

MAURO YOSHITANI JUNIOR

**AVALIAÇÃO BIOMÉTRICA E ECONÔMICA DE PLANTIOS DE
Pinus taeda L. EM SANTA CATARINA**

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

Orientador: Dr. Nelson Yoshihiro Nakajima

CURITIBA

2009

MAURO YOSHITANI JUNIOR

**AVALIAÇÃO BIOMÉTRICA E ECONÔMICA DE PLANTIOS DE
Pinus taeda L. EM SANTA CATARINA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do grau de mestre em Ciências Florestais.

Orientador: Dr. Nelson Yoshihiro Nakajima

CURITIBA

2009

A MEUS PAIS E FAMÍLIA
DEDICO

AGRADECIMENTOS

- À Empresa Florestal Gateados Ltda, pelo apoio para a realização do trabalho e pela concessão de bolsa por um período, em especial ao sr. Emílio e ao diretor Valdir.
- Ao professor Rudi Arno Seitz (*in memoriam*) pela sua dedicação e contribuição à engenharia florestal brasileira.
- Ao CNPq, pela concessão de bolsa.
- Ao professor Nelson Yoshihiro Nakajima, pela amizade, orientação e confiança.
- Aos co-orientadores Julio Eduardo Arce e Ivan Crespo, pela orientação da dissertação.
- Aos professores do Departamento de Ciências Florestais da UFPR pelo ensinamento, em especial aos professores Sebastião Machado, Julio Arce, Sylvio Péllico, Nelson Nakajima e Carlos Sanquetta.
- À professora Anabel Aparecida Melo da UFS, pela amizade.
- Aos engenheiros florestais e técnicos florestais da empresa, em especial aos engenheiros Mário Dobner e Edílson Urbano.
- A minha mãe, Kimiko, pelo amor, carinho e apoio em todas as fases de minha vida. Sem ela eu não chegaria onde estou hoje.
- Ao meu pai, Mauro, pelos ensinamentos dos quais somente um pai é capaz.
- Aos amigos de pós-graduação em engenharia florestal: Éder (Goiano), Saulo, Andréia, Juliana, Gustavo, Ana, Djeison, Valdeci, Francisco Higuchi, Rafael Rode, Lucas Gomide, Mário e Érico, pela grande amizade durante o curso.
- À minha família, pelo amor.
- À empresa F.V. de Araujo S/A pela concessão dos dias para defesa dessa dissertação.
- Aos amigos de república que moram ou moraram comigo neste período: Tiago, Bruno, Dilgênio, Lucas e Danilo pelos momentos de amizade e companheirismo.
- Aos funcionários e estagiários que ajudaram a coletar os dados de campo.
- Em geral, a todos amigos e colegas, que contribuíram para minha formação acadêmica e realização deste trabalho, deixo minha gratidão.

BIOGRAFIA DO AUTOR

Mauro Yoshitani Junior, filho de Mauro Yoshitani e Kimiko Haga Yoshitani, nasceu em Suzano/SP, no dia 24 de março de 1982. Em 2001 iniciou seus estudos de graduação na Universidade Federal de Lavras (UFLA), onde se formou em engenharia florestal em 2006. Em 2007 realizou seus estudos de Pós-graduação ao nível de Especialização em Engenharia de Segurança do Trabalho na Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), e obteve o título no início de 2008. No mesmo ano foi contratado pela empresa F.V. de Araújo como engenheiro florestal, na qual trabalha atualmente. Em 2007 também iniciou seus estudos de mestrado no Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal da Universidade Federal do Paraná (UFPR) na área de concentração em Manejo Florestal, os quais são concluídos com a defesa desta dissertação.

SUMÁRIO

	Página
LISTA DE TABELAS.....	viii
LISTA DE FIGURAS.....	ix
RESUMO.....	x
ABSTRACT.....	xi
CAPÍTULO 1	
1 INTRODUÇÃO GERAL.....	1
2 OBJETIVOS.....	3
3 REFERENCIAL TEÓRICO.....	4
3.1 <i>Pinus taeda</i> L.....	4
3.2 PLANEJAMENTO: VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA	6
3.2.1 PRINCÍPIOS DE PLANEJAMENTO FLORESTAL.....	6
3.2.2 PLANEJAMENTO FLORESTAL.....	6
3.2.3 AS PRINCIPAIS FASES DO PLANEJAMENTO.....	7
3.2.4 RAMOS DA EMPRESA PARA PLANEJAMENTO FLORESTAL.....	7
4 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	10
CAPÍTULO 2 – CLASSIFICAÇÃO DE SÍTIOS FLORESTAIS PARA PLANTIOS DE <i>Pinus taeda</i> L. LOCALIZADOS NO CENTRO-SUL DE SANTA CATARINA	
RESUMO.....	14
ABSTRACT.....	15
1 INTRODUÇÃO.....	16
2 REFERENCIAL TEÓRICO.....	18
2.1 SÍTIO FLORESTAL.....	18
2.2.1 CONCEITO DE ÁRVORES DOMINANTES.....	20
2.2.2 MODALIDADES DE CURVAS DE ÍNDICE DE SÍTIO.....	20
2.2.3 MÉTODOS PARA CONSTRUÇÃO DE CURVAS DE ÍNDICE DE SÍTIO...	21
2.2.4 CONSTRUÇÃO DE CURVAS DE ÍNDICE DE SÍTIO PELO MÉTODO DA CURVA-GUIA.....	21
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	23
3.1 CARACTERIZAÇÃO DAS ÁREAS DE ESTUDO.....	23
3.2 DADOS UTILIZADOS PARA CLASSIFICAÇÃO DE SÍTIOS FLORESTAIS.....	24
3.3 MÉTODO DE DETERMINAÇÃO DO MELHOR MODELO MATEMÁTICO.....	25
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	26
4.1 AJUSTES DOS MODELOS MATEMÁTICOS.....	26
5 CONCLUSÕES.....	30
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	31
CAPÍTULO 3 - SELEÇÃO DA EQUAÇÃO DE VOLUME DE SIMPLES E DUPLA ENTRADA PARA <i>Pinus taeda</i> L.	
RESUMO.....	36
ABSTRACT.....	37
1 INTRODUÇÃO.....	38
2 REFERENCIAL TEÓRICO.....	39

2.1 VOLUME.....	39
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	42
3.1 BASE DE COLETA DE DADOS.....	42
3.2 EQUAÇÕES VOLUMÉTRICAS DE SIMPLES ENTRADA.....	43
3.3 EQUAÇÕES VOLUMÉTRICAS DE DUPLA ENTRADA.....	44
3.4 FATOR DE CORREÇÃO PARA MODELOS MATEMÁTICOS COM BASE LOGARITIMIZADOS.....	44
3.5 REGRESSÃO.....	45
3.6 SELEÇÃO DO MELHOR MODELO MATEMÁTICO.....	45
3.6.1 COEFICIENTE DE DETERMINAÇÃO.....	45
3.6.2 ERRO PADRÃO DA ESTIMATIVA (S_{yx}).....	46
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	47
4.1 EQUAÇÃO DE SIMPLES ENTRADA.....	47
4.2 EQUAÇÃO DE DUPLA ENTRADA.....	50
5 CONCLUSÕES.....	55
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	56

CAPÍTULO 4 – FUNÇÕES DE AFILAMENTO PARA PLANTIOS DESBASTADOS DE *Pinus taeda* L.

RESUMO.....	60
ABSTRACT.....	61
1 INTRODUÇÃO.....	62
2 REFERENCIAL TEÓRICO.....	64
2.1 FUNÇÃO DE AFILAMENTO.....	64
2.2 CUBAGEM.....	68
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	69
3.1 EQUAÇÕES DE AFILAMENTO.....	69
3.1.1 POLINÔMIO DE QUINTO GRAU – SCHÖEPFER (1966).....	69
3.1.2 POLINÔMIO DE POTÊNCIA FRACIONÁRIA – HRADETZKY.....	70
3.1.3 POLINÔMIO DE SEGUNDO GRAU OU MODELO DE KOZAK <i>et al.</i> , 1969.....	71
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	72
4.1 AJUSTES DOS MODELOS.....	72
4.2 PERFIL MÉDIO DOS FUSTES.....	74
4.3 AVALIAÇÃO DOS MODELOS POLINOMIAIS PARA ESTIMATIVA DOS VOLUMES.....	75
5 CONCLUSÕES.....	77
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	78

CAPÍTULO 5 - AVALIAÇÃO ECONÔMICA DE PLANTIOS DE *Pinus taeda* L. DESBASTADOS EM SANTA CATARINA

RESUMO.....	82
ABSTRACT.....	83
1 INTRODUÇÃO.....	84
2 REFERENCIAL TEÓRICO.....	85
2.1 ANÁLISE ECONÔMICA.....	85
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	87
3.1 CRITÉRIOS UTILIZADOS NA ANÁLISE ECONÔMICA.....	87

3.1.1 VALOR PRESENTE LÍQUIDO (VPL).....	87
3.1.2 TAXA INTERNA DE RETORNO (TIR).....	87
3.1.3 BENEFÍCIO (CUSTO) PERIÓDICO EQUIVALENTE (B(C)PE).....	88
3.1.4 SIMULAÇÃO DE ALTERNATIVAS TÉCNICAS E ECONÔMICAS.....	88
3.2 ESTRUTURA DE CUSTOS.....	88
3.2.1 CUSTO DE IMPLANTAÇÃO.....	89
3.2.2 CUSTO DE TRATOS CULTURAIS.....	90
3.2.3 CUSTO DE PODA.....	90
3.2.4 CUSTOS DE DESBASTE.....	91
3.2.5 CUSTOS ANUAIS.....	92
3.3 ESTRUTURA DE RECEITAS.....	92
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	96
4.1 VALOR PRESENTE LÍQUIDO – VPL.....	96
4.2 BENEFÍCIO CUSTO PERIÓDICO EQUIVALENTE- B(C)PE.....	98
4.3 TAXA INTERNA DE RETORNO (TIR).....	99
5 CONCLUSÕES	101
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	102

