERIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
SETOR DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
COORDENAÇÃO DO CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA FLORESTAL

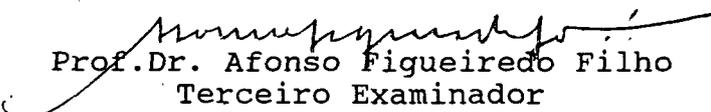
P A R E C E R

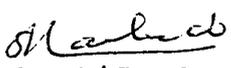
Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal para realizar a arguição da Tese de Doutorado apresentada pelo candidato EDILSON BATISTA DE OLIVEIRA, sob o título "UM SISTEMA COMPUTADORIZADO DE PROGNÓSE DO CRESCIMENTO E PRODUÇÃO DE Pinus taeda L. COM CRITÉRIOS QUANTITATIVOS PARA A AVALIAÇÃO TÉCNICA E ECONÔMICA DE REGIMES DE MANEJO, para obtenção do grau de Doutor em Ciências Florestais - Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal do Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná. Área de concentração em MANEJO FLORESTAL. Após haver analisado o referido trabalho e arguido o candidato são de parecer pela "APROVAÇÃO" da Tese com média final: (9,77), correspondente ao conceito: (A).

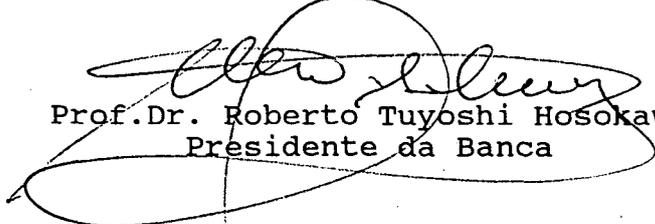
Curitiba, 30 de junho de 1995


Pesq.Dr. Carlos Alberto Ferreira
Primeiro Examinador


Pesq.Dr. Honorino Roque Rodigheri
Segundo Examinador


Prof.Dr. Afonso Figueiredo Filho
Terceiro Examinador


Prof.Dr. Sebastião do Amaral Machado
Orientador


Prof.Dr. Roberto Tuyoshi Hosokawa
Presidente da Banca

Aos meus pais e
à minha esposa.

Dedico.

AGRADECIMENTOS

O autor expressa seus agradecimentos a todos aqueles que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho, especialmente,

- ao Prof. Dr. Sebastião do Amaral Machado, Prof. Titular do Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná, pela orientação segura, incentivo e amizade;
- aos co-orientadores Prof. Dr. Afonso Figueiredo Filho, Pesquisador Dr. Carlos Alberto Ferreira e Prof. Dr. Vitor Afonso Hoeflich, pelas valiosas sugestões e apoio;
- ao Prof. Dr. William Leroy Hafley, da North Carolina State University, amigo e exemplo, pelos ensinamentos e incentivo;
- à Pesquisadora MSc Yeda Maria Malheiros de Oliveira, da Embrapa/CNPQ, com quem iniciamos toda esta pesquisa, pela sua dedicação e capacidade de trabalho;
- ao Prof. Dr. Roberto Tuyoshi Hozokawa, pelos ensinamentos durante o curso e pelas sugestões na tese;
- ao Prof. Dr. Paulo Renato Schneider, da Universidade Federal de Santa Maria, pelas valiosas sugestões apresentadas;
- Aos Engenheiros Florestais Roberto Trevisan, da Empreendimentos Florestais Agloflora, Romualdo Maestri, da Pisa Florestal SA e Ulisses Ribas Junior, do Modo Battistella Reflorestamento SA, pelo apoio na condução do trabalho;

- ao Pesquisador Dr. Derli Dossa, da Embrapa/CNPf, pela revisão dos tópicos de economia e pelas sugestões;
- ao Pesquisador Dr. Honorino Roque Rodigheri, da Embrapa/CNPf, pelas valiosas sugestões;
- ao Pesquisador Dr. Luiz Roberto Graça, da Embrapa/CNPf, pelos conhecimentos transmitidos;
- aos colegas da área de informática da Embrapa/CNPf, Fernando Silvera Goulart Junior e Luiz Cândido Melinski, pelos trabalhos com a elaboração dos softwares, e Marta de Fátima Vencato pelo apoio;
- à EMBRAPA/Centro Nacional de Pesquisa de Florestas pela oportunidade, pelo incentivo e apoio na realização do curso;
- ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, pela concessão de bolsa de estudos.

BIOGRAFIA DO AUTOR

EDILSON BATISTA DE OLIVEIRA nasceu em Lavras-MG em 08 de agosto de 1955.

Em 1976 ingressou no Curso de Agronomia da Universidade Federal de Lavras, graduando-se em 1979.

Em Janeiro de 1980, ingressou na Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária EMBRAPA, exercendo suas funções de pesquisador na EMBRAPA do Estado do Acre.

Realizou seu mestrado em Estatística pela Universidade de São Paulo (USP/ESALQ) de 1982 a 1984.

Desde 1985 trabalha no Centro Nacional de Pesquisa de Florestas da EMBRAPA em Colombo-PR, atuando nas áreas de Estatística e Manejo de Florestas.

Em 1992, iniciou o Curso de Doutorado em Manejo de Florestas, no Curso de Pós-graduação em Engenharia Florestal da Universidade Federal do Paraná.

SUMÁRIO

	Pág.
LISTA DE TABELAS	ix
LISTA DE FIGURAS	xi
RESUMO	xiii
ABSTRACT	xvi
1. INTRODUÇÃO	01
1.1. Objetivos	03
1.1.1. Gerais	03
1.1.2. Específicos.....	04
2. REVISÃO DE LITERATURA	05
2.1. Sistemas de Prognose do Crescimento e Produção.....	05
2.1.1. Considerações sobre o Planejamento Florestal	05
2.1.2. Desenvolvimento dos Estudos sobre Modelagem de Crescimento e Produção	07
2.1.3. Modelos de distribuição diamétrica.....	08
2.1.4. Modelos de Mortalidade.....	13
2.1.5. Funções de Afilamento nos modelos de crescimento e produção.....	16
2.2. Planejamento e Análise Econômico-Financeira de Projetos Florestais	21

3. MATERIAL E MÉTODOS	26
3.1. Material	26
3.2. Sistema para prognose do crescimento e produção de <i>P. taeda</i>	27
3.2.1. Distribuições S_B e S_{BB}	27
3.2.1.1. Distribuições S_B	30
3.2.1.2. Distribuição S_{BB}	35
3.2.1.3. Ajuste de Distribuições	37
3.2.2. Equação de Sítio	38
3.2.3. Modelagem de Mortalidade	38
3.2.4. Estimativa da Produção	42
3.2.5. Simulação de desbastes	43
3.2.6. Função de Afilamento	47
3.3. Critérios de Avaliação Econômica da Exploração Florestal	48
3.3.1. Valor Presente Líquido (VPL) de um Fluxo Financeiro	49
3.3.2. Valor Uniforme Líquido (VUL)	50
3.3.3. Taxa Interna de Retorno (TIR)	50
3.3.4. Razão Benefício-Custo (B/C)	53
3.3.5. Valor Esperado da Terra (VET)	53
3.3.6. Análise de Sensibilidade	55
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	56
4.1. Sistema para prognose do crescimento e produção de <i>P. taeda</i>	56
4.1.1. Estimativas dos parâmetros da distribuição S_{BB}	56

4.1.2. Funções de Afilamento	58
4.1.3. O Software SISPINUS.....	63
4.2. Análise Econômico-Financeira	78
4.2.1. O software PLANIN.....	79
4.2.2. O Software REPLAN	88
4.3. Comparação entre regimes de manejo	92
4.3.1. Regimes de Manejo com a mesma idade de Rotação.....	93
4.3.1.1. Tomadas de decisão utilizando-se o método da Taxa Interna de Re- torno e método do Valor Presente Líquido.....	93
4.3.1.2. Tomadas de decisão utilizando a Taxa Interna de Retorno e o Valor Uniforme Líquido	94
4.3.1.3. Razão Benefício-Custo (B/C).....	96
4.3.1.4. Valor Esperado da Terra (VET)	98
4.3.2. Regimes de Manejo com diferentes idades de Rotação Final.....	99
4.4. Análise de Sensibilidade - Comparação de resultados quando são altera- dos Custos e Preços diversos, Taxas de Juros e Idade de Rotação	100
5. CONCLUSÕES.....	108
APÊNDICE.....	111
6. LITERATURA CITADA.....	126

LISTA DE TABELAS

	Pág.
TABELA 1. Regimes de manejo de <i>P. taeda</i> utilizados no estudo.....	112
TABELA 2. Produção de Regimes de Manejo por classe de utilização da ma- deira	113
TABELA 3. Custos considerados para a produção e preços de madeira de <i>Pinus</i> na região de Curitiba-PR em Junho/1994.....	114
TABELA 4. Equações para a estimativa dos parâmetros da distribuição S_{BB} ..	57
TABELA 5. Estimativas dos coeficientes dos modelos testados, coeficientes de determinação ajustados (R^2_{aj}), erros padrões das estimativas ($S_{yx\%}$) e valores de F.....	58
TABELA 6. Fluxo de Receitas e Custos e critérios para Análise de Investi- mento para o Regime de Manejo R1. Taxa de Atratividade=10.0%	115
TABELA 7. Fluxo de Receitas e Custos e critérios para Análise de Investi- mento para o Regime de Manejo R2 a R6. Taxa de Atratividade = 10.0%.....	116
TABELA 8. Fluxo de Receitas e Custos e critérios para Análise de Investi- mento para o Regime de Manejo R7 a R12. Taxa de Atrativida- de = 10.0%.....	117
TABELA 9. Fluxo de Receitas e Custos e critérios para Análise de investi- mento para o Regime de Manejo de Manejo R13 a R19. Taxa de Atratividade = 10.0%.....	118

TABELA 10. Fluxo de Receitas e Custos e critérios para Análise de Investimento para o Regime de Manejo R20 a R25. Taxa de Atratividade = 10.0%	119
TABELA 11. Análise de sensibilidade do Valor Presente Líquido e do Valor Uniforme Líquido para os regimes de manejo R4 e R20, a diferentes Taxas de Atratividade	120
TABELA 12. Critérios de avaliação econômica dos regimes de manejo R20 e R25. Taxa de Atratividade = 10.0%.....	121
TABELA 13. Critérios para avaliação econômica do regime de manejo R14, em função de variações nas Taxas de Atratividade (A), Idades de Rotação (B), Custos de Implantação e Manutenção (C), Custos de Exploração (D) e Preços da Madeira.....	122
TABELA 14. Valores Uniformes Líquidos do regime de manejo R14 sem considerar os Custos de Implantação e Manutenção e sem considerar os Custos de Exploração, em função de variações nas Taxas de Atratividade.....	125

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
FIGURA 1. Valores das relações entre Assimetria e Curtose apresentados pelas distribuições	11
FIGURA 2. Taxa de Mortalidade (a) e Mortalidade Acumulada (b) de um povoamento hipotético de <i>Pinus</i>	15
FIGURA 3. Localização dos povoamentos utilizados na elaboração do modelo de crescimento e produção e das equações de sítio	28
FIGURA 4. Altura Total (H) em relação dos Diâmetros à Altura do Peito (D) das árvores de <i>P. taeda</i> utilizadas no ajustamento das equações de Afilamento	29
FIGURA 5. Representações gráficas da distribuição S_b com diferentes estimativas de parâmetros	34
FIGURA 6. Frequência de diâmetros em função de tipos de desbastes	45
FIGURA 7. Exemplo de tendência do Valor Presente Líquido em função de diferentes taxas de Atratividade	52
FIGURA 8. Representação gráfica da função de forma obtida com o modelo de Prodan	59
FIGURA 9. Resultados apresentados pelo software REPLAN	91
FIGURA 10. Tendência do Valor Presente Líquido (VPL) dos regimes de Manejo R4 e R20, em função de diferentes Taxas de Atratividade	95

FIGURA 11. Tendência do Valor Uniforme Líquido (VUL) dos regimes de Manejo R4 e R20, em função de Taxas de Juros	97
FIGURA 12. Análise de sensibilidade do Valor Uniforme Líquido (VUL) às variáveis estudadas	102
FIGURA 13. Valores Uniformes Líquidos (VUL) do regime de manejo R14 sem considerar os Custos de Exploração, em função de variações nas Taxas de Atratividade	104
FIGURA 14. Valores Uniformes Líquidos (VUL) em função de Idades de Rotação a diferentes taxas de atratividade (%)	105
FIGURA 15. Valores Uniformes Líquidos (VUL) considerando-se um acréscimo de 30% no preço da madeira para Laminação Especial (Diâmetro > 35.0 cm), em função de Idades de Rotação e Taxas de Atratividade.....	106

RESUMO

O presente trabalho teve os seguintes objetivos gerais: (1) desenvolver um sistema computadorizado que integre métodos de engenharia econômica a um simulador de crescimento e produção de povoamentos de *Pinus taeda* L., implantados na Região Sul do Brasil, e (2) avaliar sua aplicação nas atividades de manejo e planejamento da produção destas florestas. O sistema desenvolvido foi constituído por três softwares: (a) o simulador SISPINUS -Versão 2.0, elaborado a partir da primeira versão do "NCSU Simulator- SISPINUS", de forma a possibilitar, além da simulação de desbastes e do crescimento e produção anual do povoamento, o sortimento de madeira por classe diamétrica para usos múltiplos das árvores provenientes de desbastes e do corte final; (b) o software PLANIN, que possibilita o cálculo dos parâmetros de avaliação econômico-financeira e a análise de sensibilidade da rentabilidade a diferentes taxas de atratividade; e (c) o software REPLAN, que gerencia um banco de dados sobre rentabilidade de regimes de manejo, tendo por base o índice de sítio, a taxa de atratividade e a idade de rotação do povoamento. Visando o embasamento teórico para a elaboração destes software e a análise de seus resultados, foram definidos os seguintes objetivos específicos: (1) estudar as distribuições de probabilidades S_B e S_{BB} , utilizadas pelo simulador; (2) ajustar modelos de crescimento e produção através das estimativas dos parâmetros destas distribuições; (3) ajustar funções de

afilamento do tronco para o cálculo do volume total de madeira e sortimento de madeira para usos múltiplos; e (4) estudar os principais critérios de análise econômico-financeira, que podem ser utilizados na avaliação de regimes de manejo e nas decisões sobre épocas e intensidades ideais de desbastes e idade ideal para o corte final. Os dados utilizados na estimativa dos parâmetros das distribuições foram provenientes de inventários florestais contínuos das Florestas Nacionais de Irati-PR, Três Barras-SC e São Francisco de Paula-RS. Para a obtenção das equações de afilamento e de volume foram utilizados dados provenientes de plantios comerciais estabelecidos em Rio Negrinho-SC. Foram simulados e avaliados, economicamente, 25 regimes de manejo. O regime de manejo que apresentou maior rentabilidade, para os custos de produção e preços estipulados, foi aquele com plantio de 2500 árvores/ha e com corte final aos 22 anos, após a realização de 3 desbastes: o primeiro aos 8 anos (sistemático, removendo 1 em cada 3 linhas, seguido de seletivo, mantendo até 1200 árvores de melhor qualidade por hectare); o segundo, aos 12 anos (seletivo, removendo as árvores de pior qualidade, até 40% da população), e o terceiro aos 16 anos (seletivo, removendo as piores árvores, até 30% da população). Através desse regime de manejo, mas com corte final aos 20 anos, foi efetuada a análise de sensibilidade da rentabilidade da produção madeireira para variações de preços de madeira, taxas de atratividade, idades de rotação e custos de implantação, manutenção e exploração. A distribuição S_{BB} demonstrou flexibilidade e eficiência na descrição das características dos povoamentos em diferentes idades. A eficácia do

SISPINUS -Versão 2.0 foi comprovada através de comparações entre as simulações e os dados de campo. O desenvolvimento dos softwares PLANIN e REPLAN viabiliza a análise econômica da produção de madeira, através de vários critérios de avaliação e torna possível a tomada e decisão sobre regimes ideais de manejo. A integração dos três softwares permite uma visão conjunta dos fatores biológicos e econômicos, possibilitando a configuração de diversos cenários para o planejamento da produção florestal, tendo por base a produção de madeira para diferentes finalidades e variações nos diversos centros de custos e preços, e nas taxas de atratividade.

ABSTRACT

This work aimed at (1) developing a computerized system which joins economic engineering methods to a yield and growth simulator for Southern Brazilian *Pinus taeda* L. forests, and (2) evaluating its use on their management and production planning. The developed system has three modules: (a) the simulator -- SISPINUS - Version 2 -- developed from "NCSU Simulator - SISPINUS" which simulates thinnings, annual growth and yield and sorts wood for multiple uses according to diameter classes; (b) PLANIN, a software for the calculus of economic and financial evaluation parameters and sensitivity analysis of profitability at different discount rates; and, (c) REPLAN, a software which manages a data bank on the profitability of different management systems, based on site indexes, discount rates and rotation cycle of the forest. To the establishment of a theoretical basis for the development of these softwares, the following specific objectives were sought: (1) study of the S_B and S_{BB} distributions used by the simulator; (2) the fitting of yield and growth models through estimates of these distribution parameters; (3) the fitting of taper functions for the calculus of total volume of wood and wood assortments for multiple uses; and (4) study the main criteria for economic and financial analysis that can be used in the evaluation of management systems and on decisions about timing and intensity of thinnings and ideal rotation age. Continuous inventories of National Forests of Irati-PR, Três Barras-SC and São Francisco de Paula supplied data for the estimation of distribution parameters. Commercial forests located in Rio Negrinho-SC were used in the determination of taper equations. 25 management systems were simulated and economically evaluated. The regime consisting of

plantation of 2,500 trees per hectare, final cut at 22 years and thinnings at 8 years (a systematic thinning eliminating every other third line followed by a selective thinning leaving the 1200 best trees in the hectare), 12 years (a selective thinning with removal of worst trees, leaving 40% of the population) and at 16 years old (a selective thinning with removal of the worst trees, leaving 30% of the population) was considered the regime with better profitability for prices and production costs considered. The sensitivity analysis of profitability of wood production with different wood prices, discount rate, rotation ages and costs of plantation, maintenance and harvesting, was made in a system managed with the same thinning strategy but with final cut at 20 years. S_{BB} distribution was flexible and efficient to describe stand characteristics at different ages. The efficiency of SISPINUS - Version 2.0 was determined through comparisons of simulation and data field. The development of PLANIN and REPLAN make possible the economic analysis of wood production with different evaluation criteria and the decision making about ideal management systems. The integration of the three softwares allow an integrated view of biological and economical factors. It also allowed the construction of various scenarios in the planning of forest production, considering the production of wood for different purposes and changes in prices, costs and rates of return.

1. INTRODUÇÃO

A política brasileira de incentivos fiscais ao florestamento/reflorestamento, vigente de 1966 a 1987, possibilitou a implantação de cerca de 1,8 milhões de hectares com espécies de *Pinus*, cuja distribuição está fortemente concentrada nos Estados de São Paulo, Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul.

O objetivo inicial da produção madeireira destas florestas era abastecer o setor de papel e celulose. Entretanto, com as reservas de florestas naturais se esgotando ou sendo incluídas em áreas de preservação, aumentou-se a demanda de *Pinus* para a produção de madeira serrada e de lâminas.

A existência da referida extensão de área plantada com *Pinus*, aliada à diversificação das possibilidades de utilização da matéria prima, bem como às variações de preços de madeira e custos envolvidos na produção e exploração, justificam o desenvolvimento de métodos de gerenciamento e planejamento florestal que possibilitem a análise de informações e tomadas de decisão em função das condições de mercado ou da demanda da própria empresa.

Dentre estes métodos, destacam-se:

I. Métodos biométricos para planejamento florestal, com enfoque à prognose do crescimento e da produção da floresta, que consistem de técnicas que utilizam uma série de funções matemáticas de forma conjunta e sequencial, e cujo objetivo é a obtenção de estimativas de variáveis envolvidas no crescimento e na produção dos povoamentos florestais;

II. Métodos de avaliação econômico-financeira e de planejamento e otimização, que consideram os critérios econômicos para avaliação de projetos de

investimentos, envolvendo engenharia econômica e a programação matemática.

É fundamental que um modelo de prognose do crescimento e da produção de povoamentos de *Pinus* possibilite a simulação de desbastes e a separação das estimativas de volume total de madeira em volumes parciais, estimados especificamente para segmentos dos troncos com dimensões adequadas a cada finalidade industrial. Para que isto seja possível, este modelo deve estar baseado em funções de distribuição de probabilidades que descrevam as distribuições de diâmetro e altura das árvores do povoamento em diversas condições de sítio, idade e número de árvores por hectare.

A integração de um modelo de prognose do crescimento e da produção com as técnicas de engenharia econômica, em um sistema computadorizado, possibilita uma visão conjunta de fatores biológicos e econômicos, permitindo, através de um processo de simulação, uma rápida configuração de cenários para o planejamento da produção florestal com otimização da produção madeireira e dos retornos financeiros.

1.1. Objetivos

O presente trabalho tem os seguintes objetivos:

1.1.1. Gerais

a) Estabelecer um sistema computadorizado para prognose do crescimento e produção de florestas de *Pinus taeda* L., que possibilite a simulação de desbastes e do crescimento e produção anual do povoamento, a obtenção de tabelas de sortimento de madeira por classe diamétrica, para múltiplos usos das árvores provenientes de desbastes e do corte final. O sistema deverá dar suporte às análises econômico-financeiras de regimes de manejo, e deverá ser estruturado para contemplar todos os segmentos de custos operacionais referentes às atividades de implantação, manutenção e exploração da floresta.

b) Avaliar sua aplicação nas atividades de manejo e no planejamento da produção destas florestas, simulando regimes de manejo e avaliando a repercussão de diferentes cenários de preços de madeira, custos de produção e taxas de atratividade na análise econômico-financeira.

1.1.2. Específicos

a) Estudar as funções de distribuição de probabilidade S_B e S_{BB} e estimar seus parâmetros para povoamentos de *Pinus taeda* L. estabelecidos na Região Sul do Brasil;

b).Ajustar modelos de crescimento e produção tendo por base estas estimativas de parâmetros;

c).Obter equações de afilamento do tronco visando a quantificação do volume total e sortimento de madeira para usos múltiplos;

d).Estudar critérios de análise econômico-financeira, que podem ser utilizados na avaliação de regimes de manejo, visando subsidiar os processos decisórios quanto a épocas e intensidades de desbastes e idade do corte final de povoamentos de *Pinus taeda* L.

e) Comparar regimes de manejo de *Pinus taeda* L. através dos softwares desenvolvidos.

2. REVISÃO DE LITERATURA

A revisão de literatura será dividida em dois tópicos. No primeiro, serão apresentados os temas que envolvem a prognose do crescimento e produção florestal com destaque para o planejamento e a modelagem de crescimento e produção. No segundo, serão observados os aspectos de análise econômico-financeira, envolvendo as técnicas de engenharia econômica na análise de projetos florestais.

2.1. Sistemas de Prognose do Crescimento e Produção

2.1.1. Considerações sobre o Planejamento Florestal

Planejar a produção de uma floresta significa definir os objetivos pretendidos, ou seja, os “Retornos de Investimentos” e prever em termos de longo prazo a produção total, incluindo todos os cortes a serem realizados no povoamento, quais sejam: desbastes, cortes seletivos, cortes para regeneração, corte final, etc. Trata-se do ordenamento de uma floresta tanto em otimização da produção madeireira, da produção financeira, quanto da produção de benefícios indiretos (sociais e ecológicos) a um custo mínimo, sejam eles custos de produção, custos sociais, ou custos ecológicos. (HOSOKAWA, 1981).

HOSOKAWA & MENDES (1984) destacaram que o planejamento florestal pode, basicamente, ser realizado nos seguintes níveis: (1) Planejamento da Produção Florestal, (2) Planejamento da Empresa Florestal, (3) Planejamento

Florestal Regional, (4) Planejamento Florestal Integrado e (5) Planejamento do Setor Florestal. Os dois primeiros níveis pertencem estritamente ao âmbito florestal e neles são analisados, a nível de produção contínua de matéria prima, os aspectos de classificação de produtividade, de previsão, controle e sustentabilidade da produção. A nível de empresa como um todo, realiza-se a definição de critérios de investimentos, o planejamento do uso de fatores de produção e de finanças, o planejamento de informações e fluxo de dados, o prognóstico da potencialidade de crescimento econômico e a previsão do retorno de investimentos. Nos demais níveis, o planejamento florestal se aprofunda, envolvendo aspectos político-econômicos a nível regional, nacional e internacional.

Estes níveis são interligados e têm por base a necessidade do conhecimento técnico e econômico de todos os segmentos que cada um abrange.

Para o planejamento da produção e da empresa florestal é fundamental o conhecimento do estoque de crescimento e da produção futura da floresta, que pode ser obtido com técnicas de modelagem de crescimento e de produção. Estas técnicas tornam possíveis a avaliação de intervenções silviculturais e a realização de análises econômico-financeiras. Assim, pode-se configurar diferentes situações para fundamentar um processo de tomada de decisão.

2.1.2. Desenvolvimento dos Estudos sobre Modelagem de Crescimento e Produção

SPURR (1952) apresentou uma ampla revisão do histórico do desenvolvimento e evolução do estudo de crescimento e produção e destacou que desde o século XVIII já se trabalhava com tabelas de produção que forneciam volume médio dos povoamentos em várias idades e crescendo em vários sítios.

No segundo quarto do século XX, ocorreram significativos avanços em metodologia estatística, como técnicas de regressão múltipla, que possibilitaram a elaboração de tabelas de produção envolvendo, simultaneamente, como variáveis independentes: densidade do povoamento, idade e índice de sítio (SULLIVAN, 1969).

MACHADO (1978) destaca que os trabalhos de BUCKMAN (1962) e CLUTTER (1963), sobre compatibilidade de modelos, abriram uma nova fase nos estudos de modelagem de crescimento e produção. Antes destes estudos, geralmente a soma dos incrementos periódicos de produção, prognosticados com os modelos de crescimento, apresentavam resultados diferentes da produção final prognosticada através do modelo de produção. O conceito de modelos compatíveis, apresentado por CLUTTER (1963), requer que a forma algébrica do modelo de produção possa ser obtida pela integração do modelo de crescimento.

Outro passo importante nos estudos de modelagem de crescimento e produção foi o início da utilização de modelos biológicos, como o modelo de Chapman-Richards introduzido na ciência florestal por TURNBULL (1963). Estes modelos são baseados em teorias biológicas do crescimento de seres vivos e, geralmente, são funções que descrevem sigmóides delimitadas por assíntotas

horizontais.

Com a evolução da ciência da computação, os processos matemáticos para determinação dos coeficientes dos modelos e de suas aplicações práticas nas atividades de planejamento florestal deixaram de ter limitações. Os sistemas de prognose do crescimento e produção tornaram-se integrados envolvendo muitos componentes interrelacionados. As técnicas tornaram-se mais refinadas envolvendo funções de densidade de probabilidade e funções de mortalidade.

2.1.3. Modelos de distribuição diamétrica

Os modelos que utilizam distribuições probabilísticas ocupam lugar de destaque na modelagem do crescimento e da produção florestal.

ALDER (1980), CLUTTER *et alii* (1983) e DAVIS & JOHNSON (1987), na classificação dos modelos de crescimento e produção, basicamente consideraram três tipos de modelos:

I. Modelos globais, que fornecem apenas uma estimativa geral da produção por unidade de área.

II. Modelos por classe diamétrica, que possibilitam a prognose do número de árvores por classe de diâmetro. A altura, o volume e outras características do povoamento podem ser associadas a cada uma destas classes.

III. Modelos de árvore individual, que consideram características de árvores individuais para a prognose do crescimento e produção do povoamento.

Os modelos por classe diamétrica utilizam funções de densidade de probabilidade para obtenção das frequências das árvores em cada classe de

diâmetro. As variáveis independentes mais comuns para as prognoses são o número de árvores por hectare, a idade e a altura dominante do povoamento.

Várias Funções de Densidade de Probabilidade têm sido utilizadas para a descrição de distribuição de diâmetros em povoamentos florestais, com diferentes níveis de sucesso. Alguns exemplos são: Log-normal (BLISS & REINKER, 1964), Gamma (NELSON, 1964), Beta (CLUTTER & BENNETT, 1965), Weibull (BAILEY & DELL, 1973), SB de Johnson (HAFLEY & SCHREUDER, 1977).

No Brasil, COUTO (1980) trabalhando com *Pinus caribaea* e GLADE (1986) com *Eucalyptus grandis* comparam a eficiência das distribuições Normal, Log-normal, Gama, Beta, de Weibull e a SB de Johnson. COUTO (1980) concluiu que as distribuições que apresentaram os melhores ajustes foram a de Weibull e a Normal. GLADE (1986) concluiu que as distribuições de Weibull, a SB e a Beta ajustaram-se satisfatoriamente, sendo a primeira melhor.

MACHADO *et alii* (1980) também estudaram a aplicação destas distribuições aos diâmetros dos produtos dos três primeiros desbastes de plantações de *Pinus taeda* L., no Estado do Paraná, levando em consideração a influência do sítio e da idade. Em relação ao fator sítio a distribuição Beta foi a que melhor se ajustou no primeiro desbaste e a Log-normal para o segundo e terceiro desbastes. Em relação ao fator idade, a distribuição SB foi a mais adequada ao primeiro desbaste e a Log-normal ao segundo e terceiro desbastes.

A distribuição de Weibull foi utilizada para a elaboração de modelos de predição presente e futura da produção por SCOLFORO (1990) para *Pinus caribaea* var. *hondurensis*.

HAFLEY & SCHREUDER (1977) compararam as distribuições Beta, SB de

Johnson, Weibull, Log-normal, Gamma e Normal, em termos de flexibilidade em assumir diferentes formas para a descrição de distribuição de diâmetros. Estes autores basearam-se nas relações possíveis entre o coeficiente de assimetria ao quadrado e o coeficiente de curtose, utilizando a metodologia descrita por JOHNSON & KOTZ (1970), em que cada coeficiente é representado em um dos eixos de um sistema cartesiano e os valores das relações possíveis são plotados sobre o plano resultante. Estes autores concluíram que a distribuição Normal é a menos flexível, resultando apenas em um ponto possível. As distribuições de Weibull, Gamma e Log-normal resultaram em linhas, o que demonstra suas capacidades de assumir formas variadas, entretanto, as distribuições Beta e SB foram as mais flexíveis porque as relações entre os coeficientes ocupam áreas dentro do plano cartesiano (Figura 1).

O critério de decisão para a realização de desbastes seletivos não é apenas em função de diâmetros. Leva-se em conta, além de aspectos qualitativos como bifurcação e tortuosidade, a altura das árvores. Quando a correlação entre diâmetros e alturas é muito elevada, um modelo univariado baseado apenas na distribuição de diâmetros, é suficiente para gerar estimativas precisas do crescimento e produção. Entretanto, na medida em que esta correlação se reduz, a precisão do modelo também se reduz.

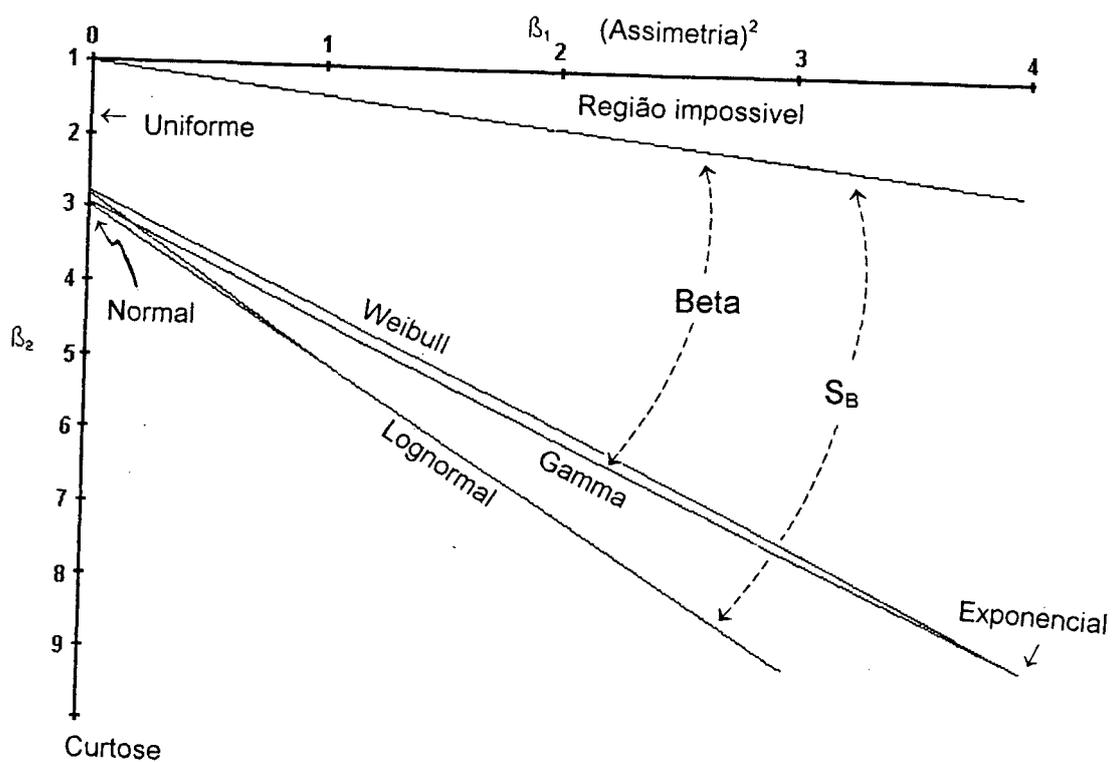


Figura 1. Valores das relações entre Assimetria e Curtose apresentados pelas distribuições. Fonte: HAFLEY & SCHREUDER (1977)

SCHREUDER & HAFLEY (1977) apresentaram uma extensão bivariada da distribuição S_B , a S_{BB} (JOHNSON 1949b) para a descrição da distribuição marginal conjunta de diâmetros e alturas das árvores. Estes autores destacaram que uma distribuição bivariada possibilita uma melhor descrição das características dos povoamentos, nas diferentes idades, porque considera as medições de diâmetros e alturas de forma interrelacionadas.

Anteriormente, HAFLEY & SCHREUDER (1976), com este mesmo objetivo, haviam estudado as formas bivariadas das distribuições Weibull, Log-normal e Gamma, entretanto, concluíram que nenhuma destas distribuições (na forma bivariada) poderia ser utilizada sob o ponto de vista florestal, devido à impossibilidade de associação de seus parâmetros às relações diâmetro-altura.

HAFLEY *et alii* (1982), aplicando a distribuição S_{BB} , apresentaram uma série de tabelas de produção de plantios de *Pinus taeda* não desbastados. HAFLEY & BUFFORD (1985) expandiram a distribuição S_{BB} para a prognose do crescimento e produção de povoamentos florestais em que são praticados desbastes.

Estes trabalhos serviram de base para que HAFLEY elaborasse um simulador denominado "NCSU - Managed Pine Plantation Growth & Yield Simulador", que foi a base do desenvolvimento do SISPINUS - Simulador do Crescimento e Produção de *Pinus elliottii* Engelm. e *Pinus taeda* L. no Brasil, conforme OLIVEIRA *et alii* (1989) e OLIVEIRA & OLIVEIRA (1992).

Na linha de otimização, o SISPINUS foi utilizado por CARNIERI *et alii* (1991), como base geradora de dados de crescimento e produção, para um sistema computadorizado de otimização para planejamento da empresa a longo prazo e por AHRENS (1992) para um estudo da aplicação da programação dinâmica na

determinação de regimes de manejo otimizados.

2.1.4. Modelos de Mortalidade

Segundo SOMERS *et alii* (1980), nas predições de crescimento a curto prazo, o componente de mortalidade pode ser desprezível, entretanto, este componente passa a ter fundamental importância nas predições a longo prazo. Praticamente todos os sistemas modernos incluem modelos específicos para estimativa da sobrevivência.

Existe uma forte tendência dos métodos de predição do crescimento e da produção florestal modelarem a mortalidade explicitamente e em separado, de forma a proporcionar estimativas mais precisas e acuradas da produção florestal, permitindo, inclusive, maior flexibilidade na modelagem de povoamentos submetidos a diferentes regimes de manejo (SANQUETTA, 1990).

Segundo HAFLEY & BUFORD (1985) um modelo para a descrição da mortalidade cumulativa de um povoamento equiâneo deve ser monotonicamente crescente tendendo a uma assíntota, tem um ponto de inflexão e possibilita a obtenção de uma curva unimodal de taxa de mortalidade. Uma classe de funções que apresenta estas características é a das funções de distribuição acumulada como definida a seguir, e conforme a Figura 2.

$$N_0 F(t) = N_0 \int_0^t f(x) dx \quad (\text{contínua})$$

$$N_0 F(t) = N_0 \sum_{x=1}^t f(x) dx \quad (\text{discreta})$$

onde:

$N_0 F(t)$ = mortalidade acumulada t,

$N_0 [1 - N_0 f(t)]$ = sobrevivência,

$N_0 f(t)$ = taxa de mortalidade,

N_0 = número de árvores vivas,

$F(t)$ = função de distribuição acumulada e

$f(x)$ = função de densidade de probabilidade.

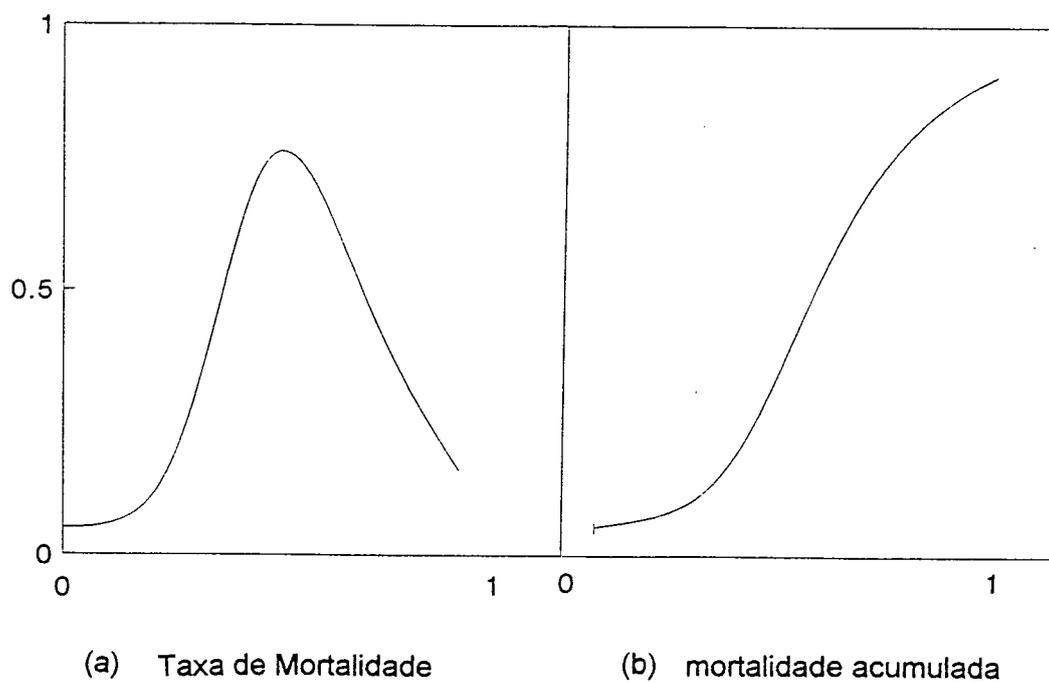


FIGURA 2. Taxa de Mortalidade (a) e Mortalidade Acumulada (b) de um povoamento hipotético de *Pinus*.

2.1.5. Funções de Afilamento nos modelo de crescimento e produção

A forma do fuste de espécies florestais vem sendo estudada desde o século passado e o grande interesse por esta área na pesquisa florestal é demonstrado pelo grande número de trabalhos técnico-científicos que têm sido publicados na literatura recente.

As razões para este interesse são duas, conforme NEWNHAM (1988):

1. Nenhuma teoria simples já desenvolvida explica adequadamente como o fuste varia em forma, principalmente entre árvores. Portanto, não tem sido possível desenvolver satisfatoriamente uma função de forma que possa ser uniformemente aceitável sobre uma ampla variação de condições.

2. A segunda razão está relacionada à importância prática das funções de afilamento do fuste. Através delas pode-se prever o diâmetro para qualquer ponto do fuste a partir de uma ou duas variáveis medidas, o que é essencial para estimar o volume do povoamento e construir tabelas de volume para diferentes limites de dimensões de toras impostos pelo mercado. Tais funções têm também grande utilidade na estimativa da distribuição de tamanho de toras em função de seus diâmetros e comprimentos, informação necessária para um melhor planejamento de utilização dos fustes.

Assim, para um mesmo povoamento pode-se calcular, separadamente, o volume para laminação, serraria e celulose ou polpa.

Na descrição matemática do perfil de um tronco, muitos modelos têm sido utilizados. Alguns destes modelos serão descritos a seguir, tendo-se por base a seguinte notação:

$$Y = \text{diâmetro relativo } \frac{d_i}{D}$$

$$X = \text{altura relativa } \frac{(H - h_i)}{(H - 1.30)}$$

$$Z = \frac{h_i}{H}$$

D = diâmetro à altura do peito (D_{1.3m})

H = altura total da árvore

d_i = diâmetro medido na altura h_i do fuste

b_i = coeficientes.

Uma das primeiras funções ajustadas foi a apresentada por BEHRE (1923):

$$Y = \frac{X}{(b_0 + b_1 X)}$$

Outra função que foi bastante utilizada é a de Hojer, conforme HUSCH (1963):

$$Y = b_0 \ln\left(\frac{b_1 + X}{b_2}\right)$$

KOZAK *et alii* (1969) utilizaram o modelo polinomial quadrático:

$$Y^2 = b_0 + b_1 Z + b_2 Z^2$$

com a restrição $b_0 + b_1 + b_2 = 0$.

MUNRO & DEMAERSCHALK (1974) discutiram as vantagens da utilização de funções de forma e de volume compatíveis. Um modelo é definido como compatível quando a estimativa do volume total, obtida por integração de segmentos do tronco, é semelhante àquela dada pela equação de volume, da qual a equação de forma foi derivada.

Apesar do procedimento mais comum ser desenvolver primeiro a função de forma e a partir dela a função de volume, DEMAERSCHALK (1973), AMATEIS & BURKHART (1987) e ALEMDAG (1988) aplicaram a metodologia oposta, derivando a função de forma a partir da função de volume.

A utilização de equações polinomiais foi proposta por diversos autores para diferentes espécies. Estas equações possibilitam a descrição da forma com uma única função e são de fácil aplicação. GOULDING & MURRAY (1976) apresentaram um modelo polinomial de 5º grau, destacando sua compatibilidade com as equações de volume.

MAX & BURKHART (1976), trabalhando com *Pinus taeda* L., aplicaram a técnica de regressão polinomial segmentada. Nesta técnica o tronco é dividido em três secções, para cada uma delas um modelo é ajustado para, posteriormente, serem unidos por imposição de restrições.

DEMAERSCHALK & KOZAK (1977) desenvolveram um método que se utiliza de duas funções ajustadas para as partes inferior e superior do tronco, resultantes de uma divisão no ponto de inflexão da forma neilóide para parabolóide. Este ponto é determinado por análise visual após a plotagem dos diâmetros relativos $Y = d_i / D$ em relação às alturas relativas $Z = (H - h_i) / H$ e segundo estes autores, em teste com 32 grupos de espécies na British Columbia, ele se localizou

entre 20 e 25% da altura. O diâmetro D_i do ponto de inflexão foi utilizado como base na razão de diâmetros. A equação para a parte superior é:

$$Y = \left(\frac{Z}{R_i}\right)^{b_1} \cdot (b_2)^{\left(1 - \frac{Z}{R_i}\right)}$$

e para a parte inferior é:

$$Y = b_3 - (b_3 - 1) \left(\frac{1 - Z}{R_i}\right)^{b_4}$$

onde:

R_i é a distância relativa do ponto de inflexão ao ápice da árvore.

Os valores de b_i são condicionados para assegurar que os diâmetros estimados coincidam com os observados no ápice, no ponto de inflexão e na altura do peito, e que a transição de uma curva para a outra seja suave. O diâmetro no ponto de inflexão (D_i) é estimado através de uma equação polinomial do segundo grau.

As funções “spline” também têm sido utilizadas na descrição da forma do tronco. LIU (1980), aplicou uma função “spline” cúbica para o estudo da forma do tronco do álamo (*Liriodendron tulipifera* L.) e FIGUEIREDO FILHO (1991) para *Pinus taeda* L. Este método consiste no ajuste de funções polinomiais para segmentos do tronco com a transição entre os segmentos obtida através da passagem do valor da

função e de suas primeiras derivadas contínuas nos pontos de ligação. Devido à sua complexidade, biologicamente é difícil justificar estas funções.

GUIMARÃES & LEITE (1992), trabalhando com *Eucalyptus grandis*, apresentaram o seguinte modelo não linear para a descrição da forma dos troncos:

$$\frac{d_i}{D} = \left[\exp(1 - \exp(1,3 - h_i)) \right]^{b_1} \cdot \left(\frac{H - h_i}{H - 1,3} \right)^{b_2}$$

onde b_1 expressa a dilatação da base e b_2 explica as tendências de variação em diâmetro entre o D e o topo da árvore. Estes autores concluíram que o modelo forneceu estimativas precisas para diâmetros e volumes das árvores utilizadas no estudo, empregando apenas dois coeficientes (b_1 e b_2).

MOURA (1994) ajustou 20 modelos para a expressão de forma do fuste e estimativas volumétricas de diversas espécies florestais da Amazônia Brasileira. Neste estudo foram comparados métodos de estimativa volumétrica, entre os quais destacaram-se o uso do fator de forma por classe diamétrica e as equações de volume, derivadas pelo autor a partir de equação de afilamento, que possibilitaram, além da estimativa do volume total da espécie, também a estimativa de volumes parciais, viabilizando o estudo qualitativo do sortimento.

2.2. Planejamento e Análise Econômico-Financeira de Projetos Florestais

O planejamento e a análise econômico-financeira de projetos florestais têm sido amplamente discutidos em publicações como LEUSCHNER (1984), DAVIS & JOHNSON (1987), BUONGIORNO & GILLESS (1987) e NAUTIYAL (1988).

ÂNGELO *et alii* (1991), destacaram que o planejamento florestal pode ser dividido em: (a) Planejamento Individual: que procura planejar e organizar separadamente cada povoamento, cada sítio, cada talhão etc; (b) Planejamento Geral: que considera a empresa como um todo e visa à persistência das florestas e da renda e (c) Planejamento Financeiro: que segue o fluxo de caixa da empresa, o plano de investimento, e pode ser avaliado por métodos de engenharia econômica como Valor Presente Líquido e Taxa Interna de Retorno.

A análise econômica de projetos de investimento ou para fins de planejamento florestal, segundo VEIGA FILHO & VEIGA (1994), no Brasil, pode ser decomposta, de modo geral, em duas linhas: na primeira, adotada nos anos 70 e associada à questão dos subsídios, onde as avaliações econômico-financeiras eram feitas através da comparação e avaliação do programa e projetos a fim de verificar a rentabilidade a nível de investidor e nível de sociedade, nas situações com e sem subsídios. Na segunda, anos 80 e 90, os estudos dirigiram-se para técnicas de planejamento e de otimização, associados a grandes empreendimentos florestais, ao lado de impactos em pequenos reflorestamentos.

FENSTERSEIFER & SAUL (1993), em pesquisa através de questionários, realizada em 1990, sobre o comportamento das grandes empresas brasileiras, dos setores industrial e de serviços básicos, quanto a utilização de técnicas analíticas

para avaliação e seleção de investimento de capital, obtiveram os seguintes resultados: Como “critério principal”, a Taxa Interna de Retorno - TIR, ou outra assemelhada é a mais utilizada (49.6% das empresas), seguida pelo Tempo de Recuperação do Capital - “Payback” (19.1%) e pelo Valor Presente Líquido - VPL, ou outro critério assemelhado, (10.9%). Como “critério secundário”, destaca-se o Tempo de Recuperação do Capital (31.5%) seguido pelo VPL (20.4%) e TIR (16.4%).

Foi constatado ainda neste trabalho, que 46% das empresas utilizam mais de dois critérios de análise sendo, 31.7% por motivos de segurança e confiabilidade na tomada de decisões e 13.5% por ordem estratégica.

Com relação à análise do risco, 30% responderam avaliá-lo de maneira subjetiva e 63% através de um método quantitativo, individualmente para cada projeto, com 81.2% utilizando análise de sensibilidade da rentabilidade.

Estes autores comentaram que, embora o VPL ou outro critério assemelhado seja mais adequado pela teoria financeira, a utilização da TIR em percentuais tão elevados deve-se, possivelmente, à sua inclusão nos roteiros de projetos do Banco Nacional de Desenvolvimento (BNDE) e do Conselho de Desenvolvimento Industrial (CDI) e também à uma preferência dos empresários em raciocinar em termos de taxa de retorno e não de uma massa monetária.

A popularidade do critério Tempo de Recuperação do Capital já havia sido destacada em pesquisa realizada por FENSTERSEIFER *et alii* (1987), que apresentaram como possível explicação, o fato deste critério considerar implicitamente o fator risco. Entre várias alternativas de investimento consideradas rentáveis, em geral, a que possuir o menor Tempo de Recuperação do Capital terá

um risco menor.

Para a atividade florestal, a base para o planejamento está na determinação dos regimes de manejo, principalmente no que se refere à idade para o corte final ou rotação do povoamento, que possibilite a máxima rentabilidade. Os critérios econômicos para a determinação dessa rentabilidade em função de idades de rotação têm sido estudados por diversos autores.

Entre os trabalhos que discutem os conceitos de maturidade financeira dos povoamentos florestais e analisam diversos métodos para sua determinação destacam-se o de GAFFNEY (1957), BENTLEY & TEENGUARDEN (1965), CHANG (1984) e NEWMAN (1988), sendo que neste último, é apresentada uma revisão da literatura sobre o assunto, contendo comentários sobre 83 referências.

BERGER (1985), aplicando critérios de avaliação econômica para a determinação da idade de rotação de povoamentos de Eucalipto, tendo por base modelos com taxa de juros zero, modelos que maximizam o valor líquido presente e modelos que maximizam a taxa de retorno, obteve diferentes idades ótimas de rotação em função dos diferentes critérios. Este autor destaca que não existe um consenso claro entre os economistas sobre qual critério é o ideal; e que uma posição bastante interessante é a de BENTLEY & TEENGUARDEN (1965) que consideraram que o modelo a ser utilizado deve ser determinado em função da habilidade da firma ou proprietário florestal em variar seus fatores de produção e da acessibilidade que os mesmos possuem em relação aos fatores de mercado.

NEWMAN (1988) realizou um estudo para determinação da rotação econômica, através da maximização dos seguintes critérios: (1) Produção Bruta, (2) Produção Anual Média, (3) Valor Presente Líquido para uma única Rotação, (4)

Valor Presente Líquido para uma Série Infinita de Rotações, (5) Receita Anual Líquida e (6) Taxa Interna de Retorno.

Estes critérios também foram estudados por SCOLFORO & HOSOKAWA (1992), juntamente com o critério de maximização da Razão Benefício Custo.

Tanto NEWMAN (1988) como SCOLFORO & HOSOKAWA (1992) destacaram vantagens do uso do Valor Esperado da Terra desde que a propriedade florestal seja continuamente utilizada para produzir madeira.

RIBAS (1989) avaliou a metodologia para definição da estratégia de rotação pela maximização do Valor Presente Líquido e uma outra, que faz uso de princípios da teoria de substituição de equipamentos e do conceito de anuidades equivalentes geométricas. Este autor concluiu que a primeira é mais clara e objetiva para esta decisão, mas a conclusão final sobre a estratégia de reforma para as duas metodologias não são semelhantes. A incorporação do processo inflacionário, entretanto, levou a resultados diferentes devido à forma distinta que a inflação é considerada dentro de cada método.

VEIGA FILHO & VEIGA (1994) utilizaram o Valor Presente Líquido para comparar fluxos de caixa de um sistema de produção de eucalipto em que a produção é concentrada em três cortes com outro que possibilita a produção anual pela distribuição do plantio ao longo de um período. A Taxa Interna de Retorno também foi utilizada para mostrar o retorno anual, medido percentualmente.

O Valor Presente Líquido também foi utilizado por NAUTIYAL *et alii* (1989) na elaboração de um modelo computadorizado denominado "RENEWAL", aplicado na análise econômica da viabilidade de reforma ou do número de talhadas de eucalipto e por SILVA (1989), que comparou o método "Relação custo-preço

adaptada” com dois sistemas baseados na “exaustão florestal” para povoamentos de *Pinus* sp.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Material

Para a construção do modelo de crescimento e produção, foram utilizados dados de Altura Total e Diâmetro à Altura do Peito de árvores de *Pinus taeda* L., provenientes de 40 parcelas do Inventário Florestal Contínuo das florestas Nacionais de Irati-PR, Três Barras - SC e São Francisco de Paula - RS (Figura 3). As áreas disponíveis por árvore no plantio variaram de 2.25m² a 9.00m². As idades variavam de 6 a 30 anos, com média de 4 medições sucessivas. Duas de cada três parcelas haviam sofrido desbastes usuais (seletivos, sistemáticos ou a combinação destes).

Para a obtenção das equações de afilamento e equação de volume foram utilizados dados provenientes de Rio Negrinho-SC, relativos à 200 troncos de *Pinus taeda* L., nos quais foram medidos os diâmetros com casca na base das árvores e nas proporções dos 10%, 30%, 50%, 70% e 90% da altura total. Na Figura 4 estão plotadas as Alturas Totais (H) destas árvores em função dos Diâmetros à Altura do Peito (D).

O simulador de crescimento e produção teve por base o NCSU - Managed Pine Plantation Growth & Yield Simulator, desenvolvido por William L. Hafley, professor de Ciências Florestais e Estatística da "School of Forest Resources da North Carolina State University, USA".

A obtenção dos parâmetros da distribuição S_{BB} e da função de mortalidade, bem como a introdução destes resultados no simulador, que recebeu a

denominação de SISPINUS, foi realizada na EMBRAPA/CNPFFlorestas com supervisão direta de W.L. Hafley em 1989/1990. A equação de sítio de *P. taeda* a ser utilizada foi desenvolvida por OLIVEIRA *et alii* (1989). Esta equação foi baseada em dados de análise de tronco de árvores dominantes provenientes dos locais representados na Figura 3.