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Coeficientes de regressão dos modelos ajustados e seus respectivos cálculos estatísticos.....	26
Tabela 2	Limites inferiores e superiores para cada classe de sítio e seus respectivos índices de sítio.....	29
Tabela 3	Total de árvores cubadas de <i>Pinus taeda</i> L. para as diferentes idades e classe de diâmetro.....	42
Tabela 4	Características dos povoamentos de <i>Pinus taeda</i> L. onde as árvores foram cubadas.....	43
Tabela 5	Modelo volumétrico de simples entrada.....	43
Tabela 6	Modelos volumétricos de dupla entrada	44
Tabela 7	Coeficientes de regressão dos modelos volumétricos de simples entrada testados e suas respectivas análises estatísticas.....	47
Tabela 8	Coeficientes de regressão estimados para os modelos de volume de dupla entrada e suas respectivas análises estatísticas.....	51
Tabela 9	Coeficiente de regressão, coeficiente de determinação e erro padrão da estimativa de cada modelo de afilamento para estimativa do diâmetro.....	72
Tabela 10	Coeficiente de determinação e erro padrão da estimativa de cada modelo de afilamento para volume estimado.....	75
Tabela 11	Discriminação do custo, ano de ocorrência e valor em R\$/ha para plantio e colheita de <i>Pinus taeda</i> L.....	89
Tabela 12	Informações de custos de implantação por hectare para <i>Pinus taeda</i> L.....	89
Tabela 13	Custo de poda em suas respectivas idades.....	91
Tabela 14	Produtividade média por hectare com 6 desbastes.....	91
Tabela 15	Destino, preço e percentuais dos sortimentos em uma rotação de 26 anos e 6 desbastes.....	93
Tabela 16	Receitas obtidas por hectare com os produtos separados por sortimento em cada idade de desbaste.....	94
Tabela 17	Estrutura de custos e receitas de <i>Pinus taeda</i> L. submetida a 6 desbastes.....	95

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Localização da área de estudo - Município de Campo Belo do Sul - SC.....	23
Figura 2	Análise de resíduos (idade x resíduo (%)).....	28
Figura 3	Curvas de sítio dos três modelos testados.....	29
Figura 4	Gráficos de distribuição de resíduo dos modelos volumétricos de simples entrada.....	49
Figura 5	Volumes reais e estimados para as equações de simples entrada (DAP).....	50
Figura 6	Gráfico da distribuição de resíduos de modelos volumétricos de dupla entrada.....	52
Figura 7	Volumes reais e estimados para as equações de dupla entrada...	54
Figura 8	Distribuição dos resíduos (%) em função do diâmetro estimado (cm) para os três modelos de afilamento.....	73
Figura 9	Perfil médio dos fustes estimados pelos modelos de Schöepfer (1966), Kozak <i>et al.</i> (1969) e Hradetzky (1979) para <i>Pinus taeda</i> L.....	74
Figura 10	Distribuição gráfica dos resíduos (%) para os três modelos testados.....	76
Figura 11	Volume estimado (m ³) (eixo y) pelas equações de afilamento de Schöepfer, Hradetzky e Kozak por correspondentes valores observados (m ³) (eixo x).....	76
Figura 12	VPL conforme as variações nas taxas de juros.....	96
Figura 13	Análise do VPL em relação à redução dos preços das toras e aumento dos custos.....	97
Figura 14	Benefício Custo Periódico Equivalente em relação a taxa de juros.....	98
Figura 15	Avaliação de sensibilidade de B(C)PE em relação a redução de preços da madeira (%) e aumento de custo (%).....	99
Figura 16	Taxa Interna de Retorno em relação a variação da redução do custo da madeira e aumento de custos gerais.....	100

RESUMO

A presente pesquisa foi realizada em povoamentos de *Pinus taeda* L., localizados no município de Campo Belo do Sul, estado de Santa Catarina, com os seguintes objetivos: definir classes de produtividade de sítio comparando três modelos matemáticos e elaborar um conjunto de curvas de índice de sítio; avaliar a precisão de cinco modelos de equação de volume de simples entrada (d) e cinco modelos de dupla entrada (d; h), avaliar a precisão de três funções de afilamento para estimar diâmetros e volumes ao longo do fuste de *Pinus taeda* L.. Na análise econômica foram adotados os seguintes critérios: Valor Presente Líquido, Benefício ou Custo Periódico Equivalente e Taxa Interna de Retorno; a taxa de desconto considerada foi de 8% ao ano, com variação de redução na receita de até 30% e custo com aumento de até 30%, para análise da sensibilidade da viabilidade econômica. O tamanho da amostra foi de 676 parcelas amostrais de 400 m² cada, onde foram medidos todos os diâmetros e alturas no ano de 2007. Em cada parcela foram selecionadas algumas árvores dominantes. Foram cubadas 320 árvores, pelo método de Smalian, com idades variando de 11 a 26 anos, selecionadas de acordo com a distribuição das classes diamétricas. A análise de custos foi realizada através de fonte de pesquisa da empresa e dados de função de afilamento e volumetria. A precisão dos modelos foi avaliada pelas seguintes estatísticas: coeficiente de determinação, erro padrão da estimativa e análise gráfica dos resíduos. Para classificação de sítios florestais, os três modelos apresentaram resultados semelhantes e satisfatórios, com ligeira vantagem para o modelo de Chapman-Richards, apresentando coeficiente de determinação (R^2) de 89,90%, erro padrão da estimativa (S_{yx}) de 5,15% e a análise gráfica dos resíduos foi considerada boa. Os resultados obtidos para equação de volume foram: os modelos de dupla entrada apresentaram resultados bons e satisfatórios, podendo ser utilizados sem restrição, com ligeira vantagem para o modelo de Spurr (logarítmica). Os modelos de simples entrada (d), se comparados com os modelos de dupla entrada (d; h) apresentaram resultados inferiores. Para função de afilamento concluiu-se que os modelos de Hradetzky (1976) e o de Schöepfer (1966) apresentaram resultados semelhantes e satisfatórios, com alto valor do coeficiente de determinação e baixo erro padrão da estimativa, tanto para diâmetros quanto para o volume. Os indicadores demonstraram a viabilidade econômica do plantio de *Pinus taeda* L., com taxa de desconto de 8% ao ano. O plantio será inviável se houver redução maior que 15% nas receitas ou aumento superior a 19,69% nos custos.

Palavras-chave: *Pinus taeda* L., classes diamétricas, função de afilamento, altura dominante.

ABSTRACT

This research was carried out in *Pinus taeda* L. stand, located in the District of Campo Belo do Sul, State of Santa Catarina, with the following goals: to define classes of site productivity comparing three mathematic models, and draw up a set of site index curves; to validate the precision of five volume models of single entrance (d) and five models of double entrance (d; h); to test the precision of three taper functions for estimating diameters and volumes along the stem of *Pinus taeda* L.. For economic analysis there were adopted the following criterias: Net Present Value, Periodic Benefit or Cost Equivalent and the Inner Rate of Return; the discount rate of 8% per year was adopted and varying the the income reduction until 30% and the cost was increase until 30%, for analyzing the economic sensibility to the Minimum Rate of Attractivity (MRA). The database were compounded by 676 sample plots of 400m² each, where all DBH's and height were measured in the year of 2007. In each sample plot five dominant trees were selected and measured. By the Smalian method 320 sample trees were sealed, with ages varying from 11 to 26 years, selected according to the diameter class distributions. The costs were analyzed through the research font of the company and function data of taper and volume. The model precisions were validated by the following statistics: coefficient of determination, estimate standard error and a residual graphic analysis. For site classification, the three models presented similar and satisfactory results, with a small advantage to the Chapman & Richards model, presenting a coefficient of determination (R^2) of 89,90%, estimative standard error (Syx%) of 5,15% and the residual graphic analysis was considered good. The results of the volume equation were: the double entrance models presented satisfactory results and they could be used without restrictions, with a small advantage to the Spurr model (logarithmic). The single entrance models (SEM), if compared to the double entrance ones, presented inferior results. For the taper function it was concluded that the models of Hraketzky (1976) and of Schöepfer (1966) had similar and satisfactory results, with a high value of coefficient of determination and low estimate standard error, for estimating diameters and volume. The economic indicators showed viability of *Pinus taeda* L. plantation, with a discount rate of 8% per year. The plantation will be impracticable if there were a reduction higher than 15% in the incomes or an increase higher than 19,69% in the costs.

Keywords: *Pinus taeda* L., diameter classes, taper functions, dominant height.

1 INTRODUÇÃO GERAL

Com a intensa devastação das principais florestas brasileiras e o aumento da demanda de madeira serrada e laminada, muitas empresas do setor florestal optaram pela introdução de espécies exóticas para industrializar produtos e subprodutos para estes fins. O Brasil é um país com grande potencial florestal com aproximadamente 5,5 milhões de hectares de florestas plantadas, principalmente de eucalipto, pinus, cajueiro e acácia (SBS, 2005). A preferência por essas espécies é devida ao crescimento rápido e grandes incrementos correntes anuais em altura e diâmetro. Uma das principais espécies florestal exótica introduzida no Brasil com o intuito de diminuir a pressão sobre as florestas naturais brasileiras é o *Pinus taeda* L.

Essa espécie caracteriza-se por ser uma planta rústica de rápido crescimento e com grande resistência a pragas e doenças. A espécie tem forte potencial para exportação, sobretudo para os países da Europa e para a China, Japão, Marrocos, Turquia e Estados Unidos. Na sua silvicultura destaca-se o desbaste e a poda bem como o manejo de nutrientes e controle de pragas e doenças. Com esses manejos há uma significativa valorização da madeira, determinada pelo menor tempo de produção de toras, toras sem nós e mais grossas, justificando os investimentos realizados.

Os principais usos do *Pinus taeda* L. são para celulose, serraria e laminado, podendo apresentar grande valorização dependendo do diâmetro. Portanto, trata-se de uma espécie importante para o fornecimento de matéria-prima, especialmente nas regiões Sul e Sudeste do país.

Fatores inerentes ao solo, clima e à própria planta, influenciam a dinâmica biológica da floresta, além das ações antrópicas como a adubação, melhoramento genético ou tratamentos silviculturais. Essas mudanças devem ser acompanhadas por meio de parcelas experimentais, que sejam eficientes na representação do estado atual e temporal da floresta, com o intuito de gerar informações precisas com menor custo possível, para o subsídio do manejo e planejamento florestal.