As análises econômicas foram realizadas utilizando-se os resultados da simulação dos 25 regimes de manejo descritos na Tabela 1, inserida nos apêndices. As produções destes regimes de manejo para as finalidades de laminação, serraria, celulose e energia estão apresentadas na Tabela 2.

Neste trabalho, o software SISPINUS foi ampliado para possibilitar a separação das estimativas de volume total de madeira em volumes parciais, calculados especificamente para segmentos do tronco com dimensões adequadas a cada finalidade industrial.

3.2. Sistema para prognose do crescimento e produção de *P. taeda*

3.2.1. Distribuições S_B e S_{BB}

As distribuições S_B e S_{BB} (S_B bivariada) (JOHNSON, 1949a; 1949b) foram introduzidas na ciência florestal, respectivamente, por HAFLEY & SCHEREUDER (1977) e SCHEREUDER & HAFLEY (1977). A distribuição S_B descreve a distribuição marginal das variáveis diâmetro e altura de árvores de um povoamento em diferentes idades e a S_{BB} descreve a distribuição conjunta destas variáveis.



- ◆ Florestas Nacionais
- Povoamentos para a equação de sítio

FIGURA 3. Localização dos povoamentos utilizados na elaboração do modelo de crescimento e produção e das equações de sítio.

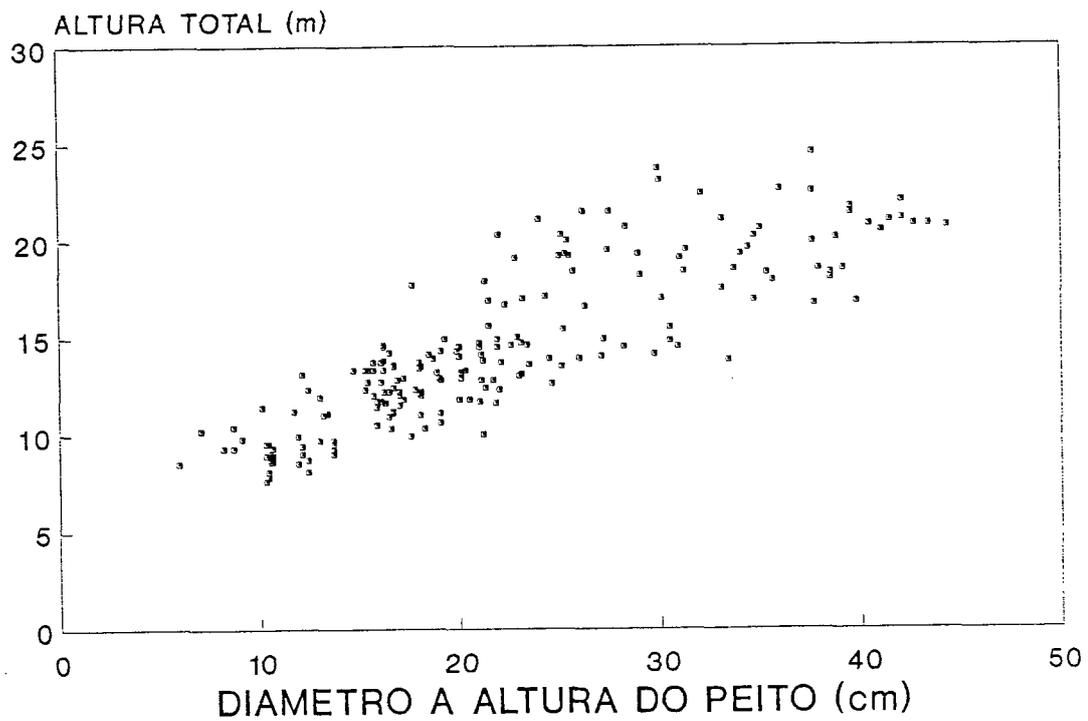


FIGURA 4. Altura Total (H) em relação aos Diâmetros à Altura do Peito (D) das árvores de *P. taeda* utilizadas no ajustamento das equações de Afilamento.

3.2.1.1. Distribuições S_B

A função de distribuição S_B de Johnson é expressa como se segue:

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

onde:

$$\xi < x < \lambda + \xi,$$

$$-\infty < \gamma < \infty,$$

$$-\infty < \xi < \infty.$$

$$\delta > 0 \text{ e } \lambda > 0,$$

e

$$\gamma + \delta \ln\left(\frac{x-\xi}{\xi+\lambda-x}\right) = Z \sim N(0,1)$$

Os parâmetros ξ e λ representam, respectivamente, o menor limite da distribuição e a amplitude de variação de x . Os parâmetros γ e δ são estimados pelo método da máxima verossimilhança (Definição 1), tendo por base as estimativas dos parâmetros da distribuição Normal. O procedimento é o seguinte:

Considerando-se

$$y_i = \frac{(x-\xi)}{\lambda} \quad \text{logo:} \quad 1-y_i = \frac{(\lambda+\xi-x)}{\lambda} \quad (1.1)$$

Substituindo-se (1.1) na expressão (1) tem-se:

$$f(y) = \frac{\delta}{\sqrt{2\pi\lambda y_i(1-y_i)}} \exp\left\{-\frac{1}{2}\left[\gamma + \delta \ln\left(\frac{y_i}{1-y_i}\right)\right]^2\right\}, \quad (2)$$

onde:

$$0 < y < 1,$$

$$-\infty < \gamma < \infty,$$

$$\delta > 0 \text{ e } \lambda > 0$$

Considerando (y_1, \dots, y_n) uma amostra aleatória de Y , a função de máxima verossimilhança será:

$$L(y_1, \dots, y_n; \gamma, \delta) = \delta^n \left[2\pi(\lambda y(1-y))\right]^{-n/2} \exp\left\{-\frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \left[\gamma + \delta \ln\left(\frac{y_i}{1-y_i}\right)\right]^2\right\};$$

$$\ln L = n \ln \delta + \left(\frac{-n}{2}\right) \ln \left[2\pi(\lambda y_i(1-y_i))\right] - \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \left[\gamma + \delta \ln\left(\frac{y_i}{1-y_i}\right)\right]^2 \quad (3)$$

resolvendo-se (3) simultaneamente:

$$\frac{\partial}{\partial \gamma} \ln L = 0$$

$$\frac{\partial}{\partial \delta} \ln L = 0$$

tem-se:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\partial}{\partial \gamma} \ln L = -\sum_{i=1}^n \left[\gamma + \delta \ln \left(\frac{y_i}{1-y_i} \right) \right] \\ \frac{\partial}{\partial \delta} \ln L = \frac{n}{\delta} - \sum_{i=1}^n \left[\gamma + \delta \ln \left(\frac{y_i}{1-y_i} \right) \right] \ln \left(\frac{y_i}{1-y_i} \right) \end{array} \right. \quad (4)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} n\gamma + \delta \sum_{i=1}^n \ln \left(\frac{y_i}{1-y_i} \right) = 0 \\ \frac{n}{\delta} - \gamma \sum_{i=1}^n \ln \left(\frac{y_i}{1-y_i} \right) - \delta \sum_{i=1}^n \left[\ln \left(\frac{y_i}{1-y_i} \right) \right]^2 = 0 \end{array} \right. \quad (5)$$

Considerando-se:

$$f_i = \ln \left(\frac{y_i}{1-y_i} \right) \quad (6)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} n\gamma + \delta \sum_{i=1}^n f_i = 0 \implies \hat{\gamma} = -\delta \sum_{i=1}^n f_i / n \\ \frac{n}{\delta} - \gamma \sum_{i=1}^n f_i - \delta \sum_{i=1}^n f_i^2 = 0 \end{array} \right. \quad (7)$$

$$\hat{\gamma} = \delta \bar{f} \quad (8)$$

$$\hat{\delta} = \left[\frac{n}{\sum_{i=1}^n (f_i - \bar{f})^2} \right]^{1/2} \implies \hat{\delta} = \frac{1}{s_f} \quad (9)$$

A Figura 5 apresenta gráficos da distribuição S_B com diferentes estimativas de parâmetros.

Definição 1.

Estimativas de Máxima Verossimilhança.

Seja X_1, \dots, X_n uma amostra aleatória da variável aleatória X e sejam x_1, \dots, x_n os valores amostrais. Considerando $f(x; \theta)$ como a função de densidade de probabilidade de X , a função de máxima verossimilhança L será definida como:

$$L(x_1, \dots, x_n; \theta) = f(x_1, \theta) f(x_2, \theta) \dots f(x_n, \theta)$$

sendo que, no caso de distribuições contínuas, $L(x_1, \dots, x_n; \theta)$ representa a função de densidade de probabilidade conjunta de (x_1, \dots, x_n) .

A estimativa de máxima verossimilhança de θ será o valor de θ que torna máxima $L(x_1, \dots, x_n; \theta)$.

Para seu cálculo, determina-se o valor máximo desta função. Como $\ln x$ é uma função crescente de x , $\ln L(x_1, \dots, x_n; \theta)$ será máxima para o mesmo valor de θ que torna máxima a função $L(x_1, \dots, x_n; \theta)$.

Logo, a estimativa de máxima verossimilhança de θ pode ser obtida por:

$$\frac{\partial}{\partial \theta} \ln L(X_1, \dots, X_n; \theta) = 0$$

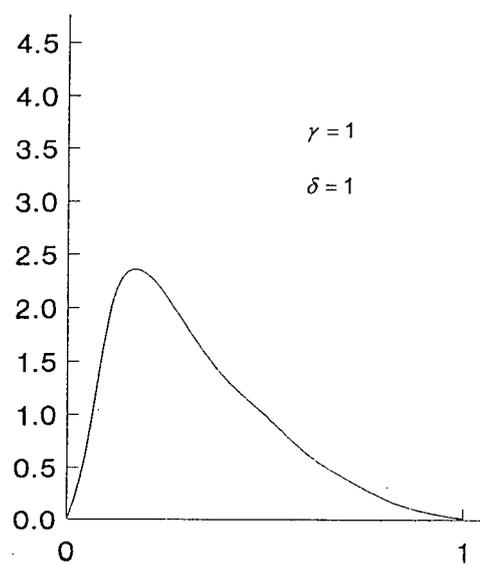
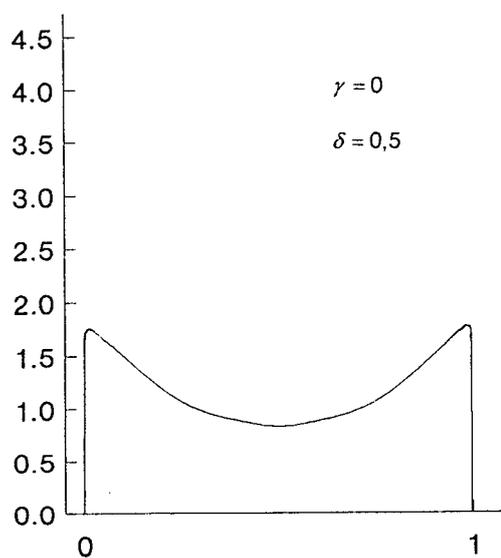
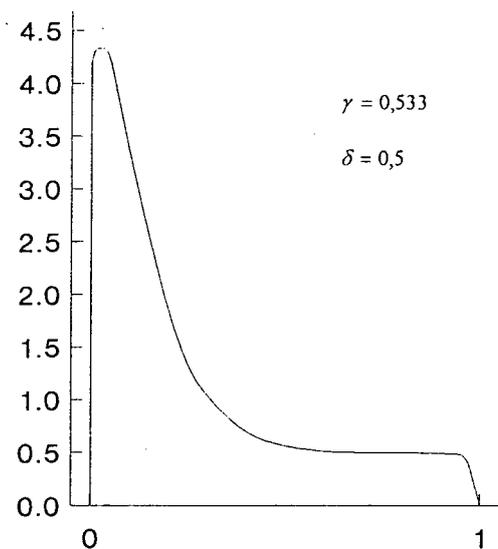
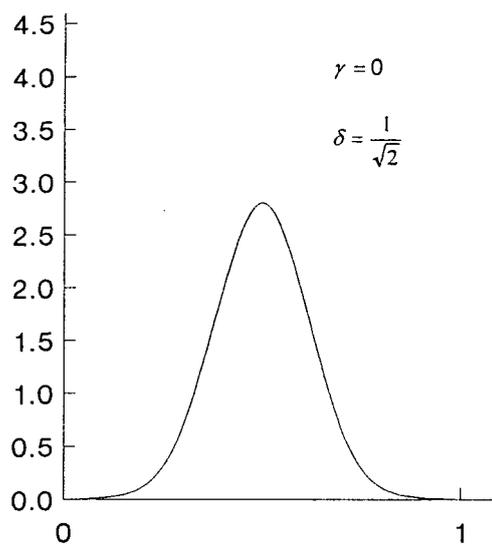


FIGURA 5. Representações gráficas da distribuição S_B com diferentes estimativas de parâmetros.

3.2.1.2. Distribuição S_{BB}

A construção da distribuição S_{BB} (S_B bivariada) teve por base a distribuição S_B , juntamente com a distribuição Normal bivariada.

Seja D e H o diâmetro a 1.30m e a altura total das árvores, respectivamente. Conforme HAFLEY & BUFORD (1985), as seguintes variáveis normais estandardizadas podem ser definidas:

$$z_D = \gamma_D + \delta_D \ln\left(\frac{x_D - \xi_D}{\lambda_D + \xi_D - x_D}\right) \quad (10)$$

$$z_H = \gamma_H + \delta_H \ln\left(\frac{x_H - \xi_H}{\lambda_H + \xi_H - x_H}\right) \quad (11)$$

onde z_D e z_H têm distribuição Normal bivariada com correlação ρ .

$$f(z_D, z_H) = \left[2\pi(1-\rho^2)^{1/2}\right]^{-1} \exp\left[-\frac{1}{2}(1-\rho^2)^{-1}(z_D^2 - 2\rho z_D z_H + z_H^2)\right], \quad (12)$$

O coeficiente de correlação ρ é estimado através da expressão:

$$\hat{\rho} = \sum_{j=1}^n (z_{Dj}, z_{Hj}) / n \quad (13)$$

Os parâmetros ξ_D e ξ_H representam, respectivamente, os valores mínimos de D e H na população; λ_D e λ_H representam as amplitudes de D e H. Os parâmetros γ_D , γ_H , δ_D e δ_H não podem ser relacionados às características individuais do povoamento florestal, mas sim através das expressões (8) e (9) da distribuição S_B , ou conforme HAFLEY & BUFORD (1985), que apresentaram expressões mais simples para estimativa destes parâmetros, baseadas em expansões da série de Taylor, sendo:

$$\hat{\delta} = \frac{\lambda}{4\sigma_x} \quad (14)$$

$$\hat{\gamma} = \frac{2x_m - \xi - \lambda}{\lambda\delta} - \delta \ln\left(\frac{x_m - \xi}{\lambda + \xi - x_m}\right) \quad (15)$$

onde:

σ_x = desvio padrão de x (x= H ou D),

x_m = moda de x.

O valor de X_m é definido pelo valor de x que satisfaz a expressão:

$$\frac{2(x - \xi)}{\lambda} - 1 = \delta \left[\gamma + \delta \ln\left(\frac{x - \xi}{\lambda + \xi - x}\right) \right] \quad (16)$$

3.2.1.3. Ajuste das Distribuições

Em cada povoamento, para cada idade, a partir dos pares de valores Altura/Diâmetro foram obtidos os parâmetros da distribuição S_{BB} , referentes a: menor e maior Altura e Diâmetro, moda e desvio padrão, e a correlação entre a Altura e o Diâmetro. Com estes valores, os nove parâmetros da distribuição puderam ser estimados.

Para a elaboração do modelo de crescimento e produção, as estimativas dos parâmetros foram associadas ao Número de Árvores por Hectare (S) e à Altura Dominante (HD) ou idade do povoamento, utilizando-se o modelo de RICHARDS (1959), onde:

$$\text{Parâmetro de interesse} = f_1(s) \left\{ 1 - \exp[HD f_2(s)] \right\}^{f_3(s)} \quad (17)$$

Para o coeficiente de correlação ρ foi utilizado o seguinte modelo:

$$\rho = g_1(s) + g_2(s) \cos[g_3(s) \cdot HD] + g_4(s) \cdot HD \quad (18)$$

Os valores de HD e S são estimados, respectivamente, através da relação Altura/Idade (equação de sítio) e da função de mortalidade.

3.2.2. Equação de Sítio

Neste trabalho foi utilizada a equação apresentada por OLIVEIRA *et alii* (1990), obtida para povoamentos estabelecidos nos Estados do Paraná, Rio Grande do Sul e Santa Catarina (Figura 3) e refere-se ao seguinte modelo:

$$H = S \left\{ \exp \left[b \left[\left(\frac{1}{A} \right)^c - \left(\frac{1}{15} \right)^c \right] \right] \right\} \quad (19)$$

onde:

H = altura total

S = índice de sítio (altura dominante aos 15 anos)

A = Idade

b e c = coeficientes da equação (b = -5.2204 e c = 0.36)

3.2.3. Modelagem de Mortalidade

Para a descrição da mortalidade, foi utilizada a distribuição binomial negativa. Esta distribuição tem a característica de ser flexível e possuir parâmetros com significado biológico (HAFLEY & BUFORD, 1985).

Segundo BLISS (1953), a distribuição binomial negativa pode ser expressa

por:

$$P(x) = \frac{(k+x-1)!}{x!(k-1)!} \left(1 + \frac{m}{k}\right)^{-k} \left(\frac{m}{m+k}\right)^x \quad (20)$$

onde:

X = número de árvores mortas

P(x) = probabilidade da existência de x árvores mortas,

k = parâmetro referente à taxa de mortalidade

m = altura média da árvore.

As estimativas dos parâmetros são obtidas pelas expressões:

$$k = \frac{m^2}{s_x^2 - m} \quad (21)$$

A média m e a variância amostral s_x^2 foram estimadas da forma usual. As estimativas destes valores podem ser relacionadas ao Índice de Sítio (IS), dado pela altura dominante aos 15 anos, e ao Número de Árvores Inicial (N_0). Esta relação é obtida através dos seguintes modelos de regressão:

$$m = b_0 N_0^{(b_1 + b_2/IS)} \cdot e^{b_3/IS} \quad (22)$$

e

$$s_x^2 = b_0 + b_1/IS + b_2/IS^{b_3} \cdot \left(\frac{10.000}{N_0}\right)^{0,5} \quad (23)$$

A partir destas equações, os valores dos parâmetros da distribuição podem ser obtidos para as diferentes condições dos povoamentos.

Neste trabalho, a amplitude de variação dos dados disponíveis foi considerada pequena para o ajuste de equações que permitissem a prognose satisfatória da mortalidade, nos casos mais extremos de Índices de Sítio e Número de Árvores Inicial.

Assim, os coeficientes e parâmetros apresentados por HAFLEY & BUFORD (1985) serviram de base para o sistema, a partir da observação de HAFLEY (1989), de que os povoamentos de *P.taeda* no sul do Brasil, aos 15 anos de idade, são semelhantes aos povoamentos desta espécie aos 25 anos no sudeste dos Estados Unidos.

Estas equações, foram:

$$m = 33,8 N_0^{-(0,02359 + 0,004745 IS)} \exp(0,04582 IS) \quad (24)$$

e

$$s_x = -5,3 + 0,3 IS - S(0,3992 * 10^{-6} IS^{3,615}) \quad (25)$$

Após a correção do fator idade e das unidades originais (Pés e Acres), foi realizado um estudo comparativo dos resultados de simulações de mortalidade, com as mortalidades ocorridas nas parcelas permanentes disponíveis, e verificou-se que estas funções ajustaram-se bem aos plantios brasileiros, podendo ser utilizadas na elaboração do sistema.

Cálculo de $P(X)$

Geralmente o valor de K é fracionário, o que impossibilita o cálculo de seu número fatorial.

Este problema pode ser contornado através do seguinte procedimento:

$$P(x) = \left(1 + \frac{m}{k}\right)^{-k} \quad (\text{para } x = 0)$$

$$P(x) = \frac{(k+x-1)!}{x!(k-1)!} \left(\frac{m}{m+k}\right) \cdot P(x-1) \quad (\text{para } x = 1, 2, \dots)$$

que elimina o cálculo do fatorial de k .

3.2.4. Estimativa da Produção

Para a estimativa da produção do povoamento florestal foi utilizada a distribuição S_{BB} , conforme a metodologia apresentada por HAFLEY & BUFORD (1985), cujos parâmetros são definidos em função das características do povoamento, e o número de árvores por hectare na idade estudada.

Os valores do Diâmetro Quadrático Médio, Área Transversal e Altura Média são obtidos a partir dos momentos das distribuições S_B e S_{BB} através de um processo de integração que faz uso da quadratura de Gauss. A integração da distribuição S_{BB} em relação às duas variáveis possibilita o cálculo da tabela de frequência por classes de Diâmetro e Altura.

Sendo a variável:

$$y_i = \frac{(x - \xi)}{\lambda} \quad (26)$$

de distribuição S_B , a Área Basal por árvore (AB) será obtida por:

$$E[AB] = E[KD^2] = KE[(\gamma_D \lambda_D + \xi_D)^2] \quad (27)$$

$$AB = K[\gamma_D^2 \mu'_{2D} + 2\xi_D \lambda_D \mu'_{1D} + \xi_D^2] \quad (28)$$

onde:

μ'_{1D} e μ'_{2D} = primeiro e o segundo momento não central da distribuição S_B para o Diâmetro.

3.2.5. Simulação de desbastes

O modelo desenvolvido possibilita a simulação de desbastes, atividade fundamental para dar suporte às estratégias de manejo dos povoamentos de *Pinus*.

Estes desbastes podem ser:

a) Sistemáticos: quando se corta as árvores a partir de um esquema fixo de escolha, em função da disposição das mesmas no povoamento. Assim, por exemplo, a cada três fileiras de árvores corta-se toda uma fileira, deixando duas sem cortar;

b) Seletivos: neste caso, basicamente são cortadas as menores árvores do povoamento. Tanto o diâmetro quanto a altura são importantes na escolha das árvores a serem cortadas. Características como bifurcação ou tortuosidade não necessitam ser considerados no modelo básico;

c) Mistos: será denominado assim, o desbaste em que se processa primeiro o desbaste sistemático e, em seguida, nas linhas remanescentes, o seletivo.

Para se estimar a produção das árvores remanescentes, bem como simular o crescimento do povoamento após cada desbaste, podem ocorrer duas situações:

1. Se o desbaste é apenas sistemático os parâmetros da distribuição S_{BB} não serão alterados; apenas o número de árvores remanescentes sofrerá mudanças.

2. Se o desbaste adotado for seletivo ou misto, a distribuição S_{BB} deverá ser truncada (Definição 2) em função de ambas as variáveis.

O ponto de truncamento é definido através de um processo iterativo de coordenadas ao longo da linha em que $y_D = y_H$.

Esta relação pode ser expressa por:

$$\frac{x_D - \xi_D}{\lambda_D} = \frac{x_H - \xi_H}{\lambda_H} \quad (29)$$

O ponto inicial para o processo iterativo tem coordenada (ξ_D, ξ_H) e vai até o ponto em que se atinge o número de árvores ou área basal que deverá permanecer.

Com a definição do ponto de truncamento são obtidas as estimativas dos parâmetros cujas expressões têm por base a distribuição Normal bivariada duplamente truncada.

Definição 2.

Distribuições Truncadas.

Uma variável aleatória x tem distribuição Normal truncada à esquerda de $X = \tau$ se sua função de densidade de probabilidade for da forma

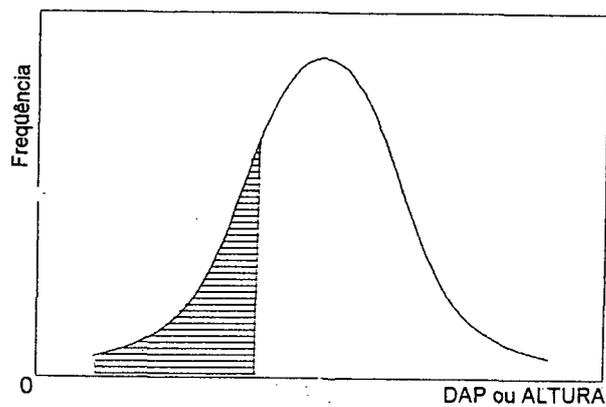
$$f(x) = 0 \text{ se } x < \tau$$

$$f(x) = \frac{k}{\sqrt{2\pi\sigma}} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2\right] \quad \text{se } x \geq \tau$$

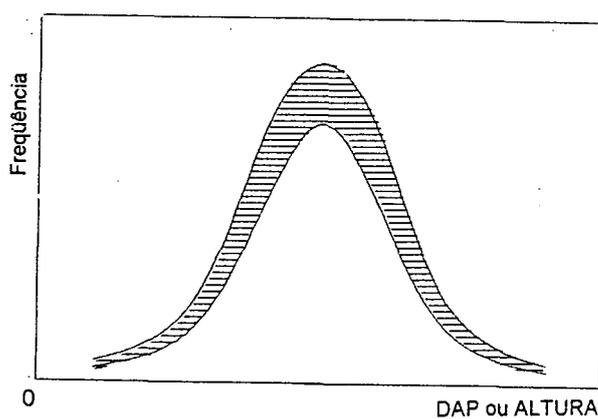
onde k é determinado pela condição

$$f(x) = \int_{\tau}^{\infty} f(x) dx = 1$$

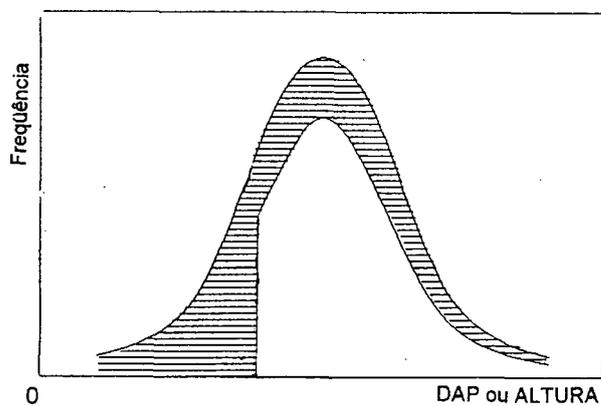
(a) Desbaste seletivo



(b) Desbaste sistemático



(c) Desbaste sistemático seguido de seletivo



▬▬▬ = Desbastado

FIGURA 6. Frequência de diâmetros em função de tipos de desbastes.

Os valores mínimos das duas variáveis serão equivalentes ao ponto de truncamento e os valores máximos serão os mesmos da distribuição não truncada.

$$\rho = \frac{\mu'_{1D1H}}{(\mu'_{2D} \mu'_{2H})^{1/2}} \quad (30)$$

onde:

μ'_{1D1H} = primeiro momento em relação à media da distribuição Normal bivariada truncada em relação às duas variáveis,

μ'_{2D} e μ'_{2H} = segundo momento em relação à média da marginal distribuição Normal bivariada truncada em relação às duas variáveis.