A mensuração da floresta em pé é de grande importância para direcionar a madeira bruta com maior eficiência para múltiplos usos. Uma das informações de maior importância para o conhecimento do potencial disponível em um povoamento florestal é o volume, por fornecer subsídios para a avaliação do estoque de madeira e análise do potencial produtivo das florestas. A partir de informações oriundas de

inventário florestal é possível definir um plano de manejo visando a utilização de multi-produtos florestais, bem como obter o volume total e comercial, ou ainda, volumes por sortimentos. A estimativa desses volumes é dificultada principalmente pela variação na forma do perfil do fuste e da obtenção de dados a campo. O inventário florestal contínuo permite acompanhar o crescimento e a produção florestal, os quais possibilitam definir a melhor rotação física e econômica, amparando tais definições em modelos de classificação de sítio e modelos de prognose da produção.

Neste contexto, o profissional deve ter uma visão global de planejamento florestal como técnicas de mensuração, classificação de sítios, função de afilamento, prognose, volumetria, rotação econômica ótima, avaliação econômica, utilizando-se para tal, modelos matemáticos que possibilitem a previsão da produção, assim como gerenciar toda esta gama de informações através de planos de manejos em que a otimização seja a tônica do processo.

O uso destes modelos é uma consequência natural da evolução e importância do setor florestal no Brasil, onde o aprimoramento das técnicas de inventário e mensuração florestal, associados às pesquisas sobre a silvicultura como a produção de mudas melhoradas, técnicas de plantio, desbaste e poda; de flexibilização da informação de estoques de madeira, despertam um maior interesse na depuração das informações de inventário.

2 OBJETIVOS

O objetivo geral do presente trabalho foi realizar a avaliação biométrica e econômica de plantios de *Pinus taeda* L. localizados no centro-sul de Santa Catarina. Os objetivos específicos foram:

1. Estudar o crescimento em altura das árvores dominantes em função da idade e elaborar um conjunto de curvas de índice de sítio para a espécie e região;
2. Selecionar modelos volumétricos gerais de simples (d) e dupla entrada (d; h);
3. Avaliar a precisão dos modelos polinomiais de Schöepfer (1966), Hradetzky (1976) e Kozak *et al.* (1969) para estimativa dos diâmetros e volumes ao longo do fuste;
4. Verificar a viabilidade econômica dos plantios com base nos indicadores econômicos Valor Presente Líquido (VPL), Benefício Custo Periódico Equivalente (B(C)PE) e Taxa Interna de Retorno (TIR) com taxa de desconto de 8% ao ano.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 *Pinus taeda* L.

A adaptação do gênero *Pinus* ocorreu em diversas condições, desde habitat da floresta boreal, que apresenta severos invernos, com duração de sete a nove meses, solos com baixos teores de nutrientes, em mosaicos de solos pantanosos ou arenosos em situações de alta aridez, bem como ocorrem espécies em solos bastante rasos sobre relevos montanhosos (RICHARDSON & RUNDEL, 1998).

Uma das principais espécies que ocorre naturalmente em toda a região sudeste dos Estados Unidos da América é o *Pinus taeda* L.. Segundo Koch (1972), a espécie se destaca devido à sua distribuição geográfica. Em sua região natural, desenvolve-se desde altitudes ao nível do mar até acima de 800 metros, entre as latitudes de 29° N até 38° N e as longitudes de 75° W e 95° W.

Nos Estados Unidos, a adaptação do *Pinus taeda* L. ocorreu em uma região de clima úmido com temperaturas variando de quente a amena, verões quentes e invernos intermediários. A precipitação média anual varia de 1.020 a 1.520 mm. Não ocorre período de geada por cinco meses na região norte, e dez meses na região costeira dos EUA. A temperatura média anual varia de 13° a 24° C e a temperatura média do mês de julho é de 27° C. A temperatura média do mês de janeiro é de 4° a 16° C, podendo cair a -23° C no norte e oeste de sua área de ocorrência. Ocasionalmente ocorrem muitos dias de chuva com mais de 13 mm ao dia e temperaturas altas no inverno. O principal fator que limita a ocorrência da espécie ao norte são as baixas temperaturas no inverno, causado pelo peso da neve, gelo e ainda pelo frio durante o período de florescimento da espécie. A falta de chuva no período de crescimento é uma das causas que limita a ocorrência natural da espécie na região oeste, nos estados de Oklahoma e Texas (BAKER e LANGDON, 1990).

Os primeiros plantios comerciais em larga escala com *Pinus taeda* L. no Brasil ocorreram por volta da década de 60, com pouco conhecimento de silvicultura e manejo florestal. A cultura do pinus ganhou grande importância nas décadas de 70 e 80, devido aos incentivos fiscais fornecidos pelo governo brasileiro. Os plantios iniciais foram feitos com sementes sem controle de qualidade e sem o manejo adequado, os quais resultaram em povoamentos de má qualidade de fuste e com ramificações, apesar do vigor e da alta produção de biomassa vegetal. Dentre as

espécies de pinus plantadas na região sul e sudeste do país, está o *Pinus taeda* L., conhecido como “Loblolly pine”, “Arkansas pine” e “North Caroline pine”, onde “Linnaeus” deu a espécie o nome “taeda”, que se destaca pelo maior incremento em altura e diâmetro, a qual tem sua denominação antiga para pinheiros resinosos (BAKER & LANGDON, 1990). Atualmente é uma das preferidas no setor de pasta celulósica, pelo menor teor de resina se comparado com o *Pinus elliottii*.

Devido à sua ampla capacidade de adaptação às condições climáticas e regionais, à sua diversidade de uso e ao seu rápido crescimento, o *Pinus taeda* L. tem sido uma das espécies preferidas para plantios em reflorestamentos comerciais nos planaltos da Região Sul do Brasil, abrangendo mais de um milhão de hectares. A espécie possui as seguintes características: a) madeira de cor clara, variando de branca à amarelada; b) madeira com fibra longa, apropriada para fabricação de papel de alta resistência para embalagens, papel de imprensa e outros tipos de papéis; e c) rusticidade e tolerância, possibilitando o plantio em solos marginais para agricultura e, assim, agregando valor a terra com a produção adicional de madeira, formação de cobertura protetora do solo e reconstituição de ambientes propícios à recomposição espontânea da vegetação nativa em locais degradados (SHIMIZU & MEDRADO, 2006).

A madeira do gênero *Pinus* é conhecida como “multi-produto”, pois sua madeira pode ser destinada à indústria laminadora para fabricação de compensados; para a indústria de serrados, que a transforma em madeira beneficiada ou é convertida em móveis; para a indústria da construção civil, papel e celulose; indústria de MDF e, mesmo o seu resíduo, tem sido aproveitado como biomassa para geração de vapor e energia (CARGNIN, 2005).

Em 1992, o Brasil foi o quinto produtor mundial de madeira bruta, porém participou com menos de 2% das exportações mundiais de produtos de base florestal de maior valor agregado, como madeira serrada, painéis, pasta de madeira e papéis, denotando a potencialidade de crescimento que se apresenta para o país neste segmento (MACEDO & MATTOS, 1995).

3.2 PLANEJAMENTO: VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA

Segundo Burger (1976), “O planejamento é uma atividade pela qual o homem, agindo em conjunto e através da manipulação e do controle consciente do meio

ambiente, procura atingir certos fins já anteriormente por ele mesmo especificados”. Partindo dessa definição de planejamento, deduz-se que o processo tem uma série de etapas a serem seguidas e alguns objetivos a serem alcançados.

No planejamento, deve-se ter em conta:

- Viabilidade Econômica, que diz respeito aos custos e receitas envolvidos no projeto, às condições de financiamento, à capacidade de pagamento, etc.
- Viabilidade Financeira, quando a decisão de investir está baseada na disponibilização de recursos, com o objetivo de se obter o equilíbrio de entradas e saídas, levando-se em conta os saldos a cada momento (fluxo de caixa); trata-se de viabilização financeira (BEZERRA DA SILVA, 1995).
- Viabilidade Técnica, isto é, o planejamento deve ser compatível com a disponibilidade de matéria-prima, de equipamentos, de know-how, de pessoal especializado etc.
- Viabilidade Política e Institucional, isto é, deve-se considerar a situação legal, a aceitabilidade do plano pelos responsáveis por sua execução e pelos que serão atingidos pelo processo.

3.2.1 PRINCÍPIOS DE PLANEJAMENTO FLORESTAL

3.2.2. PLANEJAMENTO FLORESTAL

A origem do planejamento florestal ocorreu devido à escassez de madeira, que foi severa em toda Europa central no final do século XVIII, nascendo deste fato a preocupação de manter o corte da madeira em base de rendimento. Naquela época, originou-se a idéia de fixar o corte racional de madeira baseado na área, no seu volume e no incremento, para através de um planejamento disciplinar a sua exploração (BURGER, 1976).

Pesquisadores da área florestal encontram dificuldades em planejamento florestal em florestas nativas, que apresentam grande biodiversidade, heterogeneidade e uma distribuição espacial complexa das espécies. Por outro lado, atualmente se dispõem de ferramentas matemáticas, de planejamento e de pesquisa operacional, que associadas aos Sistemas de Informações Geográficas (SIG), possibilitam melhorar o planejamento florestal. Essas ferramentas têm sido usadas

eventualmente no planejamento da exploração de florestas plantadas, porém ainda praticamente não foram usadas em florestas naturais (BRAZ, 2004).

3.2.3 AS FASES PRINCIPAIS DO PLANEJAMENTO

O planejamento florestal representa a substância da empresa florestal, manifestada nas seguintes fases (BURGER, 1976):

1- Procedendo ao reconhecimento das suas bases e condições atuais, compilando-as e reunindo em seqüência cronológica. Além disso, fatores como preço dos produtos, custo de produção, transporte, distância da floresta, valor da terra, dentre outros, são de fundamental importância no gerenciamento dos recursos (CARNIERI *et al.*, 1991).

2- Colecionando todos os dados e fatos disponíveis sobre a história da empresa, estabelecendo assim a conexão com o seu passado, o que é muito importante para a compreensão do estado atual.

3- De posse de todas as providências necessárias ao manejo, deve-se estabelecer um planejamento total incorporando os objetivos orçados. Segundo SILVA (1992), na busca de melhor desempenho econômico, um planejamento detalhado é fundamental. Para tanto, um planejador florestal precisa contar com dados confiáveis, representativos das condições operacionais da empresa, e com instrumentos eficientes de apoio à tomada de decisão.