Os desvios padrões s_D e s_H são obtidos por:

$$s_i = \frac{4(\mu'_{2i})}{\lambda_i}; i = D \text{ ou } H \quad (31)$$

O valor da moda de D e H é dado pela expressão:

$$\rho \delta_i \exp(-z_{mi}^2) = \delta_i \left[\pi(1 - \rho^2) / 2 \right]^{1/2} [z_{mi} - 1 - 2y_{mi}] \psi(z_{mi}), i = D \text{ ou } H \quad (32)$$

onde:

$$Z_{mi} = \gamma_i + \delta_i \ln\left(\frac{\gamma_{mi}}{1 - \gamma_{mi}}\right), i = D \text{ ou } H \quad (33)$$

$$y_{mi} = \frac{x_{mi} - \xi_i}{\lambda_i}, \quad (34)$$

$$\psi(z_{mi}) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{z_{mi}}^{\infty} e^{-u^2/2} du \quad (35)$$

3.2.6. Funções de Afilamento

Foram testados 4 modelos que expressam o afilamento do tronco, denominados pelo nome dos seus respectivos autores, a saber:

a. PRODAN (1965)

$$\frac{d_i}{D} = b_1 \left(\frac{h}{H}\right) + b_2 \left(\frac{h}{H}\right)^2 + b_3 \left(\frac{h}{H}\right)^3 + b_4 \left(\frac{h}{H}\right)^4 \quad (36)$$

b. MUNRO (1968)

$$\frac{d_i}{D} = \left[b_0 + b_1 \left(\frac{h_i}{H}\right) + b_2 \left(\frac{h_i}{H}\right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (37)$$

c. KOZAK et alii (1969)

$$\frac{d_i}{D} = b_0 + b_1 \left(\frac{h_i}{H} \right) + b_2 \left(\frac{h_i}{H} \right)^2 \quad (38)$$

d. ORMEROD (1973)

$$\frac{d_i}{D} = b \cdot \left(\frac{h}{H} \right)^{b_1} \quad (39)$$

onde:

D = diâmetro à altura do peito ($D_{1.30m}$)

H = altura total da árvore

$h = H - h_i$

d_i = diâmetro medido na altura h_i do fuste

b_0 a b_4 = coeficientes.

3.3. Critérios de Avaliação Econômica da Exploração Florestal

Nos empreendimentos florestais, principalmente nas atividades de produção madeireira, a aplicação do capital está sujeita a retornos mais a longo prazo. A eficiência na aplicação deste capital está diretamente relacionada ao manejo

adequado dos povoamentos, minimização dos custos de produção florestal e aos preços da madeira.

Os critérios de avaliação econômica da exploração florestal levam em conta a série de capitais referentes às operações financeiras envolvendo receitas adquiridas e custos de produção da floresta.

3.3.1. Valor Presente Líquido (VPL) de um Fluxo Financeiro

Conforme HIRSCHFELD (1992), o método do Valor Presente Líquido (VPL) tem como finalidade determinar um valor no instante considerado inicial, a partir de um fluxo de caixa formado por uma série de receitas e despesas.

Assim, o VPL é obtido pela somatória algébrica do valor presente de cada receita ou despesa do fluxo de caixa referente a uma alternativa j , avaliada com a taxa de juros i , nos n períodos considerados.

A expressão matemática do VPL é dada por:

$$VPL_j = \sum_{n=0}^t F_n (1+i)^{-n} \quad (40)$$

onde:

- VPL_j = Valor Presente Líquido de um Fluxo Financeiro da alternativa j ;
- t = idade de rotação;
- n = número de períodos de capitalização envolvidos em cada elemento da série de Receitas ou Despesas do Fluxo de Caixa, $n=0, 1, \dots, t$;
- F_n = Cada um dos diversos valores envolvidos no Fluxo de Caixa da alternativa j , e que ocorrem nos distintos períodos n do horizonte de planejamento;
- i = Taxa de juros comparativa ou Taxa Mínima de Atratividade.

3.3.2. Valor Uniforme Líquido (VUL)

O Valor Uniforme Líquido também é denominado Valor Anual Líquido de um Fluxo Financeiro (HIRSHIFELD (1992)) ou Valor Anual Uniforme Equivalente (CASAROTTO FILHO & KOPITTKKE (1990)).

Por este critério, o Valor Presente Líquido de um fluxo financeiro à Taxa Mínima de Atratividade (i) é transformado em uma série uniforme anual equivalente através de sua multiplicação pelo termo:

$$\frac{i(1+i)^t}{(1+i)^t - 1} \quad (41)$$

Tem-se no final de cada um dos períodos (anos) uma parcela uniforme, cuja somatória dos valores descontados resulta no Valor Presente Líquido do Fluxo Financeiro.

3.3.3. Taxa Interna de Retorno (TIR)

A Taxa Interna de Retorno (TIR) é a taxa de juros que torna nulo o Valor Presente Líquido de um empreendimento. Nesta taxa a somatória das Receitas descontadas é igual à somatória dos Custos descontáveis. Logo, a Taxa Interna de Retorno é dada pelo valor de i^* em que:

$$\sum_{n=0}^t F_n (1+i^*)^{-n} = 0 \quad (42)$$

Um investimento é considerado financeiramente aceitável se a diferença entre Taxa Interna de Retorno (i^*) e a Taxa Mínima de Atratividade do mercado (i) for maior ou igual a zero ($i^* - i_r \geq 0$). Utilizando-se a Figura 7, as propostas de investimentos viáveis economicamente são aquelas cuja Taxa Mínima de Atratividade estiver localizada, no máximo, no ponto i^* .

A determinação de TIR, geralmente, é realizada através de processos iterativos.

Apesar de ser vantagem o fato da TIR ser calculada sem uma taxa de juros preestabelecida, existe a desvantagem dela poder não ser única em um fluxo de caixa (DAVIS & JONHSON 1987). Isto ocorre quando existe mudanças de sinal na sequencia do fluxo de caixa. Neste caso, haverão tantas taxas quanto o número de vezes que estas mudanças de sinal ocorrerem. Entretanto, nos projetos florestais, grande parte dos balanços anuais dos fluxos de caixa são negativos no início e positivos mais para o final da rotação. Assim, estas mudanças de sinal tendem a não constituir problemas, principalmente quando se trabalha com taxas de juros praticados no mercado.

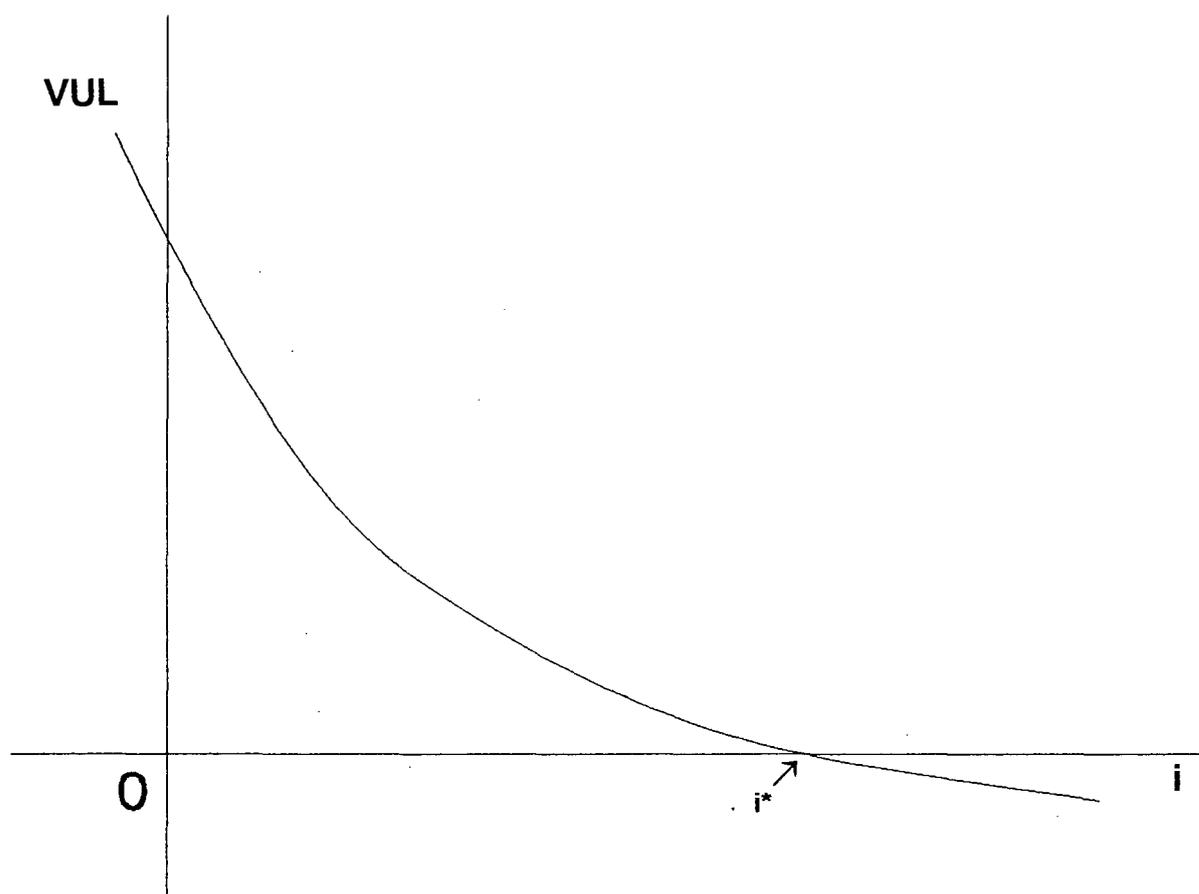


FIGURA 7. Exemplo de tendência do Valor Presente Líquido em função de diferentes taxas de Atratividade.

3.3.4. Razão Benefício/Custo (B/C)

Razão Benefício/Custo (B/C) de um projeto indica quantas unidades de capital recebido com benefícios (B) são obtidas para cada unidade de capital investido (C).

$$\frac{B}{C} = \frac{\sum_{n=0}^t R_n (1+i)^{-n}}{\sum_{n=0}^t C_n (1+i)^{-n}} \quad (43)$$

Sua finalidade é possibilitar a verificação da viabilidade de um projeto. Valores de B/C superiores a 1 indicam que o projeto é rentável (ou viável economicamente). Valores menores que 1 indicam que o projeto é inviável. Se B/C for igual a 1 significa que as receitas foram iguais aos custos.

Para a comparação de projetos, deve-se pressupor a repetibilidade dos ciclos dos Fluxos de Caixa calculando-se o Mínimo Múltiplo Comum, ou utilizar o Valor Uniforme Líquido.

3.3.5. Valor Esperado da Terra (VET)

O Valor Esperado da Terra (VET), também denominado Fórmula de Faustmann, Renda do Solo ou Valor Esperado do Solo, é um caso especial do Valor Presente Líquido (VPL) de uma série infinita de rotações.

NEWMANN (1988) destaca que o VET é um critério superior aos demais,

primeiro por assumir que o sítio permanecerá para a produção florestal infinitamente, segundo por considerar o uso de todos os valores envolvidos no fluxo de caixa de acordo com os preços de mercado, possibilitando que qualquer receita em excesso seja considerada como uma renda para o sítio.

A expressão matemática do VET é dada por:

$$VET = \frac{\sum_{n=0}^t (R_n - C_n)(1+i)^{t-n}}{\left((1+i)^t - 1\right)} \quad (44)$$

Esta expressão possibilita o cálculo da receita líquida para cada ano, compondo cada valor para a idade de rotação, e a soma destes valores representa o retorno líquido final. A divisão da receita pelo fator $(1+i)^{t-1}$ produz a soma descontada da série contínua. (CLUTTER et alii, 1983)

O VET possibilita a comparação de alternativas de regimes de manejo com diferentes comprimentos de rotação. Ele é o Valor Presente de todo fluxo de caixa produzido por uma série infinita de rotações, considerando-se uma idade de rotação de t anos. Expressa o valor máximo que compensa ser pago para a aquisição de um hectare de terra a ser utilizada na produção florestal, desde que se mantenha o mesmo fluxo de caixa e a mesma taxa de juros.

3.3.6. Análise de Sensibilidade

A Análise de Sensibilidade tem por finalidade estudar os efeitos que as variações nos parâmetros que compõem um fluxo de caixa provocam nos valores representativos deste fluxo. Esta análise exhibe diferentes resultados para uma gama de valores possíveis, possibilitando ao decisor verificar o que aconteceria se os valores fossem mudados dentro desta gama.

O decisor deve indicar os intervalos de variação dos parâmetros considerados incertos, e extrair as diversas representações numéricas ou gráficas que deseja seguir.

A Análise de Sensibilidade permite que o decisor tenha uma idéia clara dos riscos incorridos com alterações no regime de manejo, taxa de juros, custos e preços diversos.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Sistema para prognose do crescimento e produção de *P. taeda*

4.1.1. Estimativas dos parâmetros da distribuição S_{BB}

As equações desenvolvidas com base nos modelos (17) e (18), relacionando as estimativas dos parâmetros da distribuição S_{BB} com o Número de Árvores por Hectare, Idade ou Altura Dominante das respectivas parcelas de inventário contínuo, são apresentados na Tabela 4.

TABELA 4. Equações para a estimativa dos parâmetros da distribuição S_{BB} .

1.	$H_D = \exp\left\{a_1\left[(1/A)^{b_1} - (1/15)^{b_1}\right]\right\} IS$
2.	$H_m = H_D(a_2 + b_2 A)$
3.	$H_1 = H_D a_3 [1 - \exp(-b_3 A)]$
4.	$s_H = a_4 [1 - \exp(-b_4 A)]^{c_4}$
5.	$D_D = a_5 [1 - \exp(-b_5 H_D)]^{c_5}$
6.	$D_m = D_D a_6 [1 - \exp(-b_6 H_D)]$
7.	$D_1 = D_D a_7 [1 - \exp(-b_7 H_D)]^{c_7}$
8.	$s_D = a_8 [1 - \exp(1 - b_8 H_D)]^{c_8}$
9.	$\rho(Z_D, Z_H) = a_9 + b_9 \cos(c_9 H_D) + d_9 H_D$

onde:

H_D = altura dominante,

D_D = maior diâmetro,

H_m e D_m = moda das alturas e dos diâmetros,

H_1 e D_1 = menor altura e menor diâmetro,

s_H e s_D = desvios padrões das alturas e dos diâmetros,

A = idade do povoamento.

	a_i	b_i	c_i
1	-5,2204	0,36	
2	$0,86165 - 0,2119/S^2$	$0,000973 + 0,001596/S$	
3	$0,5840 + 0,0131S$	0,0385	
4	$23,164 - 1,9477.S - 0,1141.S^2$	$0,01198 + 0,000799S$	0,88
5	$5,025 + 7,0393S - 0,4284.S^2$	$0,0245 - 0,00672S + 0,000845S^2$	$1,1615 - 0,1478S + 0,0259S^2$
6	$0,8439 - 0,3240/S$	$0,0467 + 0,0971/S$	
7	$0,0800 - 0,5227/S$	$0,0226 + 0,0172/S$	$5,568 - 4,8647/S$
8	2,03	$0,0240 + 0,001598/S$	$2,1640 - 0,1686.S$
9	$0,91 \cdot \exp(-0,0348S)$	$0,1188.S^{0,4159}$	$0,0445 + 0,0245/S$

$$d_9 = 0,000708 + 0,000389/S$$

onde

$$S = \sqrt{\frac{10.000}{\text{num. de arv. sobre.}/ha}}$$

4.1.2. Funções de Afilamento

Na TABELA 5 estão apresentadas as estimativas dos coeficientes dos modelos testados, bem como de seus respectivos coeficientes de determinação ajustados (R^2_{aj}), erros padrões da estimativa em percentagem ($S_{yx}\%$) e valores de F.

Através dos valores de R^2_{aj} , $S_{yx}\%$ e F verificou-se que o melhor ajuste foi obtido com o modelo (34), de PRODAN. A representação gráfica da equação obtida é apresentada na Figura 8.

TABELA 5. Estimativas dos coeficientes dos modelos testados, coeficientes de determinação ajustados (R^2_{aj}), erros padrões das estimativas ($S_{yx}\%$) e valores de "F".

MODELO	b_0	b_1	b_2	b_3	b_4	R^2_{aj}	$S_{yx}\%$	"F"
PRODAN		1,2096	1,7761	-4,6178	2,8225	0,9943	7,46	67.390,10
MUNRO	1,3601	-2,6028	1,2666			0,9642	13,22	16.145,80
KOZAK	1,1571	-1,0309	-0,0838			0,9711	8,62	20.122,20
ORMEROD	1,1532	0,8791				0,9451	24,74	20.662,50

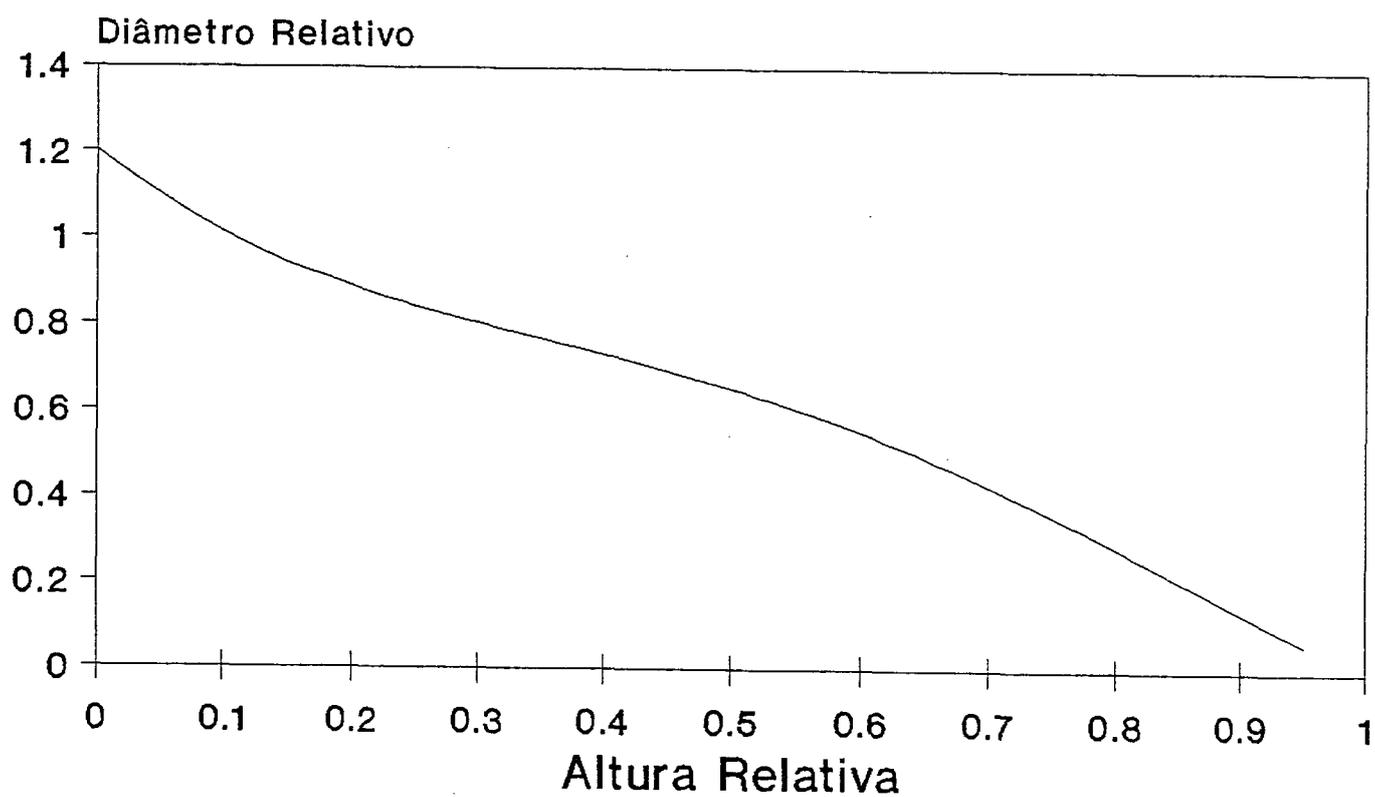


FIGURA 8. Representação gráfica da função de forma obtida com o modelo de PRODAN.

4.1.3. Equação de Volume Total e Volume para Sortimento

Considerando-se a expressão a seguir referente ao modelo de PRODAN:

$$\frac{d_i}{D} = b_1 \left(\frac{h}{H} \right) + b_2 \left(\frac{h}{H} \right)^2 + b_3 \left(\frac{h}{H} \right)^3 + b_4 \left(\frac{h}{H} \right)^4 \quad (45)$$

O volume total do tronco de uma árvore pode ser estimado por integração da expressão (45), considerando-se como limites da integral os valores 0 e o valor h (equivalente à altura total H), conforme a expressão (46).

$$V_{total} = \left[\frac{\pi D^2}{4} * \int_0^h \left[b_1 \left(\frac{h}{H} \right) + b_2 \left(\frac{h}{H} \right)^2 + \dots + b_4 \left(\frac{h}{H} \right)^4 \right]^2 dh \right] \quad (46)$$

Para a construção das tabelas de sortimento, a partir da base do tronco, por substituição dos valores de H e h na equação ajustada, é realizada a avaliação do diâmetro da extremidade superior de cada segmento com dimensões previamente definidas.

Assim, considerando-se os diâmetros das extremidades mais finas das toras como: 35,0 cm para laminação especial, 25,0 cm para laminação, 15,0 cm para serraria e 8 cm para celulose, comprimento das toras de 2,4 m em todas as classes de utilização e os segmentos com diâmetro inferior a 8,0 cm destinados à energia, quando o diâmetro for igual ou superior a 35, cm, a tora terá seu volume incluído na coluna de volume para laminação especial. Se o diâmetro for inferior a 35, cm e

igual ou superior a 25, cm, a tora terá seu volume incluído na coluna de volume para laminação. O mesmo procedimento é adotado para a classificação da madeira para serraria, celulose e energia.

Os volumes de segmentos do tronco podem ser estimados considerando-se como limites da integral, os valores referentes às alturas medidas na base inferior e na base superior do respectivo segmento.

Considerando-se como exemplo o modelo de PRODAN:

$$\frac{d_i}{D} = a\left(\frac{h}{H}\right) + b\left(\frac{h}{H}\right)^2 + c\left(\frac{h}{H}\right)^3 + d\left(\frac{h}{H}\right)^4 \quad (47)$$

onde:

D é o diâmetro à altura do peito (d1.3).

a, b, c, d substituem os termos b1, b2, b3, b4

Elevando-se o termo independente ao quadrado obtém-se:

$$a^2\left(\frac{h^3}{3H^2}\right) + 2ab\left(\frac{h^4}{4H^3}\right) + (2ac + b^2)\left(\frac{h^5}{5H^4}\right) + (2ad + 2bc)\left(\frac{h^6}{6H^5}\right) + (2bd + c^2)\left(\frac{h^7}{7H^6}\right) + 2cd\left(\frac{h^8}{8H^7}\right) + d^2\left(\frac{h^9}{9H^8}\right) \quad (48)$$

cuja integral em relação a h é:

$$\left[\frac{a^2}{3} \left(\frac{h^3}{H}\right) \frac{2ab}{4} \left(\frac{h}{H}\right) + \left(\frac{2ac + b^2}{5}\right) \left(\frac{h}{H}\right) + \left(\frac{2ad + 2bc}{6}\right) \left(\frac{h}{H}\right) + \left(\frac{2bd + c^2}{7}\right) \left(\frac{h}{H}\right) + \frac{2cd}{8} X^8 + \frac{d^2}{9} \left(\frac{h}{H}\right) \right] * h \quad (49)$$

No cálculo do volume total, o valor de h é igual a H; então:

$$V_{total} = \left(\frac{D^2 \pi}{4} \right) [\text{soma dos coef. da integral da } (F. AFILAM.)^2 * h] \quad (50)$$

Para a equação obtida, conforme a Tabela 5:

$$\frac{d_i}{D} = 1,2096 \left(\frac{h}{H} \right) + 1,7761 \left(\frac{h^2}{H} \right) - 4,6178 \left(\frac{h^3}{H} \right) + 2,8225 \left(\frac{h^4}{H} \right) \quad (51)$$

a integral em relação a h é:

$$\left[0,4877 \left(\frac{h^2}{H} \right) + 1,0742 \left(\frac{h^3}{H} \right) - 1,6034 \left(\frac{h^4}{H} \right) - 1,5958 \left(\frac{h^5}{H} \right) + 4,4785 \left(\frac{h^6}{H} \right) - 3,2588 \left(\frac{h^7}{H} \right) + 0,8852 \left(\frac{h^8}{H} \right) \right] * h \quad (52)$$

logo:

$$V_{total} = \left(\frac{\pi D^2}{4} \right) * ((0,487 + 1,0742 + \dots + 0,8852) * h) \quad (53)$$

$$V_{total} = \left(\frac{\pi D^2}{4} \right) * ((0,4676) * h) \quad (54)$$

A função de afilamento deverá conter a variável DAP em seu primeiro termo. Se o denominador deste termo (termo dependente) for o diâmetro medido em outra altura, como por exemplo o Diâmetro a 10% da Altura Total ($d_i/D_{0,1}$), este Diâmetro

($D_{0,1}$) deverá ser substituído por uma equação que o estime através do DAP (ex: $D_{0,1} = b_0 + b_1 \cdot \text{DAP}$).

4.1.3. O Software SISPINUS

A partir de informações e mensurações de um povoamento de *P.taeda* em idade jovem, o SISPINUS gera tabelas com a prognose do crescimento e produção, para qualquer idade e, também, tabelas de prognose da produção por classes de diâmetro, para as árvores provenientes de desbastes e do corte final.

O sistema foi elaborado na linguagem Turbo Pascal e será descrito através de três exemplos:

Exemplo 1. Um povoamento de *P.taeda* teve 2000 árvores plantadas por hectare e 95% de sobrevivência no primeiro ano. O índice de sítio é de 21 metros e está previsto um desbaste aos 9 anos de idade e corte final aos 22 anos.

O menu principal é apresentado no Quadro 1. As informações referentes ao Exemplo 1 estão em negrito.

Quadro 1. Informações solicitadas para a operação do SISPINUS, referentes ao Exemplo 1.

<1> ÍNDICE DE SÍTIO.....	21,0 metros
<2> Nº DE ÁRVORES PLANTADAS POR HA.....	2000
<3> PORCENTAGEM DE SOBREVIVÊNCIA NO 1º ANO.....	95
<4> OUTPUTS	
Idade Inicial.....	2 anos
Idade Final.....	22 anos
Intervalos de.....	2 anos
<5> IDADE DO PRIMEIRO DESBASTE.....	9 anos
<6> EQUAÇÃO ALTURA/IDADE A SER UTILIZADA.....	EqSit1
<7> EQUAÇÃO DE VOLUME A SER UTILIZADA.....	EqVol1
<8> REVER OU ALTERAR EQUAÇÃO DE AFILAMENTO	

A seguir, cada opção será descrita.

<1> ÍNDICE DE SÍTIO:

O índice de sítio deverá ser determinado em função da equação Altura Dominante/Idade, indicada através da opção <6>.

<2> NÚMERO DE ÁRVORES PLANTADAS POR HECTARE:

Com este item, três opções aparecerão no vídeo:

- <1> Número de Árvores plantadas por hectare.
- <2> Número de árvores por hectare do povoamento em idade especificada.
- <3> Número de árvores e a Área Basal por hectare do povoamento em idade especificada.

<3> PORCENTAGEM DE SOBREVIVÊNCIA NO 1º ANO

Refere-se à porcentagem de sobrevivência quando a mortalidade inicial, ocorrida com a implantação e o estabelecimento do povoamento, já tiver sido quantificada.

<4> OUTPUTS

O usuário deverá indicar as idades em que as prognoses são desejadas.