3.2.4 RAMOS DA EMPRESA PARA PLANEJAMENTO FLORESTAL

O planejamento florestal como centro de atrações e ligando todos os ramos da empresa, dá-lhe um caráter marcante de equipe (MACEDO-SOARES, 1996):

- Tecnicamente pela colaboração de representantes de silvicultura, dos solos florestais, da utilização da madeira, da biometria, da proteção florestal. O planejamento florestal em uma empresa não deve ser isolado, e sim abranger o todo da organização, pois o planejamento de simples ações pode gerar, no final do processo, resultados consideráveis.

- Administrativa e executivamente, pela colaboração do chefe da empresa com os peritos do planejamento florestal.

Essa colaboração típica, no moderno planejamento florestal evita a possibilidade de um ramo da empresa agir independentemente de outro precedente, que no passado permitiu danos consideráveis. Nestas condições, a organização da moderna empresa florestal para o futuro é dominada pelo conhecimento das relações insolúveis entre todos os ramos da empresa e aqueles subordinados aos objetivos fixados e ocupando papel dominante na medição.

Além de suas funções originais e básicas, o moderno planejamento florestal analisa o estado da empresa em todos os seus detalhes, prestando-se assim às múltiplas finalidades como (LOTTA, 2002):

a) O levantamento metódico das bases numéricas e do estado atual da empresa, prestando-se, em primeiro lugar, ao planejamento futuro e a regulamentação dos cortes, fornecendo simultaneamente à administração da empresa uma parte essencial das estatísticas indispensáveis (área total e estrutura, classificação dos solos, volume total de madeira, classes de idade, aumento do volume e de valor). A finalidade do planejamento da empresa é contribuir para a realização o mais completa possível de seus objetivos.

b) O planejamento florestal facilita à silvicultura as informações sobre o êxito ou insucesso das suas providências, fornecendo índices necessários para o futuro.

c) Demonstra os resultados obtidos e erros cometidos no campo da utilização florestal; permite provar o volume de madeira para o futuro, fornecendo as bases necessárias para o abastecimento do mercado da madeira. Para se obter informações sobre o comportamento futuro de um plantio de pinus, submetido aos diferentes regimes de manejo, é possível realizar a simulação do crescimento e da produção, auxiliando na tomada de decisões e possíveis intervenções (SCHUCHOVSKI, 2003).

d) Heterogeneidade em termos de plantio anual, produtividade e densidades populacionais, o que gera, em princípio, um problema para se adequar o fluxo de produção à demanda por matéria-prima, ou seja, épocas com excesso de oferta e épocas com escassez de matéria-prima (NASCIMENTO, 2000).

e) Êxito financeiro e a sua respectiva rentabilidade.

f) Descubrem os efeitos danosos e os que ameaçam a floresta, permitindo assim à proteção florestal tomarem as necessárias providências.

g) O planejamento florestal fornece através de cálculos estatísticos, elementos indispensáveis para os superiores interesses nacionais (Política Florestal Nacional, utilização geral das terras, avaliação dos impostos, etc.).

h) A periodicidade do planejamento florestal possibilita uma gestão contínua da empresa durante toda a fase de produção, incorporando as experiências da empresa e, representando uma rica fonte para a sua história (NOBRE *et al*, 2003).

i) Por fim, o planejamento florestal, dá à empresa o caráter econômico que indica um procedimento planejado para cobrir o consumo. Sem planejamento, todas as atividades florestais representam uma produção e consumo difícil de comprovar (CARBONNIER, 2002).

4 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BAKER, J. B.; LANGDON, O. G. P. taeda L. - Loblolly pine. In: **BURNS, R.M.; HONKALA, B.H. (Eds.)**. Silvics of North America. Washington: USDA Forest Service. v.1. p.497-512, 1990.

BEZERRA DA SILVA, M. **Planejamento Financeiro para o Setor da Construção Civil**. São Paulo: EPUSP; p. 47; 1995.

BRAZ, E. M. **Manejo Florestal e Silvicultura de Precisão na Amazônia**. 2004. Disp. em <http://www.remade.com.br/pt/revista_materia.php?edicao=85&id=651>. Consultado em: 30/08/2008.

BURGER, D. **Ordenamento florestal**. 2.ed. Curitiba: UFPR, 1976. Não paginado.

CARBONNIER, L. Integrated planning and control systems for forest operations. In: **FOREST IT 2002**, Helsinki. Anais. Finlândia, 2002.

CARNIERI, C., GAVINHO, L.G., MAESTRI, R. Um sistema de planejamento Florestal. In: ENCONTRO BRASILEIRO DE ECONOMIA E PLANEJAMENTO FLORESTAL, 2, 1991, **Anais...333-346p**.

CARGNIN, O. **Alternativas das florestas de pinus**. [on line]. 2008. Disponível em <<http://www.valeverde.org.br/html/clipp2.php?id=3752&categoria=Biodiversidade> > Consultado em 15/08/08.

KOCH, P. **Utilization of the southern pines**. : **USDA**. Forest Service, 1972. 2v. (Agric. Handbook, 420).

LOTTA, G.S. **Avaliação de desempenho na área pública: perspectivas e propostas frente a dois casos práticos**. RAE-eletrônica. São Paulo, v.1, n.2, jul-dez/2002.

MACEDO, A. R. P.; MATTOS, R. L. G. **Produtos florestais madeira em tora, madeira serrada e painéis.** Panorama 1980/1992. S.l.: BNDES/FINAME/BNDESPAR, 1995. 41 p.

MACEDO-SOARES, T.D.L.A.; LUCCAS, D.C. **Key quality management practices of leading firms in Brazil: finding of a pilot studing.** The TQM-Magazine. v.8, n.4,p.55-70, 1996.

NASCIMENTO, A. M. **O planejamento das empresas florestais brasileiras.** Viçosa: UFV. 68 p. 2000. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal de Viçosa.

NOBRE, S.R.; RODRIGUEZ, L.C.E.; ASSIS, M.L.R.; AMARAL, T.M. Avaliação do uso da tecnologia da informação nos sistemas de administração da produção florestal. In: **Congresso Florestal Brasileiro**, 2003. São Paulo. Anais. São Paulo, 2003.

RICHARDSON, D. M; RUNDEL, P. W. **Ecology and biogeography of pinus: an introduction.** In: RICHARDSON, D. M., ed., Ecology and biogeography of Pinus, New York: Cambridge University Press. Cambridge, p.1-48, 1998.

SHUCHOVSKI, M. S. **Diagnóstico e planejamento do consumo de madeira e da produção em plantações florestais no estado do Paraná.** Curitiba: UFPR, 2003. 90 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal).

SHIMIZU, J.Y.; MEDRADO, M. J. S. **Cultivo do Pinus.** [on line]. Disponível em <<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Pinus/CultivodoPinus/index.htm>>. Consultado em 18/08/2008.

SILVA, R.P. **Simulação e avaliação econômica de um programa plurianual de reflorestamento para fins de planejamento da empresa florestal.** Viçosa: UFV, 56p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, 1992.

SOCIEDADE BRASILEIRA DE SILVICULTURA. **O Setor Florestal Brasileiro: Fatos e Números**, 2005. Disponível em www.sbs.org.br. Acesso em agosto de 2008.

CAPÍTULO 2

CLASSIFICAÇÃO DE SÍTIOS FLORESTAIS PARA PLANTIOS DE *Pinus taeda* L. LOCALIZADOS NO CENTRO-SUL DE SANTA CATARINA

RESUMO

Os objetivos da presente pesquisa foram definir classes de produtividade comparando três modelos matemáticos e elaborar um conjunto de curvas de índice de sítio. Para o estudo, foram testados e analisados os modelos matemáticos de Bailey & Clutter, Schumacher e Chapman & Richards, tendo como variáveis a idade e altura dominante. Os dados foram obtidos de 676 parcelas, sorteadas nos projetos denominados de: Valas, Morro Agudo, Picaços, Sede e Canoas. As idades variaram de 6 a 26 anos em povoamentos com até 6 desbastes. Os três modelos apresentaram resultados semelhantes e satisfatórios, com ligeira vantagem para o modelo de Chapman & Richards, apresentando coeficiente de determinação (R^2) de 89,90%, erro padrão da estimativa (Syx%) de 5,15% e a análise gráfica dos resíduos foi considerada boa.

Palavras-chave: equações de sítio, classificação de sítio, curvas de índice de sítio.

ABSTRACT

The goals of the present research were to define classes of productivity comparing three mathematic models, and to elaborate a set of site index curves. In this study, the mathematic models of Bailey and Clutter, Schumacher and Chapman & Richards were tested and analyzed, having as variables age and height of dominant tree, got from 676 sample from the Valas, Morro Agudo, Picaços, Sede and Canoas projects. Ages varying from 6 to 26 years with stands submitted until 6 thinnings. The three models presented similar and satisfactory results, with a small advantage to the Chapman & Richards model, presenting a coefficient of determination (R^2) of 89,90%, standard error of estimate ($Sy_x\%$) of 5,15% and the residual graphic analysis was considered good.

Keywords: Site equation, site classification, site index curves.

1 INTRODUÇÃO

Há duas definições com diferentes pontos de vista entre os ecólogos e manejadores florestais sobre sítios florestais: os ecólogos definem sítio como uma unidade geográfica uniforme caracterizada por combinações estáveis dos fatores que interagem o meio; e os manejadores florestais como um fator de produção primário capaz de produzir madeira ou produtos florestais a eles associados (SCHONAU, 1987).

Quando o objetivo é planejar a produção madeireira, a determinação da produtividade dos sítios florestais é fator básico na condução de povoamentos e no planejamento da produção madeireira de uma empresa florestal e, deve-se aplicar um sistema integrado de manejo visando a racionalização e otimização do uso dos recursos florestais. Assim, a classificação eficiente de sítio é fundamental para a determinação e planejamento da produção, pois as tabelas de produção e sortimento são construídas com base nos índices de sítio.

O método de índice de sítio que relaciona a altura média das árvores dominantes com a idade de referência é o mais utilizado para definir a potencialidade dos sítios florestais, e assim o será, até que métodos que conjuguem a soma de fatores ambientais possam ser traduzidos de forma numérica e acessível aos usuários do setor. O conhecimento da produtividade do sítio influencia no conhecimento do potencial de crescimento em altura, diâmetro, biomassa e diâmetro de copa. De acordo com a qualidade do sítio, pode-se adotar o manejo adequado e também os tratamentos silviculturais como a poda, desbaste, rotação econômica ótima, fertilização do solo, prognose, entre outros.

O potencial quantitativo do sítio para uma espécie em particular auxilia na implementação do planejamento regional ou local da atividade florestal. A produtividade dos sítios também influencia na dimensão dos produtos advindos da floresta, viabilizando economicamente, ou não, projetos florestais. A produtividade do sítio pode ser usada como referência para o diagnóstico e prescrição de manejo e conservação do solo.

A avaliação da capacidade produtiva de um sítio florestal pode ser feita através de métodos diretos e indiretos. Os métodos diretos consideram a altura dominante ou a média das alturas dominantes de uma área ou localidade que simplesmente suporta árvores em crescimento, sem considerar diretamente as

características do sítio. Como métodos indiretos podem ser considerados o clima, a litologia, a edafologia e a morfologia; espécies indicadoras (sociologia) e associações indicadoras (fitossociologia). Essa capacidade produtiva depende, portanto, das condições do meio ambiente (ORTEGA E MONTEIRO, 1988).

Dentro deste contexto, são vários os métodos utilizados para a classificação de sítio florestal, sendo que, aquele que emprega a altura das árvores dominantes em função da idade, é considerado o mais prático e usual.

Esta pesquisa teve como objetivos: definir classes de produtividade de sítio comparando três modelos matemáticos para *Pinus taeda* L.; elaborar e analisar um conjunto de curvas de índice de sítio para as condições dos povoamentos da empresa Florestal Gateados, localizados no Centro-Sul de Santa Catarina.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 SÍTIO FLORESTAL

Uma das atividades básicas e de grande importância na formação de povoamentos florestais é a determinação das unidades de produção que podem ser definidas através de classificação de sítios florestais.

Davis (1966) citou a definição de sítio dada pela Sociedade Americana de Engenheiros Florestais, como sendo uma área considerada segundo os seus fatores ecológicos em relação à sua capacidade de produzir florestas ou outra vegetação sob a combinação de condições biológicas, climáticas e edáficas.

Para Clutter *et al.* (1983), os métodos para prever o crescimento de florestas podem ser classificados em diretos e indiretos. Os métodos indiretos avaliam a qualidade do sítio a partir de atributos do ambiente, levando em consideração características como clima, solo e vegetação. Os métodos diretos utilizam-se basicamente de indicadores na própria vegetação, como qualidade do sítio através do volume e área basal do povoamento, qualidade do sítio proveniente de dados de altura do povoamento (SCOLFORO, 1992), que refletem as interações de todos estes fatores de sítio.

Os métodos diretos apresentam como restrições a dificuldade de encontrar áreas para empregar esse método, a densidade afeta a produção, modificação de condições como densidade, composição de espécies, práticas silviculturais, idade de rotação e material genético (SANQUETTA, 2005).

O mapeamento de sítio de uma área florestal é uma técnica que, embora caracterizada pelo uso de procedimentos matemáticos e estatísticos para construção e validação de um modelo, auxilia na otimização do uso dos recursos ambientais. Esse mapeamento envolve a subdivisão da área florestal em partes que apresentam condições ambientais homogêneas, a caracterização dessas áreas quanto às propriedades físico-químicas do solo, biológicas e climáticas e as interações com produtividade.

Para que o mapeamento de sítio apresente resultados confiáveis há necessidade de se utilizar uma metodologia baseada em modelo matemático válido para as condições estudadas (COUTO & BASTOS, 1987).

Esta prática permite avaliar a capacidade produtiva de uma determinada área, correlacionando com a altura dominante e a idade do povoamento. Desta forma, grande parte das decisões tomadas no manejo florestal tem base através do índice de sítio de determinado local ou talhão. Dentre os parâmetros da vegetação, a altura dominante é a variável dendrométrica que melhor se enquadra nos pré-requisitos para um bom indicador de sítio, devido à facilidade de determinação a campo, boa correlação com a produção volumétrica, classifica a qualidade de sítio para todas as idades do povoamento e é independente da densidade do povoamento (BURGER, 1976).

Outros autores, como Spurr (1952), Vidal (1969), Schönau (1969), também afirmam que a altura das árvores dominantes é a melhor variável para caracterizar o sítio, o qual é representado pela altura alcançada pelo povoamento nas diferentes idades de seu desenvolvimento. Por convenção, a altura alcançada em uma determinada idade, a qual é chamada de "idade chave" ou "idade índice", ou ainda "idade de referência", é chamada de índice de sítio.

A altura média das árvores dominantes em uma idade específica define o chamado índice de sítio (CAMPOS e LEITE, 2002). De acordo com Davis e Johnson (1987), o índice de local não é perfeito, porém, como as árvores dominantes estão crescendo livres de competição no estrato superior, elas estão fortemente correlacionadas com o volume do povoamento e não são afetadas, dentro de certos limites, pela densidade populacional, apresentando vantagens em comparação com os outros métodos. Além disso, assume-se que os indivíduos dominantes conseguem captar os recursos ambientais a eles oferecidos, expressando isso em seu desenvolvimento, isto é, em suas alturas.

O método de índice de sítio que se baseia na altura média das árvores dominantes na idade de referência, é o mais universalmente utilizado para definir a potencialidade dos sítios florestais e assim o será até que métodos que conjuguem a soma de fatores ambientais possam ser traduzidos de forma numérica e acessível aos usuários do setor.

Alguns trabalhos importantes foram desenvolvidos sobre classificação de sítios florestais, considerando diferentes espécies, diferentes métodos de ajustes dos modelos matemáticos e os diferentes padrões de desenvolvimento da altura média das árvores dominantes, anamórfica ou polimórfica. Dentre estes citam-se: Machado (1980), Campos *et al.* (1985), Batista e Couto (1986), Scolforo e Machado

(1988a, 1988b), Couto *et al.* (1989), Alemdag (1991), Gonzalez *et al.* (1992), Stansfield e Mctague (1992), Mcdill e Amateis (1992), Cao (1991), Maestri (1992), Scolforo (1992) e Scolforo (1993).

2.2.1 CONCEITO DE ÁRVORES DOMINANTES

Definição de árvores dominantes (SCOLFORO, 1988a):

- Altura média de 100 das árvores mais grossas por hectare (ASSMANN). É o mais objetivo dos procedimentos. Apresenta a grande vantagem de possibilitar uma fácil identificação destas árvores.
- Altura média das 100 árvores mais altas por hectare (HART). É um método que apresenta bons resultados, tendo o grande inconveniente de, em plantações com altas densidades ou em plantações mais velhas, ser difícil a identificação das maiores árvores em altura das parcelas.
- Altura média das árvores com DAP maior ou igual a $\bar{D} + 1,5$ (NASLUND).
- Altura média correspondente ao DAP médio de 20% das árvores grossas do povoamento (WEISE).
- Altura média das 30 árvores mais altas por hectare (LEWIS).

2.2.2 MODALIDADES DE CURVAS DE ÍNDICE DE SÍTIO

Segundo Scolforo (1988a), as curvas de índice de sítio (altura-idade) podem ser subdivididas em anamórficas e polimórficas.

As curvas anamórficas são aquelas em que a tendência do crescimento em altura é a mesma para todos os locais (CAMPOS & LEITE, 2002); são curvas que apresentam a mesma relação de distância entre as curvas da mesma família (SCOLFORO, 1988b). Apresentam inclinação comum e constante, mas varia o ponto de interseção, onde apresenta mesma forma para todos os índices de sítio e o ponto de inflexão ocorre em uma mesma idade em todos os locais (CAMPOS & LEITE, 2002).

As curvas polimórficas se caracterizam por não apresentarem proporcionalidade no crescimento da altura das árvores dominantes, entre classes

de sítio diferentes. Nesta família de curvas também não existe proporcionalidade no crescimento da altura entre as classes de sítio, entretanto as curvas que expressam o sítio se cruzam dentro da faixa de idade de interesse (SCOLFORO, 1988a), não apresentam uma mesma tendência de incremento em altura para todos os locais (CAMPOS & LEITE, 2002).

Para curvas polimórficas, segundo Clutter *et al.* (1983), o processo de construção exige medições repetidas em intervalos de tempo sucessivos (parcelas permanentes), ou através de análise de tronco de espécies que apresentam anéis de crescimento visíveis. Com estes dados ajusta-se uma função para cada árvore, sítio natural ou parcela amostrada.

2.2.3 MÉTODOS PARA CONSTRUÇÃO DE CURVAS DE ÍNDICE DE SÍTIO

Os principais métodos para construção de curvas de índice de sítio são (CAMPOS & LEITE, 2002):

- Método da curva guia;
- Método de atribuição preliminar de índice de sítio;
- Método de equação das diferenças;
- Método de Hammer e
- Método de predição de parâmetros.

2.2.4 CONSTRUÇÃO DE CURVAS DE ÍNDICE DE SÍTIO PELO MÉTODO DA CURVA-GUIA

Com a introdução da regressão linear na década de 30, o método da curva guia passou a ser utilizado para espécies como as do gênero *Pinus* (SCOLFORO, 1988b).

Um modelo muito utilizado para a classificação de sítios florestais, através da regressão linear, foi desenvolvido por SHUMACHER em 1939. É um modelo simples e prático e tem a forma de uma hipérbole, porém apresenta restrição com espécies com rápido crescimento em altura, como as do gênero *Eucalyptus* (SCOLFORO, 1988a).

Considerando o modelo de SHUMACHER (1939):

$$Hd_i = Ki.e^{\beta_1(I^{-1})}$$

Este modelo pode ser expresso na forma logarítmica:

$$\ln Hd_i = \ln k_i + \beta_1 \cdot (1/I)$$

Ou ainda estabelecendo que $\ln(k_i) = \beta_0$, tem-se

$$\ln Hd_i = \beta_0 + \beta_1 \cdot (1/I)$$

Em que:

Hd_i = altura da árvore dominante na idade I ;

I = idade da árvore e

β_{is} = parâmetros a serem estimados.

Para construir as curvas de índice de sítio, inicialmente definem-se as classes de sítio e seus respectivos índices; a idade de referência (idade próxima ao ciclo de rotação) deve ser definida através de revisão bibliográfica ou prática do manejador. Com esses dados são estimados por meio da equação ajustada, o índice de sítio na idade de referência (FIGUEIREDO, 2005).