<5> IDADE DO PRIMEIRO DESBASTE:

O tipo de desbaste (seletivo, sistemático ou misto) e a sua intensidade deverão ser informados quando o software apresentar a Tabela de Produção da idade inicial até a idade em que o desbaste foi programado.

<6> EQUAÇÃO ALTURA/IDADE A SER UTILIZADA

Teclando-se "6 <ENTER>", as seguintes opções aparecerão no vídeo:

<1> EqSit1

<2> entre uma curva

Com a opção <2>, pode-se introduzir novos modelos, determinados especificamente para os povoamentos de interesse.

A opção <1> EqSit1 refere-se à equação (7), do item 3.2.2., obtida por OLIVEIRA et alii (1989) que representa médias de Altura Dominante/Idade desta espécie no Sul do Brasil:

$$H = S * EXP\left(-5,2204 * \left[\left(1/A\right)^{0,36} - \left(1/15\right)^{0,36}\right]\right) \quad (55)$$

onde:

H = altura total

S = altura dominante aos 15 anos

A = idade

<7> EQUAÇÃO DE VOLUME A SER UTILIZADA

Com a opção <7> são apresentadas tabelas com as equações de volume disponíveis, com a opção do operador anexar novos modelos

Para o Exemplo 1, a equação de volume foi obtida através da função de afilamento, conforme a equação (56).

$$V_{total} = 3,6725 * 10^{-5} * D^2 * h \quad (56)$$

<8> REVER OU ALTERAR EQUAÇÃO DE AFILAMENTO

Nesta opção pode-se estabelecer que o volume total e o volume por classes diamétricas, que são estimados para árvores retiradas nos desbastes e no corte final, sejam fornecidos em Tabelas de Sortimento, em função de diâmetros e comprimentos de toras previamente dimensionados. Desta forma, as estimativas de volume total de madeira são separadas em volumes calculados especificamente para segmentos dos troncos com dimensões adequadas a cada finalidade industrial.

Assim, por exemplo, para laminação pode-se desejar toras com comprimento de 1,35 metros e diâmetro da menor extremidade de, pelo menos, 25 centímetros. Para serraria a exigência pode ser de toras com 2,4 metros de comprimento, mas diâmetros de, no mínimo, 15 centímetros. O volume restante, de valor financeiro bastante inferior, pode ser destinado à produção de energia. Isto possibilita o planejamento da produção em função da demanda de mercado ou da própria empresa.

Teclando-se a opção <8> o Quadro 2 aparecerá no vídeo, tendo com caracteres em negrito as informações referentes ao Exemplo1:

Quadro 2. Função de Afilamento e dimensão de toras para o Exemplo 1.

Função de Afilamento:			
$d_i = (D) \cdot (1.2096 \cdot X + 1.7761 \cdot X^2 - 4.6178 \cdot X^3 + 2.8225 \cdot X^4) \dots$			
	Dimensões de tora	Comprimento	Diâmetro mínimo
	LAMIN. ESPECIAL	1,35 m	35,0 cm
	LAMINAÇÃO	1,35 m	25,0 cm
	SERRARIA	2,4 m	15,0 cm
	CELULOSE	1,2 m	8,0 cm

onde $X = \frac{h}{H}$

Após o retorno ao menu principal, teclando-se <ENTER> obtém-se o resultado apresentado no Quadro 3:

Quadro 3. Tabela De Crescimento E Produção de *P. taeda* para o Exemplo 1.

ÍNDICE DE SÍTIO		DENSIDADE		SOBREVIVÊNCIA				
(IDADE ÍNDICE 15)		(ÁRVORES/HA)		PORCENTAGEM		(ÁRVORES/HA)		
21.0 m		2000		95		1900		
ALT.	DIÂM.	ALT.	ÁREA	VOLUME	IMA	ICA		
DOM.	N/HA	MED.	BASAL	TOTAL				
anos	m	cm	m ² /ha	m ³ /ha	m ³ /ha	m ³ /ha	m ³ /ha	
2	2,6	1900	2,3	2,1	0,8	0,8	0,4	0,8
4	6,2	1900	7,6	5,3	8,6	21,1	5,3	14,6
6	9,5	1899	11,6	8,2	20,2	77,5	12,9	32,3
8	12,5	1893	14,7	10,8	32,0	161,2	20,2	44,6
9	13,9	1887	15,9	12,0	37,6	210,1	23,3	48,9

PRONTO PARA DESBASTE

Tecla <ENTER> para continuar:

Teclando <ENTER> aparecerá um quadro com as seguintes opções:

<1> Seletivo ou Sistemático fixando Área Basal

<2> Seletivo ou Sistemático fixando Número de Árvores

<3> Desbaste Sistemático e, em seguida, Seletivo

<4> Retornar sem desbastar

Nas opções <1> e <2> deverão ser indicadas a área basal (opção <1>) ou, então, o número de árvores por hectarea (opção <2>), que o povoamento deverá ter após a operação de desbaste.

O tipo de desbaste a ser adotado será solicitado a seguir. Se a opção for desbaste seletivo deve-se teclar <S><ENTER>. Se for desbaste sistemático deve-se teclar <A><ENTER>.

A opção <3> possibilita a simulação de desbaste sistemático ou misto. As seguintes instruções aparecerão no vídeo:

Entre a linha a ser desbastada ex: cada quinta linha = 5 cada terceira linha = 3
--

por exemplo:

==> 3 <ENTER>

Será removida uma em cada 3 linhas.

Neste ponto aparecerá a seguinte mensagem:

Deseja desbastar o povoamento residual? (S/N)

Teclando-se "N" o desbaste será apenas sistemático.

Se a opção for desbaste misto, deve-se teclar "S" e seguir as instruções que aparecerão no vídeo:

INFORME COMO DESEJA DESBASTAR: <1> Fixando Área Basal a ser mantida (Residual) <2> Fixando Número de Árvores a permanecerem

Deverá ser informado, também, se haverá outro desbaste e a idade de sua realização.

Considerando-se que seja solicitado, aos 9 anos, um desbaste sistemático removendo-se 1 em cada 3 linhas e um desbaste seletivo nas remanescentes, de forma a deixar 1200 árvores no povoamento, a TABELA DE PRODUÇÃO terá continuação conforme os Quadros 5 e 6.

O sistema perguntará se são desejadas Tabelas de Frequência por Classes de Diâmetro das produções dos desbastes e do corte final. Caso a resposta seja negativa, o sistema retorna ao menu principal, pronto para novos processamentos. No caso de resposta afirmativa, deverá ser informado o Intervalo de Classe desejado neste exemplo 2,0 cm. Então as tabelas apresentadas no Quadro 5 para o desbaste e Quadro 6 para o corte final serão geradas:

Quadro 4. Continuação da Tabela de Crescimento e Produção do Exemplo 1.

ÍNDICE DE SÍTIO		DENSIDADE		SOBREVIVÊNCIA			
(IDADE ÍNDICE 15)		(ÁRVORES/HA)		PORCENTAGEM		(ÁRVORES/HA)	
21.0 m		2000		95		1900	
ALT.	DIÂM.	ALT.	ÁREA	VOLUME	JMA	ICA	
IDADE	DOM.	N/HA	MED.	MED.	BASAL	TOTAL	
anos	m		cm	m	m ² /ha	m ³ /ha	m ³ /ha
DESBASTE PELA REMOÇÃO DE 1 LINHA EM CADA 3 LINHAS E, EM SEGUIDA, DESBASTE PELA REMOÇÃO DE 58 ÁRVORES							
		1201	16,2	12,1	24,7	139,4	REMOVIDO=70
10	15,3	1199	17,7	13,2	29,5	181,3	25,2 41,9
12	17,7	1191	19,9	15,2	37,0	263,4	27,8 42,0
14	20,0	1177	21,7	17,2	43,7	350,9	30,1 44,2
16	22,1	1157	23,4	19,0	49,6	439,5	31,9 44,2
18	24,0	1131	24,8	20,6	54,5	525,5	33,1 42,5
20	25,8	1100	26,0	22,2	58,3	605,9	33,8 39,4
22	27,5	1064	27,1	23,7	61,2	678,7	34,1 35,3

Quadro 5. Sortimento de madeira para árvores removidas no desbaste.

TABELA DE FREQUÊNCIA PARA ÁRVORES REMOVIDAS NO DESBASTE (9 ANOS).

DIAMETRO LIM.de CLASSE	N/Ha	ALT MED	VOLUME(m ³ /ha)					
			TOTAL	LAMIN.ESP.	LAMIN.	SERRARIA	CELULOSE	ENERGIA
4,0- 5,9	9	9,3	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1
6,0 - 7,9	48	10,2	0,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,8
8,0 - 9,9	53	10,5	1,6	0,0	0,0	0,0	0,5	1,1
10,0 - 11,9	77	11,1	3,6	0,0	0,0	0,0	2,3	1,3
12,0 - 13,9	96	11,5	6,6	0,0	0,0	0,0	5,6	1,0
14,0 - 15,9	108	11,8	10,2	0,0	0,0	0,0	9,4	0,9
16,0 - 17,9	111	12,2	14,2	0,0	0,0	6,3	6,6	1,3
18,0 - 19,9	96	12,6	16,0	0,0	0,0	7,0	8,2	0,8
20,0 - 21,9	64	13,0	13,6	0,0	0,0	9,4	3,3	0,8
22,0 - 23,9	22	13,5	5,8	0,0	0,0	3,9	1,7	0,2
24,0 - 25,1	1	13,9	0,2	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0
TOTAIS	685		72,8	0,0	0,0	26,8	37,6	8,4

Quadro 6. Sortimento de madeira para árvores removidas no corte final.

TABELA DE FREQUÊNCIA PARA IDADE 22

DIAMETRO LIM.de CLASSE	N/Ha	ALT MED	VOLUME(m ³ /ha)					
			TOTAL	LAM.ESP.	LAMIN.	SERRARIA	CELULOSE	ENERGIA
12,9 - 13,9	2	18,5	0,2	0,0	0,0	0,0	0,2	0,1
24,0 -15,9	27	19,7	4,2	0,0	0,0	0,0	3,8	0,3
16,0 - 17,9	60	20,7	12,6	0,0	0,0	3,6	8,1	0,8
18,0 - 19,9	84	21,5	22,9	0,0	0,0	11,2	10,6	1,1
20,0 - 21,9	1,1	22,1	34,6	0,0	0,0	22,1	11,2	1,2
22,0 - 23,9	111	22,7	47,3	0,0	0,0	35,8	10,3	1,2
24,0 - 25,9	117	23,3	62,6	0,0	9,9	43,2	8,5	1,0
26,0 - 27,9	119	23,9	76,2	0,0	30,2	33,7	10,8	1,6
28,0 - 29,9	117	24,4	88,5	0,0	42,9	37,2	7,2	1,2
30,0 - 31,9	110	25,0	97,5	0,0	54,8	32,6	9,4	0,8
32,0 - 33,9	97	25,7	99,8	14,5	54,9	24,7	4,6	1,2
34,0 - 35,9	74	26,5	89,1	23,3	42,9	17,0	5,3	,07
36,0 - 37,9	40	27,5	55,5	19,6	23,6	10,2	1,8	0,4
38,0 - 39,9	5	29,3	7,7	3,3	3,2	0,8	0,4	0,1
TOTAIS	1064		698,8	60,6	262,4	272,1	92,0	11,7

Exemplo 2.

Considerando-se o povoamento utilizado no Exemplo 1, entretanto, um inventário realizado aos 8 anos, indica que o povoamento dispõe de 1850 árvores/ha e área basal de 45m²/ha. Além de realizar um desbaste aos 9 anos (idêntico ao do Exemplo 1), serão solicitados um segundo desbaste aos 12 anos (Sistemático de 40% da população) e um terceiro aos 16 anos (Sistemático de 30% da população). As informações solicitadas pelo Sispinus encontram-se no Quadro 7.

QUADRO 7. Informações solicitadas para operação do SISPINUS, referentes ao Exemplo 2.

<1> ÍNDICE DE SÍTIO.....	21,0 metros
<2> Nº DE ÁRVORES AOS 8 ANOS.....	1850
<3> ÁREA BASAL AOS 8 ANOS (m ² /ha).....	45
<4> OUTPUTS	
Idade Inicial.....	8 anos
Idade Final.....	22 anos
Intervalos de.....	2 anos
<5> IDADE DO PRIMEIRO DESBASTE.....	9 anos
<6> EQUAÇÃO ALTURA/IDADE A SER UTILIZADA.....	EqSit1
<7> EQUAÇÃO DE VOLUME A SER UTILIZADA.....	EqVol1
<8> REVER OU ALTERAR EQUAÇÃO DE AFILAMENTO	

O processamento destas informações fornece os resultados apresentados no Quadro 8.

Quadro 8. Tabela de crescimento e produção de *P. taeda* para o Exemplo 2.

ÍNDICE DE SÍTIO		DENSIDADE		SOBREVIVÊNCIA				
(IDADE ÍNDICE 15)		(ÁRVORES/HA)		PORCENTAGEM			(ÁRVORES/HA)	
21.0 m		1857		95			1857	
IDADE	ALT.	N/HA	DIÂM.	ALT.	ÁREA	VOLUME	IMA	ICA
	DOM.		MED.	MED.	BASAL	TOTAL		
anos	m		cm	m	m ²	m ³	m ³	m ³
8	12,5	1850	17,6	10,8	45,0	226,9	28,4	28,4
9	13,9	1844	18,6	12,0	50,1	280,3	31,1	53,5
DESBASTE PELA REMOÇÃO DE 1 LINHA EM CADA 3 LINHAS E, EM SEGUIDA, DESBASTE PELA REMOÇÃO DE 30 ÁRVORES								
		1199	18,8	12,0	33,1	186,3	REMOVIDO=94,0	
10	15,3	1197	19,7	13,1	36,6	224,8	31,9	38,5
12	17,7	1189	21,8	15,2	44,2	314,8	34,1	45,8
DESBASTE PELA REMOÇÃO DE 476 ÁRVORES								
		714	24,1	16,0	32,7	245,0	REMOVIDO=69,7	
14	19,8	711	25,9	18,0	37,3	314,3	34,1	38,9
16	21,9	707	27,6	19,8	42,4	393,2	34,8	39,6
DESBASTE PELA REMOÇÃO DE 212 ÁRVORES								
		496	29,2	20,3	33,3	317,1	REMOVIDO=76,0	
18	23,6	494	30,7	22,1	36,5	377,1	34,3	36,3
20	25,5	491	32,4	23,8	40,3	448,4	34,4	35,5
22	27,3	487	33,8	25,3	43,7	518,2	34,5	34,7

No Quadro 9 são apresentadas as tabelas de sortimento de madeira, referentes às árvores retiradas nos 3 desbastes realizados. No Quadro 10, está o sortimento de madeira para o corte final. Para estas tabelas foram solicitados intervalos de classe de 4.0 cm.

Quadro 9. Tabelas de sortimento de madeira, referentes às árvores retiradas nos desbastes realizados aos 9, 12 e 16 anos, respectivamente.

TABELA DE FREQUÊNCIA PARA ÁRVORES REMOVIDAS NO DESBASTE (9 ANOS).

DIAMETRO LIM.de CLASSE	N/Ha	ALT MED	VOLUME (m ³ /ha)					
			TOTAL	LAMIN.ESP.	LAMIN.	SERRARIA	CELULOSE	ENERGIA
5,8 - 7,9	3	8,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
8,0 - 11,9	66	10,2	2,4	0,0	0,0	0,0	1,2	1,2
12,0 - 15,9	148	11,2	11,5	0,0	0,0	0,0	9,9	1,5
16,0 - 19,9	210	11,9	28,6	0,0	0,0	13,0	13,2	2,4
20,0 - 23,9	177	12,6	38,3	0,0	0,0	27,2	9,1	2,0
24,0 - 27,9	41	13,4	13,1	0,0	3,4	8,0	1,3	0,4
TOTAIS	645		94,0	0,0	3,4	48,2	34,8	7,6

TABELA DE FREQUÊNCIA PARA ÁRVORES REMOVIDAS NO DESBASTE (12 ANOS).

DIAMETRO LIM.de CLASSE	N/Ha	ALT MED	VOLUME (m ³ /ha)					
			TOTAL	LAMIN.ESP.	LAMIN.	SERRARIA	CELULOSE	ENERGIA
10,1 - 11,9	9	12,8	0,5	0,0	0,0	0,0	0,3	0,1
12,0 - 15,9	165	13,9	14,8	0,0	0,0	0,0	12,6	2,2
16,0 - 19,9	210	14,7	32,4	0,0	0,0	12,4	18,1	1,9
20,0 - 23,9	69	12,8	15,3	0,0	0,0	10,8	3,7	0,9
24,0 - 27,9	20	13,4	6,2	0,0	1,6	3,8	0,6	0,2
28,0 - 31,9	1	14,6	0,5	0,0	0,2	0,2	0,1	0,0
TOTAIS	474		69,8	0,0	1,8	27,2	35,4	5,3

TABELA DE FREQUÊNCIA PARA ÁRVORES REMOVIDAS NO DESBASTE (16 ANOS).

DIAMETRO LIM.de CLASSE	N/Ha	ALT MED	VOLUME (m ³ /ha)					
			TOTAL	LAMIN.ESP.	LAMIN.	SERRARIA	CELULOSE	ENERGIA
18,6 - 19,9	15	18,5	3,6	0,0	0,0	2,0	1,4	0,2
20,0 - 23,9	135	19,3	43,3	0,0	0,0	30,4	11,0	1,9
24,0 - 27,9	41	17,4	17,3	0,0	3,6	11,7	1,8	0,3
28,0 - 31,9	17	17,6	9,5	0,0	4,7	3,5	1,0	0,2
32,0 - 35,9	3	18,0	2,4	0,5	1,2	0,6	0,1	0,0
TOTAIS	211		76,1	0,5	9,5	48,2	15,3	2,7

QUADRO 10. Sortimento de madeira para árvores removidas no corte final.

TABELA DE FREQUÊNCIA PARA ÁRVORES REMOVIDAS NO DESBASTE (22 ANOS).

DIAMETRO LIM.de CLASSE	N/Ha	ALT MED	VOLUME (m ³ /ha)					
			TOTAL	LAMIN.ESP.	LAMIN.	SERRARIA	CELULOSE	ENERGIA
24,4 - 27,9	67	24,4	40,5	0,0	11,3	22,2	6,0	1,0
28,0 - 31,9	131	25,1	106,6	0,0	59,7	35,6	9,4	1,9
32,0 - 35,9	131	25,6	139,3	20,3	76,7	34,5	6,3	1,6
36,0 - 39,9	110	26,1	150,4	55,5	65,2	20,2	8,5	1,0
40,0 - 43,9	47	27,0	82,3	43,7	28,4	7,4	2,4	0,4
TOTAIS	486		519,1	119,4	241,4	119,9	32,5	5,9

4.2. Análise Econômico-Financeira

Dois softwares foram desenvolvidos para viabilizar a aplicação, em larga escala, das metodologias de avaliação econômica apresentadas no item 2.

O primeiro, denominado PLANIN, possibilita o cálculo dos parâmetros de avaliação econômica bem como a realização de análises da sensibilidade do Valor Uniforme Líquido e Valor Presente Líquido a diferentes Taxas de Atratividade.

O segundo, denominado REPLAN, constitui-se em um gerenciador de banco de dados de rentabilidade de regimes de manejo em diferentes idades de rotação. Este software dá suporte a tomadas de decisão sobre a idade ideal para o corte final dos povoamentos.

4.2.1. O software PLANIN

O software PLANIN - Planejamento Florestal Integrado foi desenvolvido para dar suporte às análises econômico-financeiras de regimes de manejo de povoamentos de Pinus.

O PLANIN está estruturado para cobrir todos os segmentos de custos operacionais das atividades de implantação, manutenção e exploração da floresta. Seus recursos operacionais são modulares para entrada de dados e gerenciamento de arquivos.

O menu principal é composto conforme o Quadro 11.

Quadro 11. Menu principal do software PLANIN.

PLANIN		
ENTRADA DE DADOS	ARQUIVOS	(CRIAR, SALVAR, RECUPERAR)
	1. Idade do Corte Final 2. Custos e Preços 3. Tabela de Produção 4. Custos por Idade 5. Processar	
ESC: RETORNA	F5: CALCULADORA	

O item 1. Idade do Corte Final possibilita a indicação de idades de rotação até 35 anos.

A opção 2. Custos e Preços mostra o Quadro 12:

Quadro 12. Custos e preços solicitados pelo software PLANIN.

CUSTOS		PREÇOS DA MADEIRA	
1. Implantação.....	_____ /ha	13. Lam. Especial	_____ /m ³
2. Corte.....	_____ /m ³	14. Laminação	_____ /m ³
3. Desgalhamento	_____ /m ³	15. Serraria	_____ /m ³
4. Extração.....	_____ /m ³	16. Celulose.....	_____ /m ³
5. Traçamento.....	_____ /m ³	17. Energia	_____ /m ³
6. Carregamento.....	_____ /m ³	18. Taxa de Juros.....	_____ %/ano
7. Transporte.....	_____ /m ³		
8. Descarregamento.....	_____ /m ³		
9. Administração	_____ /m ³		
10 Outros.....	_____ /ha		
11 Outros.....	_____ /m ³		
12 Custo da terra.....	_____ /ha		

No item 3. Tabela de Produção, devem ser discriminadas por finalidade industrial as produções obtidas com os desbastes e o corte final, conforme o Quadro 13. As informações para este quadro são dadas em Tabelas como as que constam no Quadro 9.

Quadro 13. Tabela de produção com sortimento de madeira para múltiplas finalidades.

3. TABELA DE PRODUÇÕES					
IDADE (anos)	VOLUME (m ³ /ha)				
	Lamin. Especial	Lamin.	Serraria	Celulose	Energia
1 ^o Desb.
2 ^o Desb.
3 ^o Desb.
4 ^o Desb.
5 ^o Desb.
CORTE FINAL

Os Custos por Idade são incluídos através do Quadro 4:

Quadro 14. Tabela de custos por idade do software PLANIN.

C. Custos por Idade				
Idade anos	Manutenção \$/ha/ano	Corte \$/m ³ /ha	Outros \$/ha/ano	Outros \$/m ³ /ha
1				
2				
3				
·				
...
·				
·				
35				

O PLANIN fornece os resultados conforme o Quadro 15, e também um quadro com a análise de sensibilidade para juros, que será apresentado com o Exemplo 3:

Quadro 15. Itens componentes dos resultados gerados pelo software PLANIN.

Fluxo de Receitas e Custos para uma Rotação de t anos		
	Receitas	Custos
0	R0	C0
1	R1	C1
2	R2	C2
3	R3	C3
4	R4	C4
5	.	C5
.	.	.
.	.	.
t	Rt	Ct

Parâmetros para análise Econômico-Financeira	
Receita Total	
Receita Total Líquida	
Receita Total Média	
Custo Total	
Custo Total Médio	
Receita Líquida Média	
Valor Presente da Receita	
Valor Presente dos Custos	
Valor Presente Líquido	
Valor Uniforme Líquido	
Relação Benefício/Custo	
Valor Esperado da Terra	
Taxa Interna de Retorno	

Exemplo 3.

Como exemplo de aplicação será considerado um regime de manejo com um desbaste aos 9 anos e rotação aos 22 anos. Os custos e preços utilizados são apresentados na Tabela 3, inserida nos Anexos. Com estas informações, para uma Taxa de Atratividade de 6% ao ano, tem-se no PLANIN, os itens 1 a 5 a seguir:

1. Idade do Corte Final: 22 anos
2. Custos e Preços: conforme o Quadro 16

Quadro 16 - Custos e preços referentes ao Exemplo 3.

CUSTOS		PREÇOS DA MADEIRA E JUROS	
1. Implantação.....	700,00/ha	13. Lam. Especial	47,75/m ³
2. Corte.....	0,98/m ³	14. Laminação	27,91/m ³
3. Desgalhamento	0,18/m ³	15. Serraria	17,81/m ³
4. Extração.....	1,00/m ³	16. Celulose	8,94/m ³
5. Traçamento.....	0,16/m ³	17. Energia	7,72/m ³
6. Carregamento.....	0,71/m ³	18. Taxa Atratividade....	6,00/ano
7. Transporte.....	2,30/m ³		
8. Descarregamento.....	0,67/m ³		
9. Administração	20,00/m ³		
10 Outros.....	/m ³		
11 Outros.....	/m ³		
12 Custo da terra.....	/m ³		

3. Tabela de Produção: conforme o Quadro 17

Quadro 17. Tabela de produção com sortimento de madeira para múltiplas finalidades, referente ao exemplo 3.

3. Tabela de Produção						
IDADE (anos)	VOLUME (m ³ /ha)					
	Lamin. Especial	Lamin.	Serraria	Celulose	Energia	
1 ^o Desb.	9	0,0	0,0	26,80	37,60	11,70
2 ^o Desb.	.....	.....	.....	.....	.....	.....
3 ^o Desb.	.....	.....	.....	.....	.....	.....
4 ^o Desb.	.....	.....	.....	.....	.....	.....
5 ^o Desb.	.....	.....	.....	.....	.....	.....
CORTE FINAL	20	60,60	262,40	272,10	92,0	11,70

4. Custos por Idade: conforme Quadro 18

Quadro 18. Tabela de custos por idade para o Exemplo 3.

C. Custos por Idade				
Idade (anos)	Manutenção \$/ha/ano	Corte \$/m ³ /ha	Outros \$/ha/ano	Outros \$/m ³
1	150,00			
2				
3				
4	50,00			
5				
6				
7				
8	40,00			
9				
.				
.				
20				

5. Processar :

Nesta etapa o PLANIN apresenta a seguinte mensagem:

Análise de Sensibilidade para Juros? (S/N)

A análise de sensibilidade que o PLANIN realiza refere-se à variação do Valor Presente Líquido e Valor Uniforme Líquido em função da variação das Taxas de Juros.

Teclando-se SIM, deverão ser informadas as taxas de juros desejadas para a análise, através do quadro seguinte:

Análise de Sensibilidade

Informe a Taxa de juros Inicial:	5,00%
Taxa de Juros Final:	15,00%
Incremento:	1,00%

Os resultados são apresentados a seguir:

Quadro 19. Tabela de Análise de Sensibilidade do PLANIN, para o Exemplo 3.

ANÁLISE DE SENSIBILIDADE		
JUROS	Valor Líquido Presente	Valor Uniforme Líquido
5.000	3.123,35	237,28
6.000	2.369,00	196,73
7.000	1.761,57	159,25
8.000	1.271,47	124,64
9.000	875,23	92,69
10.000	554,27	63,19
11.000	293,80	35,93
12.000	82,04	10,73
13.000	-90,42	-12,61
14.000	-231,10	-34,27
15.000	-346,052	-54,42

Quadro 20. Fluxo financeiro referente ao Exemplo 3.

Fluxo de Receitas e Custos para uma Rotação de 22 anos.		
ANO	RECEITAS	CUSTOS
0	0,00	720,00
1	0,00	170,00
2	0,00	20,00
3	0,00	20,00
4	0,00	70,00
5	0,00	20,00
6	0,00	20,00
7	0,00	20,00
8	0,00	20,00
9	903,78	516,60
10	0,00	20,00
11	0,00	20,00
12	0,00	20,00
13	0,00	20,00
14	0,00	20,00
15	0,00	20,00
16	0,00	20,00
17	0,00	20,00
18	0,00	20,00
19	0,00	20,00
20	0,00	20,00
21	0,00	20,00
22	15976,14	4212,80

Quadro 21. Tabela com parâmetros para análise Econômico-Financeira, gerada pelo PLANIN, para o Exemplo 3.

Parâmetros para análise Econômico-Financeira	
Receita Total	16879,92
Receita Total Líquida	10830,52
Receita Total Média	767,27
Custo Total	6049,40
Custo Total Médio	274,97
Receita Líquida Média	492,30
Valor Presente da Receita	4968,41
Valor Presente dos Custos	2599,41
Valor Presente Líquido	2369,00
Valor Uniforme Líquido	196,73
Razão Benefício/Custo	1,91
Valor Esperado da Terra	3278,92
Taxa Interna de Retorno	12,40

4.2.2. O software REPLAN

O software REPLAN foi desenvolvido com o objetivo de agilizar a tomada de decisão sobre as idades economicamente mais adequadas para a rotação dos povoamentos.

Sua constituição é baseada em dados gerados pela análise de sensibilidade do PLANIN. O software tem armazenado um banco de dados de Valores Uniformes Líquidos, em função de Idades de Rotação e Taxas de

Atratividade. Este banco de dados está preparado para alterações e também pode ser ampliado, de acordo com situações específicas de interesse do decisor.

Como exemplo de aplicação será considerado o mesmo regime de manejo, custos e preços utilizado na exposição do software PLANIN. Entretanto, as Idade de Rotação e Taxas de Atratividade não serão fixas.

O menu principal do software é apresentado conforme a seguinte figura:

Quadro 22. Menu principal do software REPLAN.

REPLAN		
ENTRADA DE DADOS	ARQUIVOS	
	CRIAR	SALVAR	RECUPERAR
1. Índice de Sítio -----	22,0 m	
2. Taxa de Atratividade -----	10,0 %	
3. Processar		
ESC: RETORNA	F5: CALCULADORA	

Os comandos ARQUIVOS e SALVAR possibilitam que os bancos de dados sejam gerenciados através de modificações em suas estruturas e valores, e que novos arquivos sejam armazenados. Com o comando SELECIONAR pode ser feita a opção para o trabalho com qualquer arquivo disponível.

Após completadas as informações sobre índice de Sítio e Taxa de Atratividade, com o comando 3 deste programa, os resultados são apresentados conforme a Figura 9:

Idade (anos)	18	20	22	24	26	28	30
V. Unif. Liq.	80,0	94,4	102,7	98,6	91,0	80,3	69,1

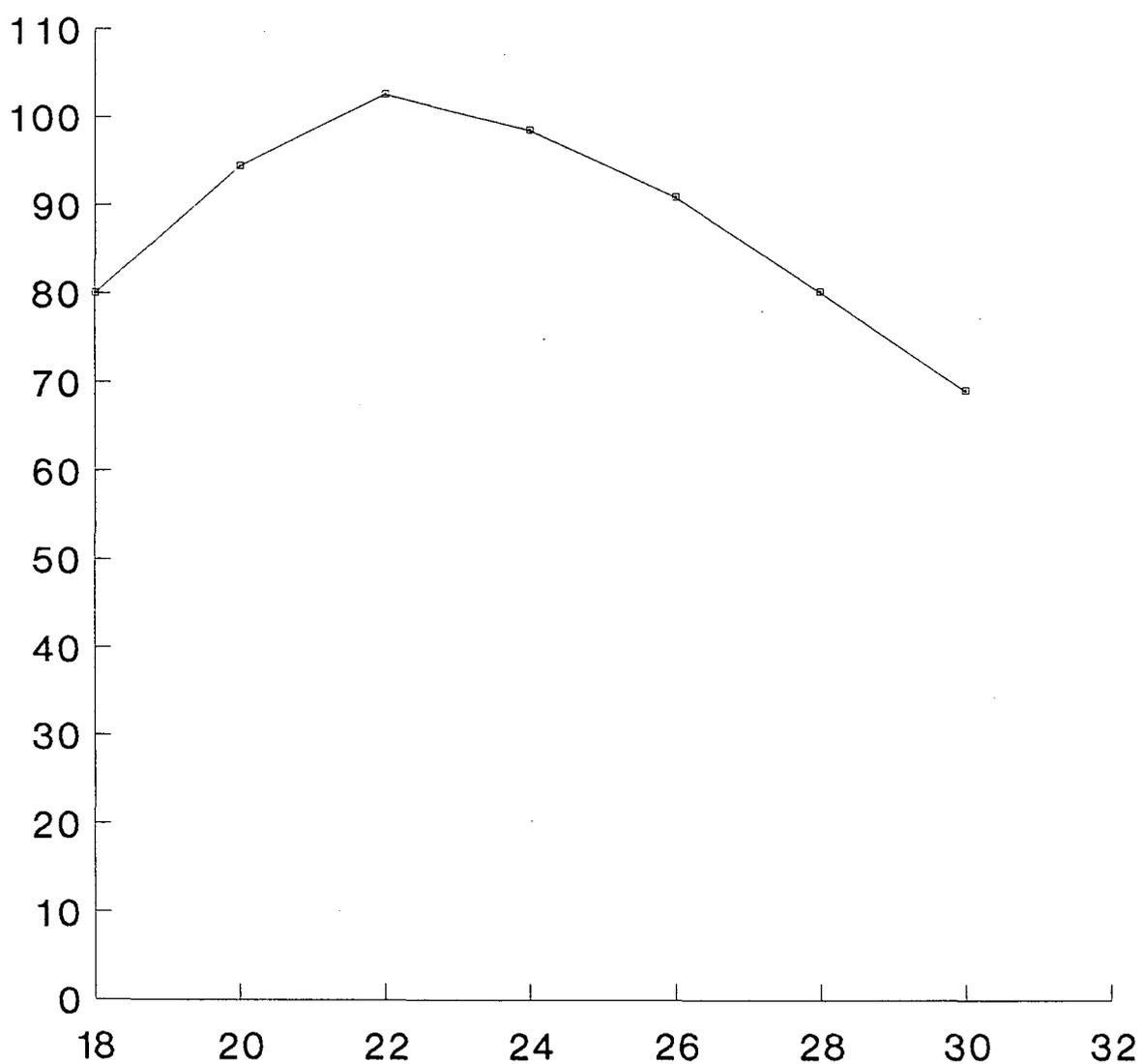


FIGURA 9. Resultados apresentados pelo software REPLAN.

4.3. Comparação entre regimes de manejo

Para o estabelecimento de um estudo metodológico sobre a decisão por um regime de manejo, tendo por base uma fundamentação econômica, foram utilizados valores de produção de madeira simulados pelo SISPINUS, referentes a 25 alternativas de regimes, conforme as Tabelas 1 e 2 do Apêndice.

Cada alternativa foi analisada pelo PLANIN, à Taxa de Atratividade de 10% ao ano, utilizando-se custos e preços da região de Curitiba-PR no mês de Junho de 1994, especificados na Tabela 6 a 10 do Apêndice.

A avaliação econômica de um regime de manejo, isoladamente, pode, de acordo com o interesse do técnico, ser baseada em qualquer parâmetro da tabela de resultados do PLANIN. Se forem consideradas Taxas de Atratividade maiores que zero, deverão ser adotados os critérios que levam em conta estas taxas, ou seja, Valor Presente Líquido, Valor Uniforme Líquido, Taxa Interna de Retorno, Valor Esperado da Terra e Relação Benefício Custo.

Para a comparação de dois ou mais regimes, considerando-se uma Taxa de Atratividade maior que zero, deve ser observado, inicialmente, se estes possuem ou não a mesma idade de rotação. Em seguida, dependendo da situação, aplica-se os critérios de avaliação econômica de forma isolada ou conjunta. Algumas destas situações para tomadas de decisão serão descritas a seguir:

4.3.1. Regimes de Manejo com a mesma idade de Rotação

4.3.1.1. Tomadas de decisão utilizando-se o método da Taxa Interna de Retorno e método do Valor Presente Líquido

Quando se examina dois regimes de manejo, pode-se calcular suas Taxas Internas de Retorno e compará-las isoladamente com a Taxa Mínima de Atratividade. Este procedimento possibilita saber se cada um dos regimes é ou não economicamente viável.

Entretanto, a comparação das Taxas Internas de Retorno não possibilita uma tomada de decisão sobre qual alternativa é melhor. Esta decisão deve estar baseada nos resultados dos Valores Presentes Líquidos de cada uma das alternativas computadas à Taxa de Atratividade i_e . A seleção da melhor alternativa dependerá da localização desta Taxa de Atratividade.

Assim, comparando-se o regime de manejo R4 com o R20, por exemplo, verifica-se que para a taxa de atratividade de 10%, R4 apresenta maior Valor Presente Líquido. Entretanto, sua taxa interna de retorno é menor, o que indica que a partir de determinada taxa de juros, o regime R20 torna-se mais vantajoso.

A Figura 10, baseada nos dados da TABELA 11, refere-se aos Valores Presentes Líquidos dos regimes R4 e R20, gerados pela opção "Análise de Sensibilidade" do PLANIN.

Observa-se que, para as Taxas Atratividade nulas até o ponto de cruzamento das duas curvas, o Regime de manejo R4 possui os maiores Valores Presentes Líquidos (VPL), apresentando-se como opção mais viável.

Na Taxa de Atratividade em que as duas curvas se cruzam, as duas alternativas se equivalem. Os dois regimes são viáveis por apresentarem Taxas de Retorno superiores à Taxa Mínima de Atratividade e apresentam a mesma rentabilidade.

A partir do ponto de cruzamento das duas curvas até o ponto em que estas interceptam o eixo i , o regime R20 será o mais viável, possuindo os maiores VPL e rentabilidade não negativa.

Para as Taxas de Atratividade que resultam em segmentos das curvas de VPL abaixo do eixo i , os dois regimes são considerados inviáveis, apresentando rentabilidades negativas.

4.3.1.2. Tomadas de decisão utilizando a Taxa Interna de Retorno e o Valor Uniforme Líquido

A metodologia de seleção de regimes através do Valor Uniforme Líquido e da Taxa Interna de Retorno é semelhante à utilizada anteriormente.

Primeiro verifica-se a viabilidade econômica de cada alternativa, e, posteriormente, seleciona-se a proposta que apresenta o maior Valor Uniforme Líquido. Este regime será o de maior rentabilidade.

Na Figura 11 são demonstrados os comportamentos dos valores uniformes líquidos dos regimes de manejo R4 e R20 a diferentes taxas de atratividade. Os valores são apresentados na Tabela 11.

A interpretação destes resultados obedece aos mesmos princípios do item anterior, quando se utilizou o Valor Presente Líquido.

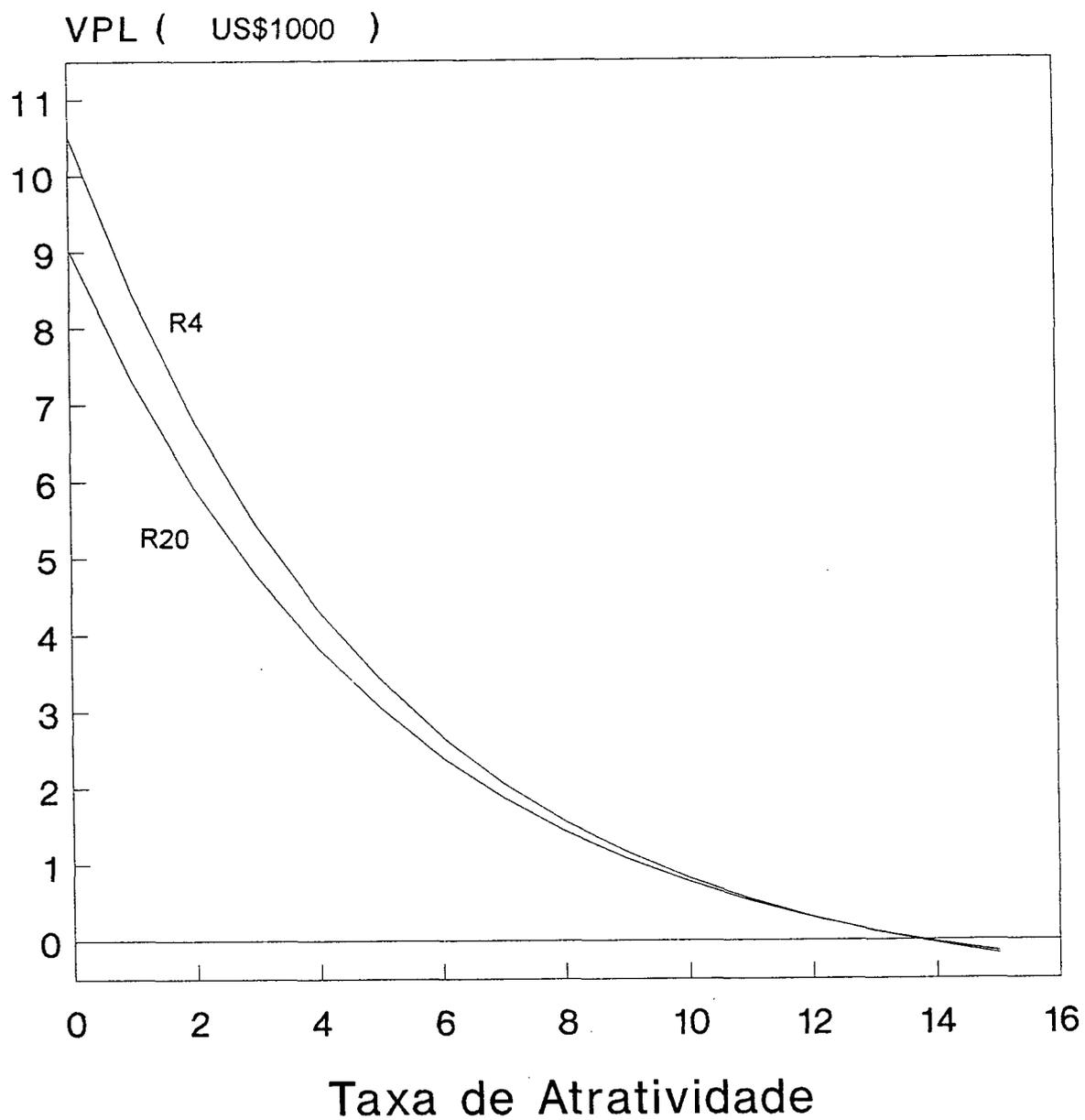


FIGURA 10. Tendência do Valor Presente Líquido (VPL) dos regimes de Manejo R4 e R20, em função de diferentes Taxas de Atratividade.

Admitindo-se repetitividade dos ciclos, os Valores Uniformes Líquidos resultantes dos Fluxos de Caixa com durações originais serão coincidentes com os Valores Uniformes líquidos dos fluxos de caixa com prazo igual ao Mínimo Múltiplo Comum (HIRSCHFELD 1992) . Assim, os Valores Uniformes Líquidos encontrados para a comparação de projetos, independem do fato destes projetos terem ou não a mesma duração. Dos 25 regimes de manejo testados, o regime R15 foi o mais rentável com VUL de US\$ 102.7, seguido dos regimes R9 e R10 (VUL = US\$ 101.7) e R16 (VUL = US\$ 98.6).

4.3.1.3. Razão Benefício-Custo (B/C)

As Tabelas 6 a 10 do Apêndice indicam que os regimes de manejo que apresentaram as maiores Razões Benefício-Custo (B/C) foram o R9, o R10, o R15 e o R16, todos com B/C de 1,46 (Tabelas 8 e 9). Este valor indica que, em cada um destes regimes, foram recebidos US\$ 1,46 com benefícios (B) por dolar investido (C).

Note-se que a coincidência destes valores não significa que estes regimes sejam equivalentes em rentabilidade. Comparando-se o R10 com o R15, que possuem a mesma idade de rotação, verifica-se, que enquanto o primeiro apresenta um Valor Presente Líquido de US\$ 892.1, o segundo é mais rentável com VPL de US\$ 900.8.

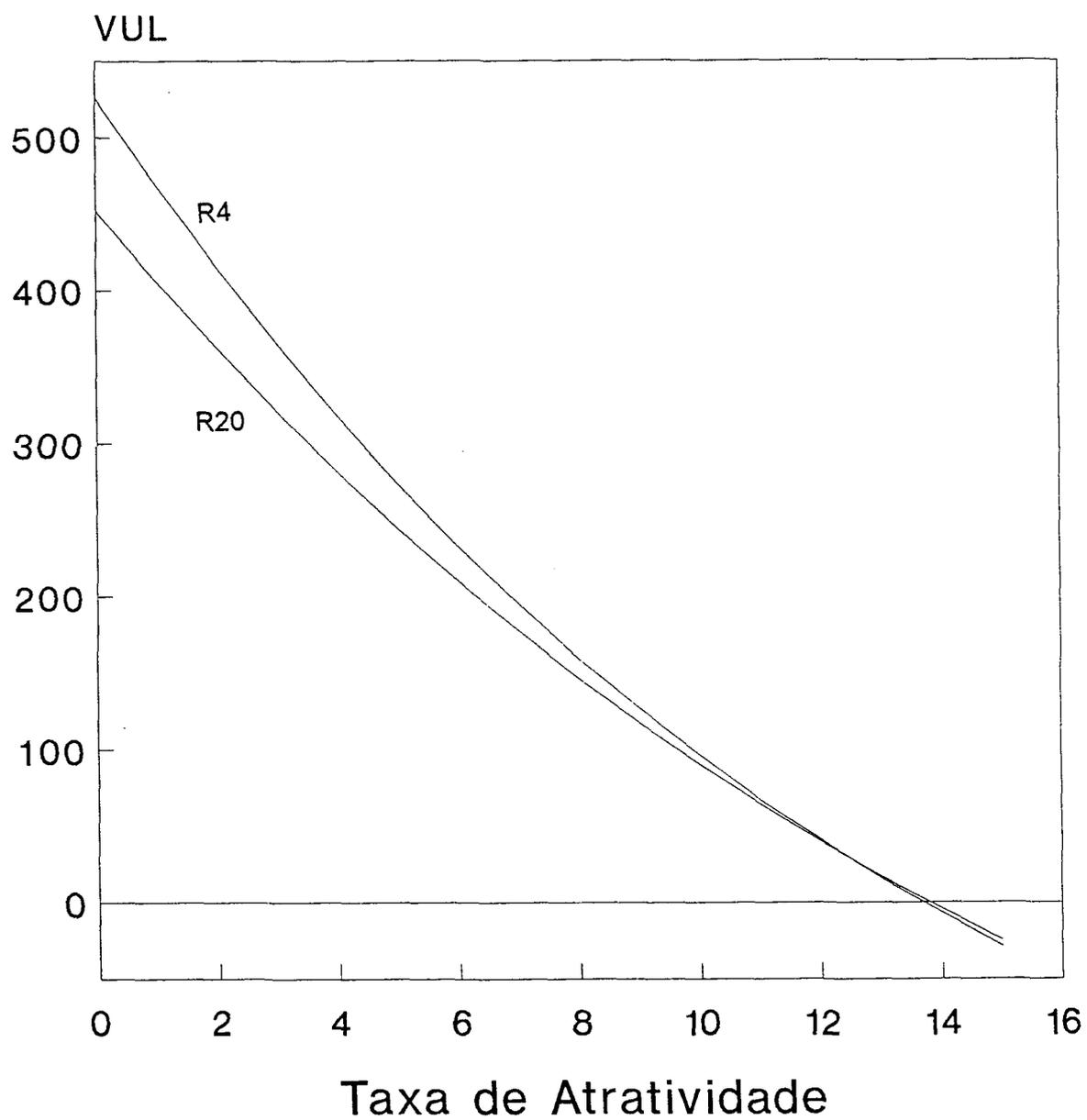


FIGURA 11. Tendência do Valor Uniforme Líquido (VUL) dos regimes de Manejo R4 e R20, em função de Taxas de Atratividade.

4.3.1.4. Valor Esperado da Terra (VET)

O Valor Esperado da Terra (VET) é um critério bastante utilizado na tomada de decisão sobre regimes de manejo. Sua relação com o Valor Uniforme Líquido (VUL) é desenvolvida a seguir:

Fazendo-se $\frac{VUL}{VET}$ temos:

$$\frac{VUL}{VET} = \frac{(R_n - C_n)(1+i)^{-n}(i)(1+i)^t / [(1+i)^t - 1]}{(R_n - C_n)(1+i)^{t-n} / [(1+i)^t - 1]} \quad (57)$$

Rearranjando-se esta expressão obtém-se:

$$\frac{VUL}{VET} = \frac{(R_n - C_n)(1+i)^{t-n}(i) / [(1+i)^t - 1]}{(R_n - C_n)(1+i)^{t-n} / [(1+i)^t - 1]} \quad (58)$$

$$\frac{VUL}{VET} = i \quad (59)$$

Logo:

$$VET = \frac{VUL}{i} \quad (60)$$

Assim, o Valor Uniforme Líquido, além de apresentar as mesmas vantagens que o critério Valor Esperado da Terra possui em relação aos demais, (destacadas por NEWMANN, 1988), possibilita uma interpretação mais simples quando o objetivo é estudar a rentabilidade e comparar regimes de manejo.

4.3.2. Regimes de Manejo com diferentes idades de Rotação Final

A interpretação dos critérios de avaliação da rentabilidade de dois regimes de manejo que não têm as mesmas durações é a mesma interpretação para durações iguais; entretanto, só tem sentido a comparação de alternativas com horizontes iguais. Assim, deve ser admitida a repetibilidade dos ciclos e adotada como duração comum o Mínimo Múltiplo Comum das duas durações originais.

Este procedimento é válido para todos os critérios de análise estudados. Entretanto, para alguns deles torna-se dispensável, porque os resultados são coincidentes, não sendo necessário que os fluxos de caixa dos regimes de manejo sejam repetidos.

Na Tabela 12 do Apêndice são apresentados os resultados dos critérios de análise para comparação dos regimes de manejo R20 e R25, respectivamente com 20 e 30 anos de duração, e com repetibilidade dos ciclos para que os fluxos sejam equivalentes, tendo ambos um horizonte de planejamento de 60 anos.

Pela Tabela 12 do Apêndice, observa-se que, enquanto na análise realizada sem repetibilidade dos ciclos o Valor Presente Líquido do regime com rotação aos 20 anos é superior ao do regime com rotação aos 30 anos em 15,0%,

esta superioridade atinge 27,4% quando se tem um horizonte de planejamento comum de 60 anos.

Note-se que este percentual já é detectado ao se aplicar o Método do Valor Uniforme Líquido e do Valor Esperado da Terra, com as durações originais dos regimes de manejo. Assim, estes dois métodos dispensam a determinação do mínimo múltiplo comum e a realização de cálculos mais trabalhosos.

Os outros métodos que também dispensam, para efeitos de cálculos, a repetibilidade dos ciclos são Relação Benefício/Custo e Taxa Interna de Retorno.

Observa-se que para a comparação dos regimes de manejo com durações diferentes fica sempre implícita a hipótese de repetição de cada alternativa em condições idênticas, ao longo de todo o horizonte de planejamento com duração equivalente ao mínimo múltiplo comum da Idade de Rotação de cada regime.

4.4. Análise de Sensibilidade - Comparação de resultados quando são alterados Custos e Preços diversos, Taxa de Juros e Idade de Rotação

Para a análise de sensibilidade, adotou-se como base o Regime de Manejo R14, com Taxa de Atratividade básica de 10% e os custos e preços especificados na Tabela 3. Os seguintes parâmetros foram analisados:

1. Taxas de Atratividade,
2. Idades de Rotação,
3. Custos de Implantação e Manutenção,
4. Custos de Exploração
5. Preços da Madeira.

Para cada variável foi estabelecido uma faixa de variação de 50% a 150%, em intervalos de 10%.

As produções de madeira para o estudo de Idades de Rotação, nos intervalos estudados referem-se aos regimes R7 e R13 a R19, (TABELA 1 e 2).

As análises foram processadas pelo PLANIN e os resultados são apresentados na Tabela 13 do Apêndice.

Para a variável Idade de Rotação (Tabela 13B), o cálculo do critério Valor Presente Líquido não levou em conta a repetição de ciclos. Com esta exceção, o estudo de sensibilidade pode ser efetuado para qualquer dos valores representativos, como o Valor Uniforme Líquido, a Relação Benefício-Custo, o Valor Esperado da Terra ou a Taxa Interna de Retorno.

Na Figura 12 está representado o gráfico de sensibilidade do Valor Uniforme Líquido a todas as variáveis estudadas.

Através deste gráfico pode-se observar que os parâmetros cujas alterações percentuais mais influenciam o Valor Uniforme Líquido são as Taxas de Atratividade e os Preços da Madeira.

As variáveis econômicas às quais o Valor Uniforme Líquido apresentam menor sensibilidade às variações percentuais foram os Custos de Implantação e Manutenção e os de Exploração. As linhas representativas destes Custos são quase sobrepostas. Entretanto, para Juros superiores a 10% os Custos com Implantação e Manutenção tendem a ter maior influência que os de Exploração, devido a terem sido computados antes no fluxo financeiro.

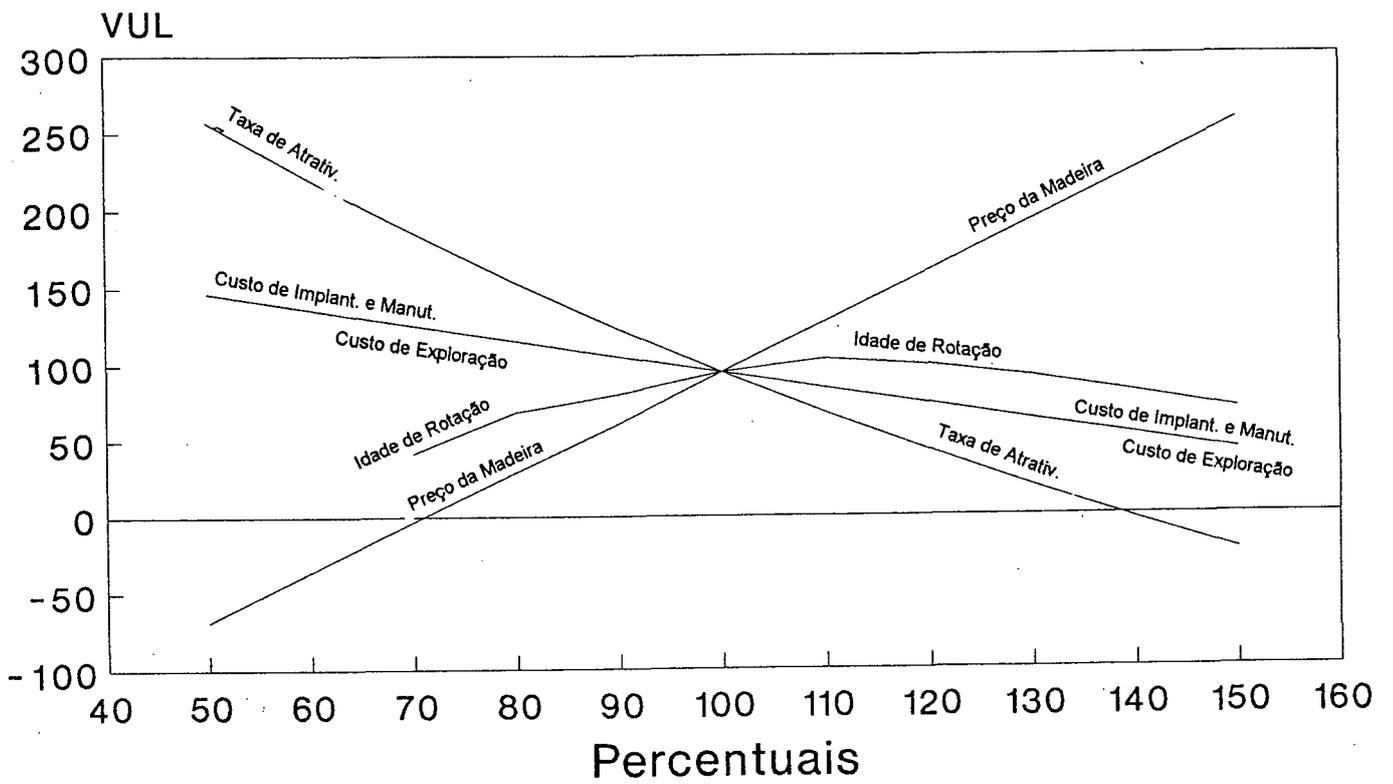


FIGURA 12. Análise de sensibilidade do Valor Uniforme Líquido (VUL) às variáveis estudadas.