O valor do índice de sítio na idade de referência é a altura média das árvores dominantes, onde é adotado o valor central da classe média. As demais classes são estimadas através da subtração e adição de um determinado valor, escolhido pelo manejador, delimitando as classes de acordo com o melhor desenvolvimento do trabalho (SCOLFORO, 1988b). Nesta pesquisa, foi delimitado um valor de amplitude de classe de 3 metros para todos os modelos testados.

Os fatores de classes das curvas de sítio foram calculados dividindo os valores inferiores e superiores de cada classe pelo valor de sítio na idade de referência. A construção das curvas de classe de sítio é baseada nos fatores de classes, pois o cálculo é feito através da relação entre os valores inferior e superior de cada classe com o valor estimado na idade de referência. O coeficiente calculado é multiplicado pela altura dominante estimada em cada idade de observação, formando uma linha limite da classe de sítio. Este procedimento é repetido para cada altura dominante estimada e em cada idade, considerando as classes de sítio (FIGUEIREDO, 2005).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

Esta pesquisa foi conduzida em povoamentos de *Pinus taeda* L. com diferentes idades, da Empresa Florestal Gateados, situados no município de Campo Belo do Sul (Figura 1), Centro-Sul de Santa Catarina.

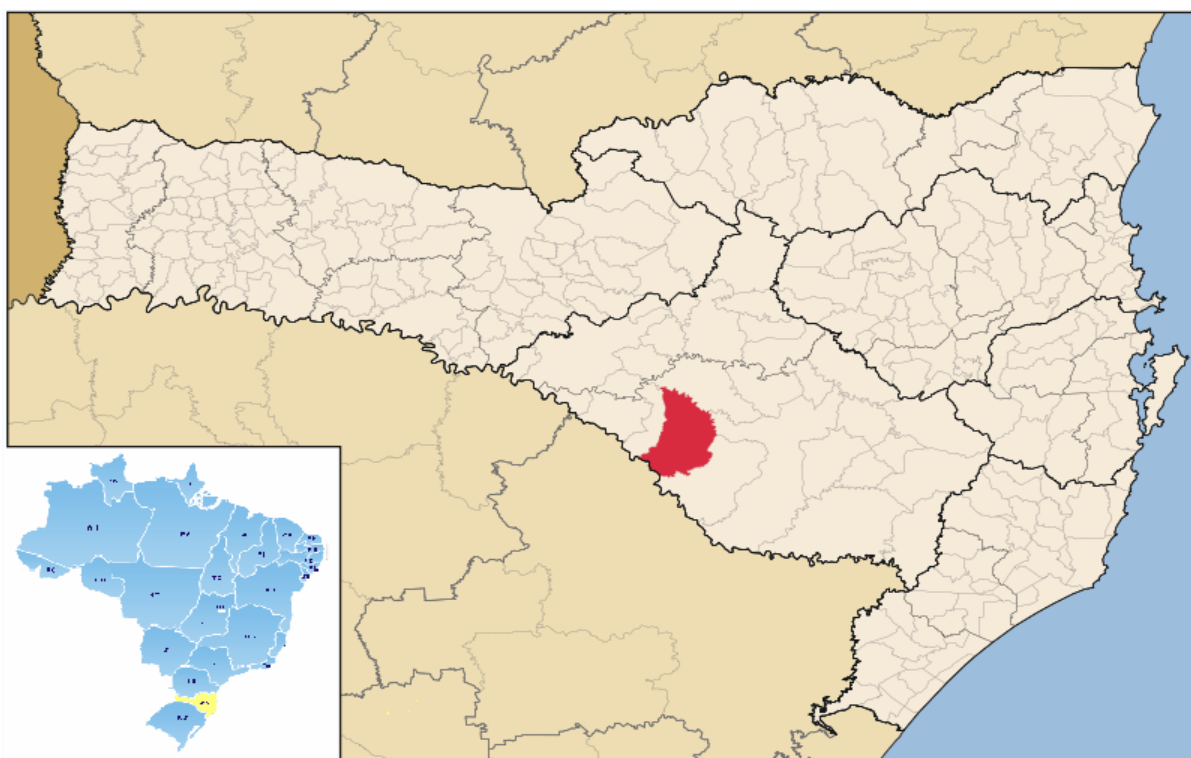


Figura 1 – Localização da área de estudo - Município de Campo Belo do Sul - SC.

O clima da região é mesotérmico, subtropical úmido, tipo Cfb, com verões frescos e geadas severas freqüentes, conforme a classificação de Köppen. Esse tipo climático é típico do Planalto Meridional Brasileiro, com temperatura média anual de 16°C, tendo uma média mensal de 12,3°C na estação mais fria e 27,5°C na mais quente. As chuvas são bem distribuídas durante o ano e a precipitação média anual é de 1300 mm.

A topografia caracteriza-se por áreas planas, levemente onduladas e outras mais declivosas, principalmente, na encosta da divisa do Rio Pelotas que, na região, divide os Estados de Santa Catarina e Rio Grande do Sul. A região pertence à Bacia Hidrográfica do Rio Uruguai, Sub-Bacia Hidrográfica do Rio Pelotas.

Os solos predominantes na região classificam-se como Cambissolo Húmico e Gleis pouco Húmicos, Terra Bruna Estruturada, Estruturada Húmica, Estruturada Intermediária para Terra Roxa Estruturada, além de manchas de Solos Litólicos (ESTADO DE SANTA CATARINA, 1991).

A vegetação predominante da região é a Floresta de Araucária e os Campos, conforme Klein (1978), ou Floresta Ombrófila Mista e Savanas Estépicas, de acordo com a nova terminologia adotada no Brasil (IBGE, 1993).

A área de plantio da Floresta Gateados tem um total aproximado de 7,0 mil hectares de florestas plantadas, sendo aproximadamente 6,37 mil hectares de *Pinus taeda* L. e *Pinus elliottii*, 140 hectares de *Eucalyptus dunii*, 506 hectares de Araucária, 10 hectares de erva-mate e 10,5 mil hectares de área de preservação permanente e reserva legal.

3.2 DADOS UTILIZADOS PARA CLASSIFICAÇÃO DE SÍTIOS FLORESTAIS

Esta pesquisa foi realizada com dados coletados de 676 unidades amostrais de 400 m² cada, em povoamentos de *Pinus taeda* L.

Foram medidos dados de DAP e altura total de todas as árvores das unidades amostrais no ano de 2007. Os projetos amostrados foram: Valas, Morro Agudo, Sede, Picaços e Canoas, com idades entre 6 e 26 anos. Dentre as 676 unidades amostrais, houve maior intensidade de amostragem em plantios nas idades superiores a 20 anos, em povoamentos com até 6 desbastes. Considerou-se como altura dominante, a altura média das 100 árvores de maior diâmetro por hectare. Em cada unidade amostral foram medidas as alturas das 4 árvores de maior diâmetro.

Para gerar curvas de índice de sítio, foi utilizado o método da curva guia ou média. Foram testados 3 modelos tradicionais mais empregados, conforme mostrado a seguir:

a) Schumacher

$$\ln Hd = \beta_0 + \beta_1 \left(\frac{1}{Id} \right)$$

b) Chapman & Richards

$$Hd = \beta_0 [1 - \exp(-\beta_1 Id)]^{\beta_2}$$

c) Bailey e Clutter

$$\text{LnHd} = \beta_0 + \beta_1 \left[\left(\frac{1}{\text{Id}} \right)^{\beta_2} \right]$$

Onde:

Hd - altura dominante (altura média das 100 árvores de maior diâmetro por hectare);

Id - idade da árvore (anos);

β_s - parâmetros a serem estimados e

Ln – Logaritmo neperiano.

3.3 MÉTODO DE DETERMINAÇÃO DO MELHOR MODELO MATEMÁTICO

A precisão do ajuste foi verificada através da análise gráfica dos resíduos, do erro padrão da estimativa (Syx%) e pelo coeficiente de determinação ($R^2\%$). A idade índice é a idade padrão escolhida arbitrariamente, na qual se compara a altura dominante dos diferentes sítios. A escolha dessa idade depende da rotação do povoamento florestal e deve ser preferencialmente fixada no final desta. Neste estudo, optou-se por uma idade de referência de 20 anos, por esta ser a idade de rotação média para *Pinus taeda* L. no Brasil, manejados em densidade completa. A amplitude adotada entre classes de sítio foi de 3 metros na idade de 20 anos.

A confiabilidade da classificação dos índices de sítio, ao longo do desenvolvimento do povoamento florestal, é essencial para a acuracidade na aplicação dessas curvas em períodos sucessivos. Segundo Clutter (1983), o desejável é que a altura média das árvores dominantes da unidade amostral permaneça em uma mesma classe de sítio durante toda a sua vida, propiciando, dessa forma, uma forte base para estudos de crescimento e produção.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 AJUSTES DOS MODELOS MATEMÁTICOS

Os modelos de Bailey & Clutter, Schumacher e Chapman & Richards foram ajustados com o uso do programa Statgraphics®, com os dados das 676 unidades amostrais coletados em povoamento de *Pinus taeda* L.. Após as análises estatísticas, foi comparada a precisão dos modelos. Os resultados são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 – Coeficientes de regressão dos modelos ajustados e seus respectivos cálculos estatísticos.