Esta observação pode ser testada através da análise de sensibilidade do Valor Uniforme Líquido em relação às Taxas de Atratividade para duas situações: Na primeira, os Custos com Implantação e Manutenção são considerados zero e, na segunda, se considera zero os Custos de Exploração. Os resultados desta análise estão apresentados na Tabela 14, inserida nos apêndices e podem ser visualizados na Figura 13.

A variação da Idade de Rotação apresenta um comportamento quadrático, indicando idade ótima aos 22 anos. Observa-se que este parâmetro, comparado com Preços de Madeira e Taxas de Atratividade, leva a resultados menos variáveis do Valor Uniforme Líquido às alterações percentuais. Entretanto, estas variações são muito significativas. Note-se que, nas condições estabelecidas, o corte final aos 22 anos, comparado com 18 anos, representa um aumento de lucratividade de 28,4%.

Na Figura 14 são apresentadas curvas de Valor Uniforme Líquido em função de Idade de Rotação para diferentes Taxas de Atratividade. Estes resultados foram obtidos através do software REPLAN.

Como pode ser observado, à medida em que a Taxa de Atratividade aumenta, a maximização da lucratividade é conseguida com ciclos mais curtos.

Em períodos de 2 a 4 anos em torno da idade de Rotação de maior lucratividade as alterações nos Valores Uniformes Líquidos são pouco significativas. Isto possibilita certa flexibilidade à tomada de decisão para a rotação do povoamento; entretanto, para períodos superiores a estes, podem ocorrer grandes perdas.

A Idade de Rotação é bastante sensível a variações no fluxo de caixa. Um acréscimo de 30% no preço de toras para Laminação Especial (Diam.>35.0 cm), aumenta em 2 anos a idade ótima para rotação para Taxas de Atratividade de 6% e 8%. Para a Taxa de Atratividade de 10% a idade de Rotação continua a mesma, mas haverá um aumento de 24% na lucratividade. Para Taxas acima de 10%, esta proporção é ainda maior. (Figura 15).

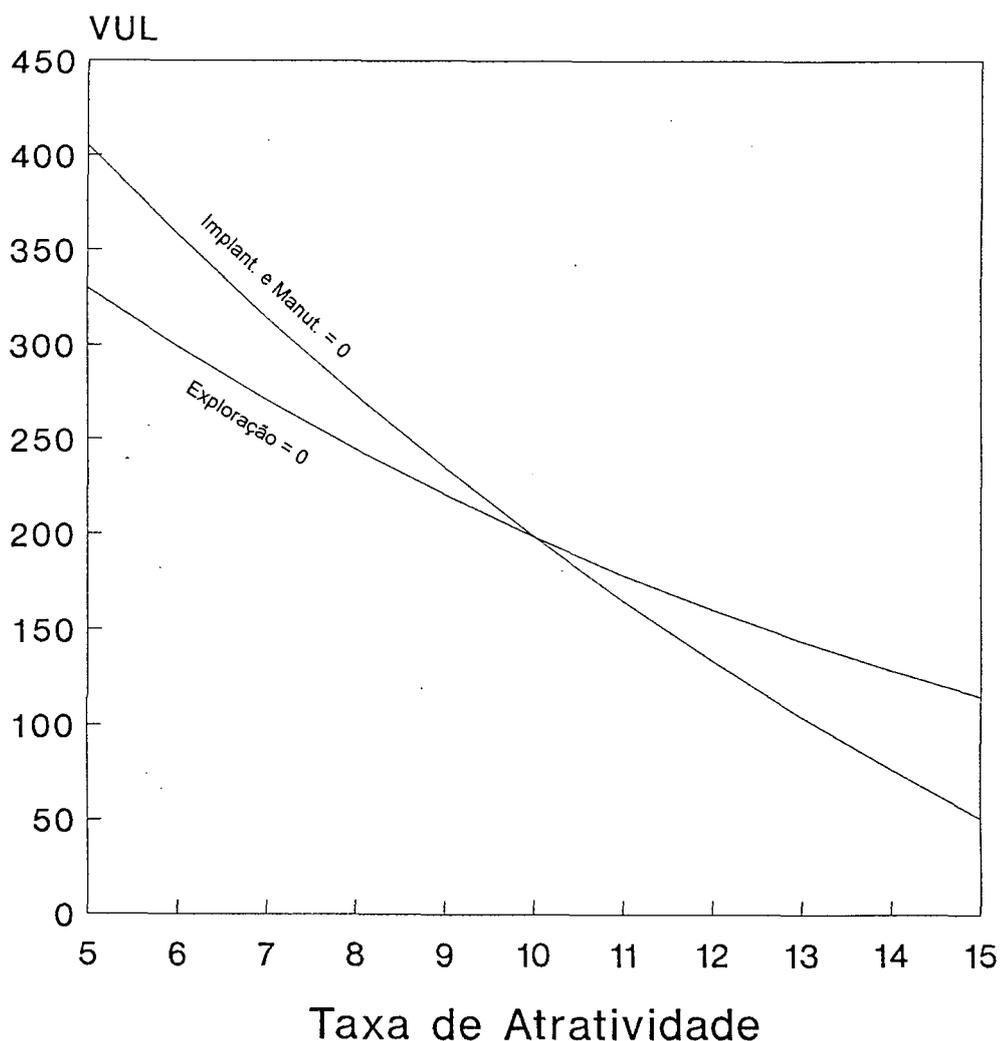


FIGURA 13. Valores Uniformes Líquidos (VUL) do regime de manejo R14 sem considerar os Custos de Exploração, em função de variações nas Taxas de Atratividade.

Idade (anos)	18	20	22	24	26	28	30
VUL (TA=6%)	187,7	220,3	246,6	254,3	256,1	251,7	245,7
VUL(TA=8%)	131,0	153,3	169,1	169,5	165,3	156,3	146,3
VUL(TA=10%)	79,9	94,4	102,7	98,6	91,0	80,3	69,1
VUL(TA=12%)	34,0	42,6	45,7	39,0	30,1	19,2	8,6

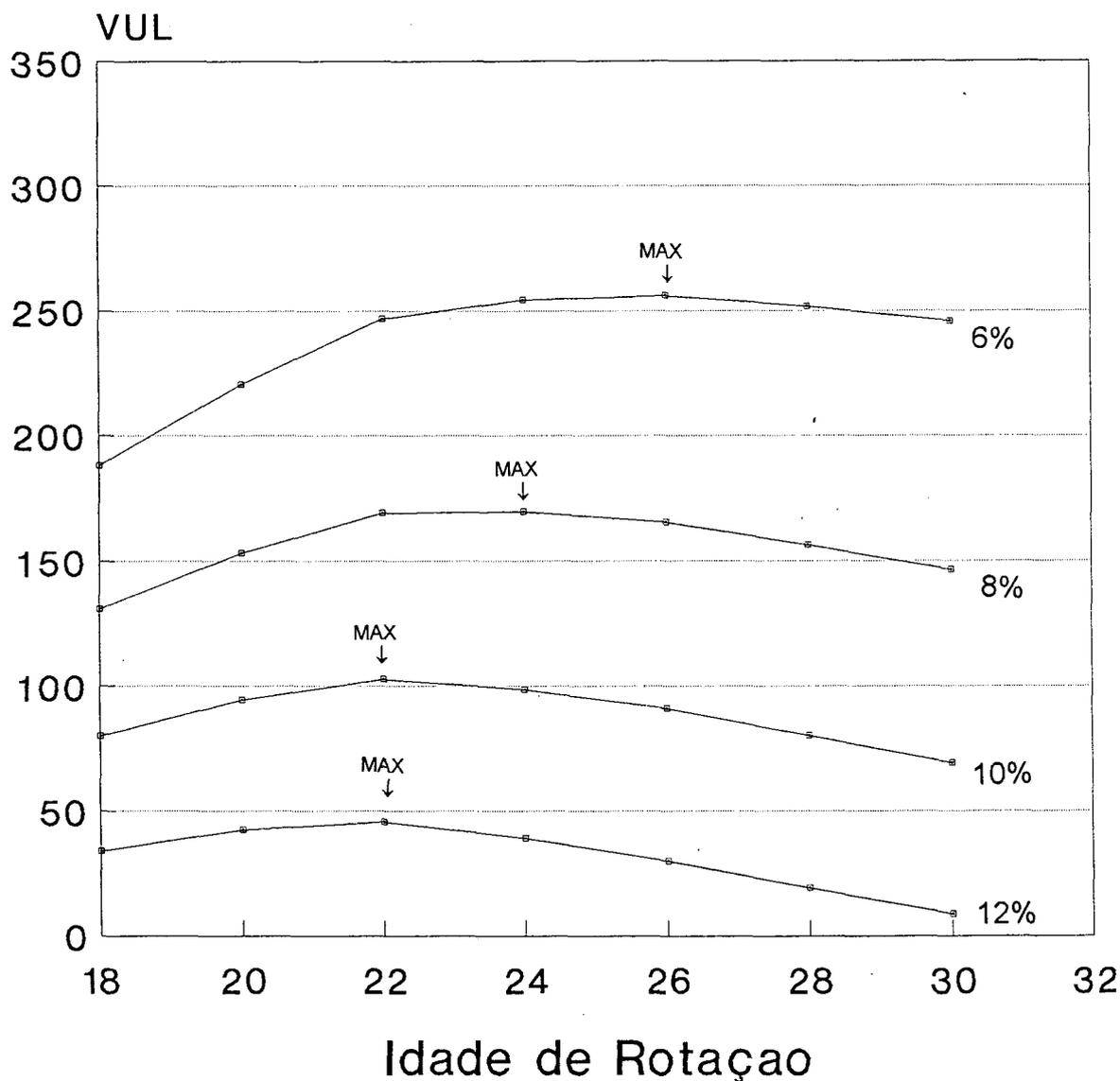


FIGURA 14. Valores Uniformes Líquidos (VUL) em função de Idades de Rotação a diferentes taxas de atratividade (%).

Idade (anos)	18	20	22	24	26	28	30
VUL (TA=6%)	200,8	246,6	287,3	301,6	307,1	308,0	302,8
VUL(TA=8%)	141,8	174,4	200,9	204,5	205,5	196,5	186,4
VUL(TA=10%)	88,8	111,3	127,4	125,7	119,1	108,7	96,8
VUL(TA=12%)	41,2	56,0	67,7	59,4	50,5	39,3	27,4

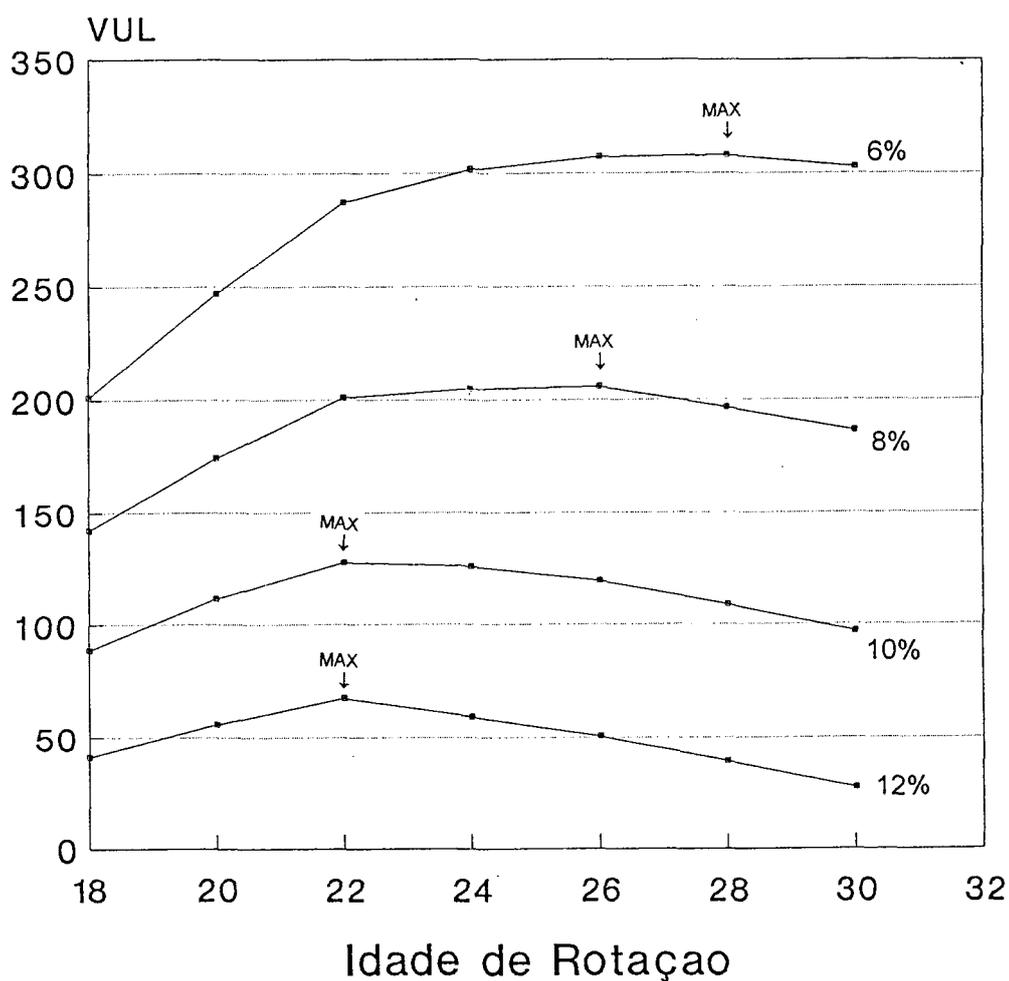


FIGURA 15. Valores Uniformes Líquidos (VUL) considerando-se um acréscimo de 30% no preço da madeira para Laminação Especial (Diâmetro > 35.0cm), em função de Idades de Rotação e Taxas de Atratividade.

A análise de sensibilidade para Idade de Rotação tem grande importância prática, pois nem sempre a decisão pela maximização da lucratividade de um povoamento específico poderá ser considerada.

A Idade de Rotação se constitui em um fator que depende, basicamente, da tomada de decisão, através de critérios técnicos, econômicos ou estratégicos. Frequentemente, não é possível a decisão ser baseada apenas no critério econômico. Fatores como a manutenção da disponibilidade de matéria-prima no caso de floresta verticalizada, necessidade de sustentação da produção, problemas com estradas e outras dificuldades para a exploração podem levar o administrador a decidir por efetuar cortes finais de povoamentos fora da idade ótima. Assim, a verificação da flutuação da lucratividade em função da idade possibilita uma visão estratégica, no sentido de minimizar possíveis perdas.

5. CONCLUSÕES

O sistema desenvolvido, as equações obtidas, e os estudos realizados na área de modelagem do crescimento e da produção florestal, bem como na área de análise econômico-financeira, possibilitou as seguintes conclusões:

- A distribuição SBB apresentou flexibilidade e eficiência para descrição das características dos povoamentos nas diferentes idades, e para a obtenção de estimativas da distribuição conjunta de diâmetros e alturas das árvores de povoamentos de *P. taeda*.
- A equação de afilamento obtida com o modelo de PRODAN, com base apenas nas variáveis Diâmetro à Altura do Peito e Altura Total das Árvores, possibilitaram a obtenção de estimativas eficientes do volume total de madeira e do volume de madeira por classe diamétrica para as finalidades de laminação especial, laminação, serraria, celulose e energia.
- O software SISPINUS propicia uma adequada prognose do crescimento e da produção de florestas de *P. taeda*. A eficácia do simulador foi comprovada por comparação com dados de campo e através de contactos mantidos com usuários do software.
- A utilização de equações de afilamento para o cálculo do volume total e do volume de madeira para usos múltiplos, e sua incorporação ao SISPINUS, tornou possível a avaliação da produção madeireira, de forma adequada às condições do mercado consumidor ou de demanda da Empresa, permitindo que o usuário informe as dimensões de tora desejadas para cada classe de utilização da madeira.

- O desenvolvimento dos softwares PLANIN e REPLAN viabiliza a análise econômica da produção madeireira, em larga escala, através de vários critérios de avaliação, e possibilita a tomada de decisão sobre regimes de manejo ideais em função do custo de produção, taxas de juros, preço de madeira no mercado consumidor e de demandas da própria empresa.
- A integração dos softwares SISPINUS, PLANIN e REPLAN viabilizou uma visão conjunta dos fatores biológicos e econômicos, possibilitando a configuração de diversos cenários, baseados em variação de produção e preços de madeira para diferentes finalidades, e variação em taxas de atratividade e custos de produção.
- Para a utilização dos critérios Valor Presente Líquido (VPL) e Razão Benefício Custo (B/C), na comparação de diferentes regimes de manejo, deve-se considerar os aspectos iguais nos horizontes de planejamento. Observa-se que a análise através destes critérios será mais informativa se os mesmos forem observados simultaneamente.
- Os critérios Valor Esperado da Terra (VET) e Valor Uniforme Líquido (VUL) são mais eficientes para a avaliação econômica da produção florestal, quando se deseja comparar diferentes regimes de manejo; sendo que o segundo apresenta a vantagem da maior simplicidade para interpretação dos resultados, principalmente pelos pequenos produtores de *Pinus*.
- A análise de sensibilidade apresentou-se como um instrumento prático para a avaliação do comportamento dos custos e da rentabilidade da produção de madeira de povoamentos florestais em função de variação nos diversos centros de custos e preços, e nas taxas de atratividade.

- Baseando-se na semelhança existente entre *Pinus taeda* e outras espécies de *Pinus* cultivadas no Brasil, tanto em características de crescimento e produção como de manejo e usos múltiplos da madeira, os modelos matemáticos das equações e o algoritmo do SISPINUS podem servir de base para a elaboração de simuladores destas espécies. Observa-se que, para cada espécie é necessário determinar os parâmetros da distribuição SBB, tendo por base parcelas permanentes de inventário, e também obter as equações de sítio, equações de afilamento do fuste e equações de volume de madeira.
- Quanto aos softwares PLANIN e REPLAN, a utilização para outras espécies pode ser realizada sem restrições, pois os mesmos são baseados em cálculos matemáticos que independem de aspectos biológicos de crescimento e produção de cada espécie.

APÉNDICE

TABELA 1. Regimes de manejo de *P. taeda* utilizados no estudo.

REGIMES DE MANEJO	IDADEDES (anos)													
	0	...	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30
R1	0						16							
R2	0		D1				16							
R3	0		D1					18						
R4	0		D1						20					
R5	0		D1							22				
R6	0		D1								24			
R7	0		D1		D2		16							
R8	0		D1		D2			18						
R9	0		D1		D2				20					
R10	0		D1		D2					22				
R11	0		D1		D2						24			
R12	0		D1		D2							26		
R13	0		D1		D2		D3	18						
R14	0		D1		D2		D3		20					
R15	0		D1		D2		D3			22				
R16	0		D1		D2		D3				24			
R17	0		D1		D2		D3					26		
R18	0		D1		D2		D3						28	
R19	0		D1		D2		D3							30
R20	0			D1		D2		D3	20					
R21	0			D1		D2		D3		22				
R22	0			D1		D2		D3			24			
R23	0			D1		D2		D3				26		
R24	0			D1		D2		D3					28	
R25	0			D1		D2		D3						30

2500 árvores plantadas por hectare. Alt. Dominante aos 15 anos = 22 metros

D1: 1º Desbaste (Sistemático 1 em cada 3 linhas + seletivo até 1200 Árv/ha)

D2: 2º Desbaste (seletivo de 40% da população)

D3: 3º Desbaste (seletivo de 30% da população)

Id Corte final com respectiva idade do povoamento (Id)

TABELA 2. Produção de Regimes de Manejo por classe de utilização da madeira.

Regimes de Manejo	Volume Total (m ³ /ha)	Volume (m ³ /ha)				
		Laminação Especial	Laminação	Serraria	Celulose	Energia
R1.CF	710,2	0,0	126,0	376,2	179,4	28,6
R2.D1	86,9	0,0	0,0	19,5	49,3	18,1
R2.CF	513,2	7,7	136,4	263,5	92,0	13,7
R3.CF	610,2	26,8	199,6	278,3	91,3	14,3
R4.CF	700,0	53,1	253,5	288,6	92,1	12,6
R5.CF	782,3	82,6	295,3	309,5	83,0	12,0
R6.CF	851,6	112,2	349,2	295,3	82,5	12,4
R7.D2	71,3	0,0	0,9	23,1	41,1	6,1
R7.CF	398,3	12,4	132,2	193,9	52,0	7,8
R8.CF	484,2	30,8	195,5	204,6	45,2	8,0
R9.CF	567,0	67,4	243,1	198,8	49,1	8,6
R10.CF	647,1	118,0	271,7	203,9	45,2	8,3
R11.CF	723,4	158,1	315,8	196,1	45,3	8,0
R12.CF	791,0	201,8	345,9	188,9	47,9	7,3
R13.D3	75,1	0,0	8,1	47,4	17,5	2,2
R13.CF	387,3	28,2	173,5	149,1	30,9	5,6
R14.CF	462,7	67,4	214,6	143,6	31,3	5,7
R15.CF	537,9	123,1	239,9	135,1	34,2	5,6
R16.CF	609,1	167,9	264,3	137,6	33,9	5,4
R17.CF	675,9	214,6	293,0	128,4	34,6	5,3
R18.CF	740,9	266,9	296,4	140,2	32,3	5,5
R19.CF	799,9	317,3	316,6	130,7	29,9	5,4
R20.D1	137,3	0,0	1,1	50,1	69,5	16,6
R20.D2	90,4	0,0	3,4	37,9	42,9	6,2
R20.D3	85,8	0,5	11,3	33,6	18,2	2,2
R20.CF	434,1	44,2	206,2	142,9	35,3	5,5
R21.CF	506,9	89,1	230,6	145,5	35,3	6,0
R22.CF	576,6	130,4	261,1	145,6	33,7	5,8
R23.CF	641,2	171,1	289,0	144,0	31,5	5,5
R24.CF	700,2	217,9	304,5	139,8	32,7	5,3
R25.CF	756,0	266,0	317,2	134,6	32,7	5,5

Desb.1, Desb.2 e Desb.3: 1^o, 2^o e 3^o desbaste, respectivamente
 CF: corte final

TABELA 3. Custos considerados para a produção e preços de madeira de **Pinus** na região de Curitiba-PR em Junho/1994.

TABELA 3A. Custos

A.	Implantação do povoamento	700.00 US\$/Ha
B.	Exploração	
	1. Corte das árvores	US\$ 0,98/m ³
	2. Desgalhamento	US\$ 0,18/m ³
	3. Extração	US\$ 1,00/m ³
	4. Traçamento	US\$ 0,16/m ³
	5. Carregamento	US\$ 0,71/m ³
	6. Transporte	US\$ 2,30/m ³
	7. Descarregamento	US\$ 0,67/m ³
C.	Administração	US\$ 20,00/Ha/ano
D.	Manutenção .....1º ano.....	US\$ 150/ha
	4º ano	US\$ 50/ha
	9º ano	US\$ 40/ha
Obs.: Os custos fixos de manutenção estão incorporados aos custos de administração		

3B. Preços da madeira segundo diferentes fins.

Laminação Especial	US\$ 47,75
Laminação	US\$ 27,91
Serraria	US\$ 17,81
Celulose	US\$ 8,94
Energia	US\$ 7,72

TABELA 6. Fluxo de Receitas e Custos e critérios para Análise de Investimento para o Regime de Manejo R1. Taxa de Atratividade = 10.0%.

IDADE	RECEITAS	CUSTOS
0	0,00	720,00
1	0,00	170,00
2	0,00	20,00
3	0,00	20,00
4	0,00	70,00
5	0,00	20,00
6	0,00	20,00
7	0,00	20,00
8	0,00	20,00
9	0,00	60,00
10	0,00	20,00
11	0,00	20,00
12	0,00	20,00
13	0,00	20,00
14	0,00	20,00
15	0,00	20,00
16	12041,41	4281,20

Receita Total	12041,4
Receita Total Líquida	6500,2
Receita Total Média	752,6
Custo Total	5541,2
Custo Total Médio	346,3
Receita Líquida Média	406,3
Valor Presente da Receita	2620,6
Valor Presente dos Custos	1991,3
Valor Presente Líquido	629,2
Valor Uniforme Líquido	80,4
Relação Benefício/Custo	1,32
Valor Esperado da Terra	804,34
Taxa Interna de Retorno	13,5

TABELA 7. Fluxo de Receitas e Custos e critérios para Análise de Investimento para o Regime Manejo R2 a R6. Taxa de Atratividade = 10.0%.

IDADE	RECEITAS	CUSTOS
0	0,00	720,00
1	0,00	170,00
2	0,00	20,00
3	0,00	20,00
4	0,00	20,00
5	0,00	70,00
6	0,00	20,00
7	0,00	20,00
8	927,77	541,40
9	0,00	60,00
10	0,00	20,00
11	0,00	20,00
12	0,00	20,00
13	0,00	20,00
14	0,00	20,00
15	0,00	20,00
CORTE FINAL		
16	9795,78	3099,80
18	12733,68	3681,80
20	15671,32	4219,40
22	18532,83	4714,40
24	21196,29	5129,60

Crítérios para análise do investimento

Regime de Manejo	R2	R3	R4	R5	R6
IDADE ROTAÇÃO	16	18	20	22	24
Receita Total	10721,2	13661,4	16599,1	19460,6	22124,1
Receita Total Líquida	5841,8	8150,2	10518,3	12844,8	15053,1
Receita Total Média	670,1	759,0	829,9	884,6	921,8
Custo Total	4879,4	5503,2	6080,8	6615,8	7071,0
Custo Total Médio	305,0	305,7	304,0	300,7	294,6
Receita Líquida Média	365,1	453,2	525,9	583,8	627,8
Valor Presente da Receita	2564,1	1973,9	1942,2	1902,8	1849,2
Valor Presente dos Custos	1977,0	1973,9	1945,2	1902,8	1849,2
Valor Presente Líquido	587,1	749,7	817,1	806,7	735,6
Valor Uniforme Líquido	75,0	91,4	96,0	92,0	81,9
Relação Benefício/Custo	1,30	1,38	1,42	1,42	1,40
Valor Esperado Terra	750,4	914,1	959,7	919,6	818,7
Taxa Interna Retorno	13,5	13,8	13,6	13,3	12,8

TABELA 8. Fluxo de Receitas e Custos e critérios para Análise de Investimento para o Regime de Manejo R7 a R12. Taxa de Atratividade = 10.0%.