Bailey & Clutter			$LnHd = \beta_0 + \beta_1 \left[\left(\frac{1}{Id} \right)^{\beta_2} \right]$		
β_0	β_1	β_2	R ² aj.(%)	Syx(%)	Syx (m)
-2,9956	4,41592	-0,117546	93,21	5,43	1,55
Schumacher			$LnHd = \beta_0 + \beta_1 \left(\frac{1}{Id} \right)$		
β_0	β_1		R ² aj.(%)	Syx(%)	Syx (m)
3,76999	8,71992		94,04	5,39	1,54
Chapman & Richards			$Hd = \beta_0 [1 - \exp(\beta_1 Id)]^{\beta_2}$		
β_0	β_1	β_2	R ² aj.(%)	Syx(%)	Syx (m)
17,143	-0,14992	0,635192	89,90	5,15	1,47

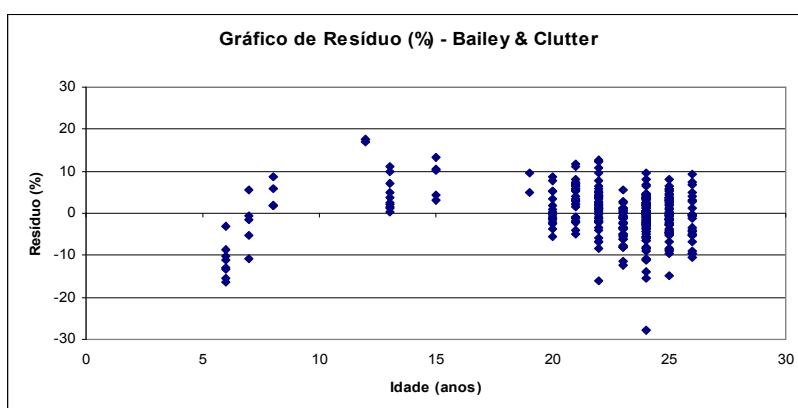
O modelo de Schumacher propicia o maior coeficiente de determinação, explicando 94,04% da variação total, seguido pelo modelo de Bailey & Clutter (R²=93,21%) e, por fim o modelo de Chapman & Richards (R²=89,90%).

O Syx (%) variou de 5,15% a 5,43%, sendo que o modelo de Chapman & Richards apresentou o melhor resultado.

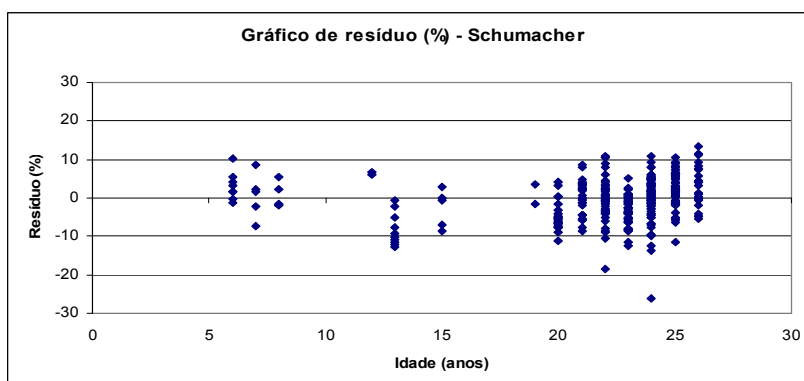
Scolforo (1992), pesquisando sítios florestais no Rio Grande do Sul, encontrou coeficiente de determinação superior a 99% para os modelos de Bailey &

Clutter, Schumacher e o de Chapman & Richards e erro padrão da estimativa inferior a 1,71 metros.

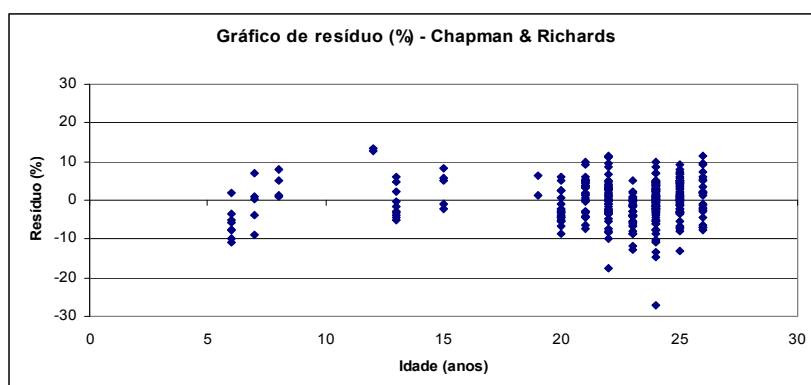
A análise gráfica dos resíduos (Figura 2), embora visual, é mais um indicativo, além dos parâmetros estatísticos, para validar a utilização de um modelo, indicando se a estimativa realmente é boa ao longo da linha de regressão, mostrando sua tendenciosidade e se a equação utilizada é realmente apropriada. Observa-se na Figura 2, que na análise gráfica de resíduos, os modelos de Schumacher e Chapman & Richards apresentaram semelhança na distribuição dos resíduos e as estimativas foram consideradas boas, enquanto no modelo de Bailey & Clutter, a análise gráfica de resíduos foi considerada regular.



Bailey & Clutter



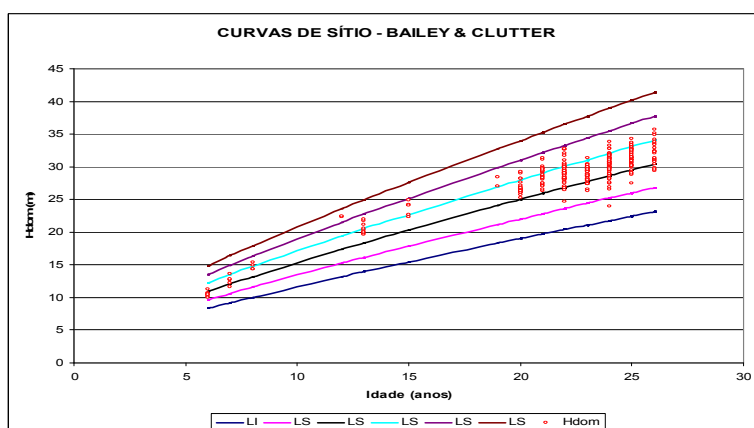
Schumacher



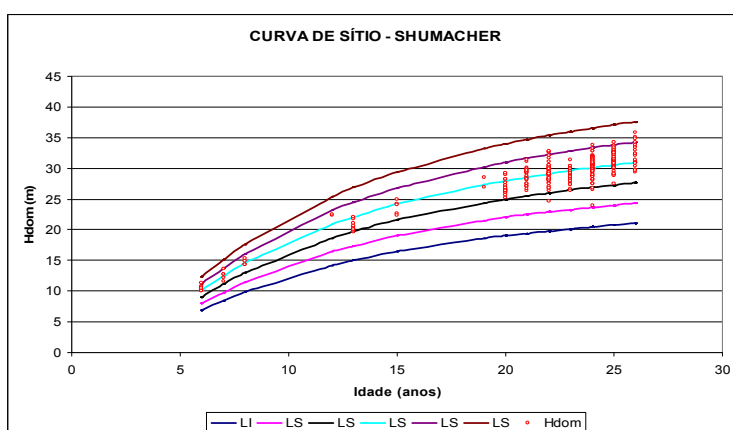
Chapman & Richards

Figura 2 - Análise de resíduos (idade x resíduo (%))

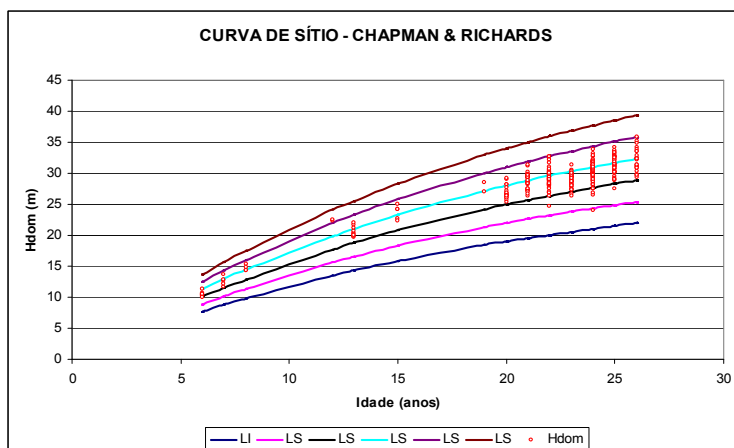
Adotou-se como Idade Índice ou Idade de Referência a idade de vinte anos, uma vez que esta se aproxima mais da idade de rotação silvicultural do *Pinus taeda* L.. Devido à variabilidade das alturas dominantes e às características do povoamento, foram definidas cinco classes de sítio. Graficamente, as curvas de sítio são apresentadas na Figura 3. Na Tabela 2 são apresentados os limites das alturas dominantes de cada classe de sítio dos três modelos testados e seus respectivos índices de sítio estimados para 20 anos.



Bailey & Clutter



Schumacher



Chapman & Richards

Figura 3 - Curvas de sítio dos três modelos testados.

Tabela 2 – Limites inferiores e superiores para cada classe de sítio e seus respectivos índices de sítio.

Classes	LI (m)	LS (m)	IS (m)
V	19	22	20,5
IV	22	25	23,5
III	25	28	26,5
II	28	31	29,5
I	31	34	32,5

O modelo selecionado foi o de Chapman & Richards, o mesmo resultado foi obtido por Scolforo & Machado (1988b) estudando *Pinus taeda* L. nos estados do Paraná e Santa Catarina. O modelo é expresso por:

$$Hdom = 17,143(1 - \exp(-0,14992t))^{0,635192}$$

$$R^2 = 89,90\%$$

$$Syx (\%) = 5,15\%$$

O valor 17,143 corresponde ao coeficiente b_0 e expressa o valor assintótico do crescimento médio em altura para *Pinus taeda* L.. O valor 0,14992 correspondente ao β_1 , expressa a taxa de crescimento que define a inclinação média da curva de crescimento. Já o coeficiente β_2 (0,635192) possibilita encontrar o valor do coeficiente “m” que expressa a localização do ponto de inflexão na curva de crescimento e exclusivamente determina a forma da curva sigmóide. Neste caso:

$$\beta_2 = 1 / (1 - m) = 0,635192, \text{ portanto: } m = -0,57432$$

5 CONCLUSÕES

Os três modelos apresentaram resultados semelhantes e satisfatórios, porém, o modelo de Chapman & Richards foi considerado o mais adequado para a classificação de sítio de *Pinus taeda* L. na área de estudo, com coeficiente de determinação de 89,90%, erro padrão da estimativa Syx equivalente a 5,15% e análise gráfica de resíduos foi considerada boa.

5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALEMDAG, I.S. **National site index and height-growth curves for white spruce growing in natural stands in Canada.** Canadian J. for. res. v. 21, p. 1466-1474, 1991.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA MADEIRA PROCESSADA MECANICAMENTE. **Estudo setorial.** Curitiba: ABIMCI, 2002.

BATISTA, J.L.F ; COUTO, H.T.Z. **Escolha de modelos matemáticos para construção de curvas de índice de sítio para florestas implantadas de *Eucalyptus* sp no estado de São Paulo.** IPEF, Piracicaba, v. 32, p. 33-42, Abr. 1986.