IDADE	RECEITAS	CUSTOS
0	0,00	720,00
1	0,00	170,00
2	0,00	20,00
3	0,00	20,00
4	0,00	20,00
5	0,00	70,00
6	0,00	20,00
7	0,00	20,00
8	927,77	541,40
9	0,00	60,00
10	0,00	20,00
11	0,00	20,00
12	851,06	447,20
13	0,00	20,00
14	0,00	20,00
15	0,00	20,00
CORTE FINAL		
16	8260,26	2409,80
18	11036,88	2924,60
20	14029,25	3422,60
22	17317,27	3902,60
24	20322,54	4359,80
26	23138,91	4770,80

Crítérios para análise do investimento

Regime de Manejo	R7	R8	R9	R10	R11	R12
IDADE ROTAÇÃO	16	18	20	22	24	26
Receita Total	10039,1	12815,7	15828,1	19096,1	22101,3	24917,7
Receita Total Líquida	5420,7	7642,5	10177,5	12864,9	15373,0	17738,3
Receita Total Média	627,4	712,0	791,4	868,0	920,9	958,4
Custo Total	4618,4	5173,2	6236,2	6236,2	6728,4	7179,4
Custo Total Médio	288,6	287,4	283,2	283,2	280,3	276,1
Receita Líquida Média	338,8	424,6	505,9	584,7	640,5	682,2
Valor Presente da Receita	2501,7	2689,1	2831,3	2831,3	2767,2	2645,5
Valor Presente dos Custos	1963,4	1973,3	1939,2	1939,2	1907,1	1868,7
Valor Presente Líquido	538,3	715,7	829,5	892,1	860,1	776,8
Valor Uniforme Líquido	68,8	87,3	101,7	101,7	95,7	84,7
Relação Benefício/Custo	1,27	1,36	1,46	1,46	1,45	1,42
Valor Esperado da Terra	688,0	872,8	1017,1	1017,1	957,3	847,9
Taxa Interna Retorno	13,4	13,8	13,7	13,7	13,3	12,8

TABELA 9. Fluxo de Receitas e Custos e critérios para Análise de Investimento para o Regime de Manejo R13 a R19. Taxa de Atratividade = 10.0%.

IDADE	RECEITAS	CUSTOS
0	0,00	720,00
1	0,00	170,00
2	0,00	20,00
3	0,00	20,00
4	0,00	20,00
5	0,00	70,00
6	0,00	20,00
7	0,00	20,00
8	927,77	541,40
9	0,00	60,00
10	0,00	20,00
11	0,00	20,00
12	851,06	447,20
13	0,00	20,00
14	0,00	20,00
15	0,00	20,00
16	1243,70	471,20
17	0,00	20,00
CORTE FINAL		
18	9163,88	2343,80
20	12089,18	2795,60
22	15328,75	3247,40
24	18189,25	3674,60
26	21061,82	4075,40
28	23826,08	4465,40
30	26624,14	4819,40

Critérios para análise do investimento

Regime de Manejo	R13	R14	R15	R16	R17	R18	R19
IDADE ROTAÇÃO	18	20	22	24	26	28	30
Receita Total	12186,4	15111,7	18351,3	21211,8	24084,3	26848,6	29646,7
Receita Total Líquida	7142,8	9576,3	12324,1	14717,4	17149,1	19483,4	21887,5
Receita Total Média	677,0	755,6	834,1	883,8	884,6	958,9	988,2
Custo Total	5043,6	5535,4	6027,2	6494,4	6615,8	7365,2	7759,2
Custo Total Médio	280,2	276,8	274,0	270,6	300,7	263,0	258,6
Receita Líquida Média	396,8	478,8	560,2	613,2	583,8	695,8	729,6
Valor Presente da Receita	2622,9	2771,6	2857,7	2821,3	1902,8	2626,8	2500,4
Valor Presente dos Custos	1967,0	1967,9	1956,9	1935,8	1902,8	1879,4	1848,6
Valor Presente Líquido	655,8	803,8	900,8	885,6	806,7	747,4	651,8
Valor Uniforme Líquido	80,0	94,4	102,7	98,6	92,0	80,3	69,1
Relação Benefício/Custo	1,33	1,41	1,46	1,46	1,42	1,40	1,35
Valor Esperado da Terra	794,7	944,1	1026,9	985,6	919,6	803,1	691,4
Taxa Interna de Retorno	13,6	13,8	13,8	13,5	13,3	12,7	12,3

TABELA 10. Fluxo de Receitas e Custos e critérios para Análise de Investimento para o Regime de Manejo R20 a R25. Taxa de Atratividade = 10.0%.

IDADE	RECEITAS	CUSTOS
0	0,00	720,00
1	0,00	170,00
2	0,00	20,00
3	0,00	20,00
4	0,00	70,00
5	0,00	20,00
6	0,00	20,00
7	0,00	20,00
8	0,00	20,00
9	0,00	60,00
10	1672,46	843,80
11	0,00	20,00
12	0,00	20,00
13	0,00	20,00
14	1201,28	562,40
15	0,00	20,00
16	0,00	20,00
17	0,00	20,00
18	1117,37	414,80
19	0,00	20,00
CORTE FINAL		
20	10768,69	2624,60
22	13643,79	3079,00
24	16453,09	3059,00
26	19124,73	3866,60
28	21726,41	4221,20
30	24286,58	4556,00

Crítérios para análise do investimento

Regime de Manejo	R20	R21	R22	R23	R24	R25
IDADE ROTAÇÃO	20	22	24	26	28	30
Receita Total	14759,8	17634,9	20444,0	23115,8	25717,5	28277,7
Receita Total Líquida	9034,2	11434,9	13783,6	16028,2	18235,3	20420,7
Receita Total Média	738,0	801,6	851,8	889,1	918,4	942,6
Custo Total	5725,6	6200,0	6660,6	7087,6	7482,2	7857,0
Custo Total Médio	286,3	281,8	277,5	272,6	267,2	261,9
Receita Líquida Média	451,7	519,8	574,3	616,5	651,3	680,7
Valor Presente da Receita	2762,8	2838,2	2832,5	2766,8	2668,7	2553,9
Valor Presente dos Custos	1996,4	1987,7	1969,9	1944,9	1916,4	1887,4
Valor Presente Líquido	766,4	850,5	862,7	821,9	752,3	666,5
Valor Uniforme Líquido	90,1	97,0	96,1	89,7	80,8	70,7
Relação Benefício/Custo	1,38	1,43	1,44	1,42	1,39	1,35
Valor Esperado da Terra	900,3	969,6	960,1	897,2	808,4	707,0
Taxa Interna de Retorno	13,7	13,7	13,5	13,2	12,8	12,4

TABELA 11. Análise de sensibilidade do Valor Presente Líquido e do Valor Uniforme Líquido para os regimes de manejo R4 e R20, a diferentes Taxas de Atratividade.

Taxa Atratividade %	VLP R4	VUL R4	VLP R20	VUL R20
0,0	10518,4	525,9	9034,2	451,7
1,0	8463,0	469,0	7322,3	405,8
2,0	6793,4	415,5	5921,9	362,2
3,0	5434,2	365,3	4773,5	320,8
4,0	4325,7	318,3	3829,6	281,9
5,0	3419,7	274,4	3052,0	244,9
6,0	2677,8	233,5	2409,9	210,1
7,0	2069,1	195,3	1878,5	177,3
8,0	1568,8	159,8	1437,8	146,4
9,0	1156,9	126,7	1071,5	117,4
10,0	817,0	96,0	766,4	90,0
11,0	536,3	67,3	511,8	64,3
12,0	303,9	40,7	298,8	40,0
13,0	111,2	15,8	120,4	17,1
14,0	-48,8	-7,4	-29,4	-4,4
15,0	-181,8	-29,0	-155,5	-24,8

TABELA 12. Critérios de avaliação econômica dos regimes de manejo R20 e R25.

Taxa de Atratividade = 10.0%.

Regime de manejo	R20	R25	R20 (3 ciclos)	R25 (2 ciclos)
IDADE ROTAÇÃO (anos)	20	30	20	30
Receita Total	14759,8	28277,7	44280,0	56555,4
Receita Total Líquida	9034,2	20420,7	27102,6	40841,4
Receita Total Média	738,0	942,6	738,0	942,6
Custo Total	5725,6	7857,0	17176,8	15714,0
Custo Total Médio	286,3	261,9	286,3	261,9
Receita Líquida Média	451,7	680,7	451,7	680,7
Valor Presente da Receita	2762,8	2553,9	3234,7	2700,3
Valor Presente dos Custos	1996,4	1887,4	2337,2	1995,6
Valor Presente Líquido	766,4	666,5	897,5	704,7
Valor Uniforme Líquido	90,1	70,7	90,1	70,7
Relação Benefício/Custo	1,38	1,35	1,38	1,35
Valor Esperado da Terra	900,3	707,0	900,3	707,0
Taxa Interna Retorno	13,7	12,4	13,7	12,4

TABELA 13. Critérios para avaliação econômica do regime de manejo R14, em função de variações nas Taxas de Atratividade (A), Idades de Rotação (B), Custos de Implantação e Manutenção (C), Custos de Exploração (D) e Preços da Madeira.

TABELA 13A. Taxas de Atratividade (Porcentagens)

Percentuais de variação	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150
T.Atrat. (%)	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
VUL	257,2	220,3	185,8	153,2	122,9	94,4	67,7	42,6	19,0	-3,1	-23,9
VPL	3205,3	2227,4	1968,0	1505,4	1122,0	803,8	538,9	318,2	133,8	-20,4	-149,8
B/C	2,06	1,92	1,79	1,66	1,53	1,41	1,29	1,18	1,08	0,99	0,90
VET	5144,0	3672,5	2653,8	1916,6	1365,7	944,1	615,2	355,0	146,3	-22,0	-151,5
TIR	13,8	13,8	13,8	13,8	13,8	13,8	13,8	13,8	13,8	13,8	13,8

TABELA 13B. Idade de Rotação (anos).

Percentuais de variação	70	80	90	100	110	120	130	140	150
Corte Final (idade)	14	16	18	20	22	24	26	28	30
VUL	41,7	68,5	80,0	94,4	102,7	98,6	91,0	80,3	69,1
VPL	307,3	538,3	655,8	803,8	900,8	885,7	833,3	747,4	651,8
B/C	1,16	1,27	1,33	1,41	1,46	1,46	1,44	1,40	1,35
VET	417,2	688,0	800,0	944,1	1026,9	985,6	909,7	803,1	691,4
TIR	12,4	13,2	13,6	13,8	13,8	13,5	13,1	12,7	12,3

TABELA 13C. Custo de Exploração (Dolares/m³)

Percentuais de variação	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150
Explor. (US\$)	3,0	3,6	4,2	4,8	5,4	6,0	6,6	7,2	7,8	8,4	9,0
VUL	146,7	136,2	125,8	115,3	104,9	94,4	83,9	73,5	63,0	52,6	42,1
VPL	1248,8	1159,8	1070,9	981,7	892,8	803,8	714,9	625,7	536,7	447,7	358,7
B/C	1,82	1,72	1,63	1,55	1,48	1,41	1,35	1,29	1,24	1,19	1,15
VET	1466,9	1362,3	1257,7	1153,2	1048,6	944,1	839,5	735,0	631,7	525,9	421,3
TIR	15,6	15,2	14,9	14,5	14,2	13,8	13,4	13,0	12,6	12,2	11,8

TABELA 13D. Custos de Implantação e Manutenção (Dolares/ha)

Percentuais de variação	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150
Implantação	650	420	490	560	630	700	770	840	910	980	1050
	75	90	105	120	135	150	165	180	195	210	225
Manutenção	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75
	20	24	28	32	36	40	44	48	52	56	60
VUL	146,5	136,1	125,7	115,3	104,8	94,4	84,0	73,6	63,1	52,7	42,3
VPL	1247,5	1158	1070,9	981,2	892,5	803,8	715,0	626,3	537,5	448,8	360,0
B/C	1,82	1,72	1,63	1,55	1,47	1,41	1,35	1,29	1,24	1,19	1,15
VET	1465,3	1361,1	1256,8	1152,6	1048,3	944,1	839,3	735,6	631,4	527,1	422,9
TIR	18,0	16,9	16,0	15,2	14,4	13,8	13,2	12,7	12,2	11,8	11,4

TABELA 13E. Preços da Madeira (Dolares/m³)

Percentuais de variação	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150
Lamin.Esp.	27,87	28,65	33,42	38,20	42,97	47,75	52,52	57,30	62,07	66,85	71,62
Laminação	13,95	16,75	19,54	22,33	25,12	27,91	30,70	33,49	36,28	39,07	41,86
Serraria	8,90	10,69	12,47	14,25	16,03	17,81	19,59	21,37	23,15	24,93	26,71
Celulose	4,47	5,36	6,26	7,15	8,05	8,94	9,83	10,73	11,62	12,52	13,41
Energia	3,86	4,63	5,40	6,18	6,95	7,72	8,49	9,26	10,06	10,04	11,58
VUL	-68,4	-35,8	-3,2	29,3	60,8	94,4	126,9	159,5	192,0	224,6	257,1
VPL	-582,5	-304,8	-27,5	249,5	517,8	803,8	1080,6	1358,0	1634,9	1912,3	2189,1
B/C	0,70	0,85	0,99	1,13	1,26	1,41	1,55	1,69	1,83	1,97	2,11
VET	-682,2	-358,0	-32,3	293,1	608,2	944,1	1269,2	1595,0	1920,3	2246,1	2571,3
TIR	5,4	7,9	9,8	11,3	12,6	13,8	14,8	15,8	16,6	17,4	18,1

TABELA 14. Valores Uniformes Líquidos do regime de manejo R14 sem considerar os Custos de Implantação e Manutenção e sem considerar os Custos de Exploração, em função de variações nas Taxas de Atratividade.

Taxa de Atrat. (%)	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Implant. e Manut. custo=0	405,1	358,3	314,4	273,4	234,9	199,0	165,3	133,8	104,3	76,8	50,8
Exploração custo=0	330,2	299,2	270,7	244,5	220,6	198,6	178,6	160,4	143,8	128,8	115,1

6. LITERATURA CITADA.

AHRENS, S. **Seleção simultânea do ótimo regime de desbastes e da idade de rotação, para povoamentos de *Pinus Taeda* L. através de um modelo de programação dinâmica.** Curitiba, 1992. Tese (Doutorado em Ciências Florestais). Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

ALDER, D. **Forest volume estimation and yield prediction.** Rome, FAO, 1980. v. 2, 197p. (FAO Forestry Paper 22/2).

ALEMDAG, I.S. A ratio method for calculating stem volume to merchantable limits, and associated taper equations. **For. Chron.**, v. 64, p. 18-26, 1988.

AMATEIS, R.L., BURKHART, H.E. Cubic-foot volume equations for loblolly pine trees in cutover, site-prepared plantations. **South. J. Appl. For.** v. 11, p. 190-192, 1987

ANGELO, H., ENCINAS, J.I.; HOZOKAWA, R. **Elementos para o planejamento florestal.** Brasília. Editora Universidade de Brasília. 1991.

BEHRE, C.E. Preliminary notes on the study of tree form. **J.For.** v.21, p. 507-511, 1923.

BAILEY, R.L.; DELL, T.R. Quantifying diameter distributions with the Weibull function. **Forest Science.** v. 19, p.97-104, 1973.

BENTLEY, W.; TEENGUARDEN, D. Financial maturity: a theory review. **Forest Science.** v. 11, n. 3, p. 76-87, 1965.

- BERGER,R. **Aplicação de critérios econômicos para determinação da maturidade financeira de povoamentos de eucaliptos.** Curitiba, 1985. Tese (Professor Titular). Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.
- BLISS, C.I. Fitting the negative binomial distribution to biological data. **Biometrics.** v. 9, p. 176-199, 1953.
- BLISS,D.M.; REINKER,K.A. A lognormal approach to diameter distribution in even aged stands. **Forest Science.** v. 10, n. 3, p. 350-60, 1964.
- BUCKMAN, R.E. **Growth and yield of red pine in Minnesota.** USA Dep. Agric. Tech. Bull. 1272. 1962.
- BUONGIORNO,J.; GILLESS,J.K. **Forest Management and economics. A primer in quantitative methods.** New York, Macmillan Publishing Company, 1987. 283p.
- CARNIERI,C.; GAVINHO,L.; MAESTRI,R. Um modelo de otimização para planejamento de longo prazo. In: ENCONTRO BRASILEIRO DE PLANEJAMENTO FLORESTAL (2.: 1991: Curitiba), **Anais...** Colombo: EMBRAPA-CNPF, p. 333-346, 1992.
- CHANG,S.J. Determination of the optimal rotation age: a theory review. **Forest Ecology and Management.** v. 8, p. 137-147, 1984.
- CLUTTER,J.L. Compatible growth and yield models for Loblolly Pine. **Forest Science,** v. 9, n. 3, p. 354-71, 1963.
- CLUTTER,J.L.; BENNETT,F.A. **Diameter distribution in old field slash pine plantation.** S.1. Geogia Forestry Resource Council, n.13, 1965.

- CLUTTER, J.L. FORTSON, J.C. PIENAAR, L.V. BRISTER G.H.; BAILEY R.L. **Timber Management: A Quantitative Approach**. New York: John Willey; Sons, 1983.
- COUTO, H.T.Z. **Distribuição de diâmetros em plantações de *Pinus caribaea* Morelet var. *caribaea***. Piracicaba, 1980. Tese (Livre Docência). Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.
- DAVIS, L.S.; JOHNSON. K.N. **Timber management**. Third ed. New York: McGraw-Hill, 1987.
- DEMAERSCHALK, J.P. Integrated systems for the estimation of taper and volume. **Can. J. Forest Res.** v. 3, p. 90-94, 1973.
- DEMAERSCHALK, J.P., KOZAK, A. The whole bole system: a conditioned dual-equation system for precise prediction of tree profiles. **Can. J. Forest Res.** v. 7, p. 488-497, 1977.
- FENSTERSEIFER, J.E.; GALESNE, A.; ZIEGELMANN, J. A utilização de técnicas analíticas nas decisões de investimentos de capital das grandes empresas no Brasil. **Revista de Administração.** v. 22, n. 4, p. 70-78, 1987.
- FENSTERSEIFER. J.E., SAUL. S. Investimentos de capital nas grandes empresas. **Revista de Administração.** v. 28, n. 3, p. 3-12, 1993.
- FIGUEIREDO FILHO, A. **Influência da resinagem no crescimento de *Pinus elliottii* Engelm var. *elliottii* e sua avaliação econômica**. Curitiba, 1991. Tese (Doutorado em Ciências Florestais). Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

- GAFFNEY, M.M. **Concepts of financial maturity of timber and other assets.** Agric. Econ. Inf. Ser. 62. Raleigh: North Carolina State University. 1957.
- GLADE, J.E. **Prognose de volume por classe diamétrica para *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden.** Curitiba, 1986. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais). Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.
- GOULDING, C.J., MURRAY, J.C. Polynomial taper equation that are compatible with volume equations. **N.Z.J.Forest Sci.** v. 5, p. 313-322, 1976.
- GUIMARÃES, D.P.; LEITE, H.G. Um novo modelo para descrever o perfil do tronco. **Revista Árvore**, Viçosa, v.16, n.2, p.170-180, 1992.
- HAFLEY,W.L. **Growth and yield model for *Pinus taeda* and *Pinus elliottii* in Brasil.** (Thirth consultancy visit); consultant final report Ilca/EMBRAPA-PROCENSUL II. Brasilia: IICA/EMBRAPA, 1989. 9p. (Serie Publicações Miscelaneas, A4/BR-89-045).
- HAFLEY,W.L.; BUFORD,M.A. A bivariate model for growth and yield prediction. **Forest Science**, v. 31, n. 1, p. 237-47, 1985.
- HAFLEY,W.L.; SCHREUDER,H.T. **Some non-normal bivariate distributions and their potential for forest application.** International Union Forest Research Organization. XVI Word Congress Proceedings, Div. VI, p. 104-114.(Oslo, Norway; June 20-July 2, 1976).
- HAFLEY,W.L.; SCHREUDER,H.T. Statistical distribution for fitting diameter and hight data in even-aged stand. **Canadian Journal of Forest Research.** v. 7, p. 481-487, 1977.

- HAFLEY, W.L. SMITH, W.D.; BUFORD M.A. **A new yield production model for unthinned loblolly pine in plantations.** Raleigh, Southern For. Res. Center, North Carolina State University, 63p. Technical Report no.1. 1982.
- HIRSCHFELD, H. **Engenharia Econômica e Análise de Custos.** São Paulo: Ed. Atlas, 1992.
- HOSOKAWA, R.T. Funções de forma e o planejamento da produção florestal. In: SEMINÁRIO SOBRE ATUALIDADES E PERSPECTIVAS FLORESTAIS,5., **O uso de funções de forma de tronco em estudo de Volumetria de Espécies Florestais.** Curitiba, **Anais...Curitiba**, EMBRAPA/CNPF. p. 7-14, 1982.
- HOSOKAWA,R.T.; MENDES,J.B. Planejamento florestal. **Revista Floresta**, v. 15, n. 1,2, p. 4-7, 1984.
- HUSCH, B. **Forest mensuration and statistics.** New York: Ronald Press Co., 1963.
- JOHNSON,N.L. Systems of frequency curves generalized by methods of translation. **Biometrika.** v. 36, p. 149-176, 1949a.
- JOHNSON,N.L. Bivariate distributions based on simple translation systems. **Biometrika.** v.36, p. 297-304, 1949b.
- JOHNSON,N.L; KOTZ, S. **Continuous Univariate Distributions-1.** Boston: Houghton Mifflin Co., 1970.
- KOZAK, A., MUNRO, D.D., SMITH, J.H.G. Taper function and their application in forest inventory. **For. Chron.** v. 45, n. 279-283, 1969.
- LEUSCHNER, W.A. **Introduction to Forest Resource Management.** New York: John Wiley, 1984.

LIU, C.J. Log volume estimation with spline approximation. **Forest Sci.** v. 26, p. 361-369, 1980.

MACHADO, S.A. **Studies in growth and yield estimation for *Pinus taeda* L. plantations in the state of Parana, Brasil.** Seattle, 1978. (Ph.D. Thesis) University of Washington.

MACHADO, S.A., BACOVIS,R.; MARQUESINI, L.C.P.T. Estudo das funções de distribuição diamétrica das árvores desbastadas em plantações de *Pinus taeda* no Estado do Paraná. IN: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO (6.: 1990: Campos do Jordão) **ANAIS.** Campos do Jordão, SBS, p. 357-61, 1990.

MAESTRI, R. **Estimativa da produção presente e futura de volume de madeira e peso de casca para povoamentos de Acácia-Negra (*Acacia mearnsii* de Wild).** Curitiba, 1992. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais). Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

MAX, T.A., BURKHART, H.E. Segmented polynomial regression applied to taper equation. **Forest Sci.** v. 22, p. 238-289, 1976.

MOURA, I.B. **Estudo da forma do fuste e comparação de métodos de estimativa volumétrica de espécies florestais da amazônia brasileira.** Curitiba, 1994. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais). Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

MUNRO, D.D. Taper function and their applications. (s.n.t.) 1968.

MUNRO, D.D. DEMAERSCHALK, J.P. Taper based versus volume-based compatible estimating systems. **For. Chron.** v. 50, p. 197-199, 1974.

NAUTIYAL, J.C. **Forest economics: principles and applications**. Toronto: Canadian Scholar's Press Inc., 1988.

NAUTIYAL, J.C.; GRAÇA, L.R.; COUTO, L. Um modelo para análise econômica de reforma em povoamentos de eucalipto. In: I ENCONTRO BRASILEIRO DE PLANEJAMENTO E ECONOMIA FLORESTAL, 2., Curitiba, 1989. **ANAIS**. Curitiba: EMBRAPA/CNPF. 1989. p.185-200.

NELSON, T.C. Diameter distribution and growth of loblolly pine. **Forest Science**, V. 10, N. 1, P 105-14, 1964.

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

NEWNHAM, R.M. **A variable-form taper function**. PNFI-Inf.Report PI-X-83. 1988.

OLIVEIRA, E.B.; OLIVEIRA, Y.M.M. SisPinus - Desenvolvimento e perspectivas. In: ENCONTRO BRASILEIRO DE PLANEJAMENTO FLORESTAL (2.: 1991: Curitiba), **Anais...** Colombo: EMBRAPA-CNPF, p. 347-360. 1992.

OLIVEIRA, Y.M.M.de; OLIVEIRA E.B.de; HAFLEY, W.L. Classificação de sitio para povoamentos de *Pinus taeda* no sul do Brasil. IN: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO (6.: 1990: Campos do Jordão) **ANAIS**. Campos do Jordão, SBS, 1990. p. 357-61.

OLIVEIRA, Y.M.M. OLIVEIRA E.B.; HAFLEY, W.L. SisPinus - Simulador de crescimento e produção de *Pinus elliottii* e *Pinus taeda* sob manejo no sul do Brasil. In: ENCONTRO BRASILEIRO DE PLANEJAMENTO FLORESTAL (1.: 1989: Curitiba), **Anais...** Colombo: EMBRAPA-CNPF, p. 107-118, 1989.

ORMEROD, D.P. A simple bole model. **For. Chron.** V. 49, P. 136-138, 1973.

- PRODAN, M. Holzmesslehre. Sauerlanders Verlag Frankfurt am Main. 1965.
- RIBAS, L.C. **Estratégia econômica da reforma de povoamentos florestais de *Pinus spp.*** Curitiba, 1989. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais). Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.
- RICHARDS, F.J. A flexible growth function for enpirical use. **Journal of Exp. Bot.** V. 10, P. 290-300, 1959.
- SANQUETA,C.R. **Predição da sobrevivência em reflorestamentos de *Pinus elliottii* Engelm.** Curitiba, 1990. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais). Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.
- SCHREUDER,H.T.; HAFLEY,W.L. A useful bivariate distribution for describing stand structure of tree heights and diameter. **Biometrics.** V. 33, P. 471-7, 1977.
- SCOLFORO, J.R.S. **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. Tese (Doutorado em Ciências Florestais). Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.
- SCOLFORO, J.R.S.; HOSOKAWA, R.T. Avaliação da rotação econômica para *Pinus caribaea var. Hondurensis* sujeito a desbastes. **Revista Árvore**, Viçosa, v.16, n.1, p.43-58, 1992.
- SILVA,Z.A.G.P.G. Avaliação florestal: três métodos, três resultados, três retornos econômicos distintos. In: ENCONTRO BRASILEIRO DE PLANEJAMENTO FLORESTAL (1.: 1989: Curitiba), **Anais...** Colombo: EMBRAPA-CNPFF, p. 185-200, 1989.

SOMERS, G.L.; ODERWALD, R.G.; HARMS, W.R.; LANGDON, O.G. Predicting mortality with Weibull distribution. **Forest Science**. V. 26, P. 291-300, 1980.

SPURR, S.H. **Forest inventory**. New York: The Ronald Press Co., 1952.

SULLIVAN, A.D. **Estimation of simultaneous forest growth and yield parameters from re-measured plot data**. Athens, Georgia. (Ph.D. Thesis) University of Georgia, 1969.

TURNBULL, K.J. Population dynamics in mixed forest stands. Washington. (Ph.D Thesis) University of Washington, 1963.

VEIGA FILHO, A.A.; VEIGA, J.E.R. Comparação dos retornos econômicos entre produção periódica e programada de eucalipto em regime de talhadia simples. **Agricultura em São Paulo**, v. 41, n. 1, p. 71-84, 1994.