BURGER, D. **Ordenamento florestal.** 2.ed. Curitiba: UFPR, 1976. Não paginado.

CAMPOS, J.C.C.; LEITE, H.G. **Mensuração florestal.** Viçosa, MG: UFV, 2002. 407p.

CAMPOS, J.C.C.; TORQUATO, M.C. ; RIBEIRO, G.A. **Equações para calcular índices de local e incremento da altura em plantações puras de *Eucalyptus grandis*.** Revista Árvore, Viçosa, v. 9, n. 1, p. 1-9, 1985.

CAO, Q.V. ; DURAND, K.M. **Site index curves for eastern cottonwood plantations in the lower Mississippi Delta.** South J. Appl. For. , v. 15, n. 1, p. 28-30, 1991.

CLUTTER, J.L. *et al.* **Timber management: a quantitative approach.** New York: J. Wiley & Sons, 1983. 333 p.

COUTO, H.T.Z.; BASTOS, N.L.M. ; LACERDA, J.S. **Comparação de dois modelos de prognose de madeira de *Eucalyptus* para alto fuste e talhadia.** IPEF, Piracicaba, v. 41/42 , p.27-35, 1989.

COUTO,H.T.Z. & BASTOS,N.L.M. Determinação de modelos de índice de sítio em plantações de *Eucalyptus* em segunda rotação. In: **SIMPÓSIO SOBRE SILVICULTURA Y MEJORAMIENTO GENETICO DE ESPECIES FORESTALES**, Buenos Aires, 1987. p.163-86.

DAVIS,L.S.; JOHNSON, K.N. **Forest management**. 3.ed. New York: McGraw-Hill, 1987. 789p.

DAVIS, K.P. **Forest management, regulation and valuation**. USA: Mc Graw Hill, 1966. 519 p.

ESTADO DE SANTA CATARINA. Secretaria de Estado de Coordenação Geral e Planejamento. Subsecretaria de Estudos Geográficos e Estatísticos. **Atlas Escolar de Santa Catarina**. Rio de Janeiro: Aerofoto Cruzeiro, 1991.

FIGUEIREDO, E.O. **Avaliação de povoamentos de teca (*Tectona grandis* L.f.) na microrregião do Baixo Rio Acre**. Lavras: UFLA, 2005. 301 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Lavras, 2005.

GONZALEZ, A.M.F.; SMITH, D.M. ; MALDONADO, H.R. **Site index for *Pinus caribaea* var. hondurensis in “La Sabana”, Oaxaca, Mexico**. Commonwealth Forestry Review , v. 71, n. 1, p. 47-51, 1992.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Mapa de vegetação do Brasil**. Rio de Janeiro: IBGE, 1993.

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

MAESTRI, R. **Estimativa de produção presente e futura de volume de madeira e peso de casca para povoamento de *Acácia-negra* (*Acacia mearnsii*)**. 1992. 102p. Dissertação de Mestrado - Universidade Federal do Paraná.

McDILL, M.E. ; AMATEIS, R.L. **Measuring forest site quality using the parameters of a dimensionally compatible height growth function.** Forest Science , v. 38, n. 2 , p. 409-429, 1992.

ORTEGA, A.; MONTEIRO, G. Evaluación de la calidad de las estaciones forestales. Revisión bibliográfica. Ecología, v.2, p.155-184, 1988.

SANQUETTA, C.R. **Regimes de Manejo Florestal.** Curitiba: UFPR/FUPEF, 2005. 193 p.

SCHONAU, A.P. Problems in using vegetation or soil classification in determining site quality. **South African forestry journal**, Pretoria (141): 13-8, 1987.

SCHÖNAU, A. P. G. **A site evaluation study in black wattle (*Acacia mearnsii* de Wild).** Local: Univ. von Stellenbosch, 1987. 214p.

SCHUMACHER, F. X. A new growth curve and its applications to timber-yield studies. **Journal Forestry**, Bethesda, v. 37, p. 819-820, 1939.

SCOLFORO, J.R.S. **Mensuração florestal 4.** Classificação de sítios florestais Lavras: ESAL/FAEPE, 1993. 138p.

SCOLFORO, J.R.S. **Curvas de índice de sítio para *Pinus caribaea* var. hondurensis.** IPEF, Piracicaba , v. 45, p. 40-47, 1992.

SCOLFORO, J.R.S. ; MACHADO, S.A. **Curvas de índice de sítio, para plantações de *Pinus elliottii* nos Estados do Paraná e Santa Catarina.** Revista Floresta, Curitiba, v. 18, n. 112, p. 140-158, jun./dez. 1988a.

SCOLFORO, J.R.S.; MACHADO, S.A. **Curvas de índice de sítio para plantações de *Pinus taeda* nos Estados do Paraná e Santa Catarina.** Revista Floresta, Curitiba, v.18, n.1-2, p.159-173, 1988b.

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

STANSFIELD, W.F.; McTAGUE, J.P. ; LACAPA, R. **Dominant height and site index equations for Douglas fir and Engelmann Spruce in East.** Central Arizona . West. J. Appl. For. , v. 7, n. 2, p. 40-44. 1992.

VIDAL, O. G. **Índice de sitio para Pinus insigne en Chile.** Santiago/Chile: Instituto Forestal, 1969. 32 p.

CAPÍTULO 3

EQUAÇÕES DE VOLUME PARA PLANTIOS DE *Pinus taeda* L. LOCALIZADO NO CENTRO-SUL DE SANTA CATARINA

RESUMO

O objetivo da presente pesquisa foi avaliar a precisão de cinco modelos de equação de volume de simples entrada (d) e cinco modelos de dupla entrada (d; h). A base de dados foi composta por 320 árvores-amostras de *Pinus taeda* L., com idades variando de 11 a 26 anos, podadas e com 2 a 6 desbastes até o corte final. No geral, os modelos de dupla entrada apresentaram resultados bons e satisfatórios, podendo ser utilizados sem restrição, com ligeira vantagem para o modelo de Spurr (logarítmica). Os modelos de simples entrada, se comparados com os modelos de dupla entrada, apresentaram resultados inferiores, com menores coeficientes de determinação (R^2), maiores erro padrão da estimativa e análise gráfica de resíduos apresentando tendências.

Palavras-chave: Equação de volume, simples entrada, dupla entrada, *Pinus taeda* L.

ABSTRACT

The objective of the present study was to compare the precision of five models of volume equation of single entrance (d) and five models of double entrance (d; h). The database was compounded by 320 sample trees of *Pinus taeda* L., with ages ranging from 11 to 26 years old, pruned and from thinned 2 to 6 times before the final clear cutting. In general, the single entrance models, if compared to the double entrance models presented inferior results, with a smaller coefficient of determination (R^2), higher estimated standard error, graphic analysis of residuals with tendency. Keywords: Volume equation, single entrance, double entrance, *Pinus taeda* L..

1 INTRODUÇÃO

O uso de técnicas para avaliação da produção florestal vem sendo aprimorado pelas empresas florestais para diminuir os erros e minimizar os custos operacionais de amostragem, cálculos, planejamentos e estratégias, além de procurar por resultados de maneira mais clara possível. Com a busca do retorno dos investimentos pela comercialização dos produtos advindos de plantios florestais, torna-se importante um planejamento adequado, visando a obtenção de múltiplos produtos e a maximização dos lucros.

Para a estimativa do volume individual, o procedimento de maior uso é o emprego de equações em que o volume é a variável dependente, associado às variáveis independentes de fácil mensuração na floresta, como o diâmetro à altura do peito e a altura (MACHADO *et al.*, 2002). A modelagem do volume individual de árvores em função dessas variáveis independentes (d ; h) começou a ser desenvolvida na primeira metade dos anos de 1900, após o desenvolvimento de técnicas de análise de regressão. No entanto, o uso dessas técnicas realmente tomou maior impulso após o surgimento dos computadores, a partir da década de 1950.

Loetsch *et al.* (1973) consideram que, para a construção de uma tabela de volume local, faz-se necessária a cubagem de 50 a 100 árvores; para áreas mais extensas, recomendam-se amostragem de centenas de árvores, visando cobrir os diferentes sítios, idades, classes de diâmetro e formas de manejo em que a floresta é submetida. Nesse caso, os custos envolvidos na obtenção dos dados de cubagem, para ajustar equações específicas para cada espécie, idade, ciclo ou região, são altos.

Nesse contexto, levando em consideração os dados de cubagem com casca, os objetivos desta pesquisa foram:

Testar cinco modelos matemáticos de simples entrada (d) e cinco de dupla entrada (d ; h) que expressam o volume em função do diâmetro à altura do peito e altura.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 VOLUME

Segundo Prodan *et al.* (1997), um grande problema na dendrometria e inventário florestal é a estimativa de volumes individuais de árvores. Em todo o processo evolutivo da mensuração florestal, a medida de produção mais utilizada tem sido o volume. As equações de volume permitem estimar o volume individual das árvores, combinando variáveis que explicam tal característica (CAILLIEZ, 1980; PÉLLICO NETO, 1982).

Segundo Parent (2003), a disponibilidade de uma ferramenta simplificada que permita a obtenção de valores precisos do volume de madeira de uma espécie é vital para a planificação da gestão das massas florestais e para sua ordenação sustentável. Em áreas de reflorestamentos industriais qualquer sistema de manejo florestal vai requerer uma estimativa precisa dos estoques de madeira corrente e futuro, seja para produção de celulose, carvão ou lenha. Uma destas ferramentas utilizadas nas estimativas e prognoses de produção madeireira é o emprego de equações volumétricas, constituindo um procedimento eficiente para a quantificação da produção em volume de um povoamento florestal (PARENT, 2003).

Uma maneira lógica de expressar o crescimento e a produção florestal é através de um modelo, sendo que este pode ser caracterizado por gráficos, tabelas, equações ou um conjunto de submodelos, cada qual com uma ou mais equações. Os modelos volumétricos são utilizados para estimar o volume de árvores individuais do povoamento. Para ajustar tais modelos, devem-se selecionar árvores que representem adequadamente as variações existentes no povoamento. Posteriormente, elegem-se os modelos que serão testados, a fim de selecionar aquele que apresentar melhor desempenho (FREESE, 1960).

Ao manejador florestal compete manejar estruturas florestais não estáveis ou não balanceadas, caso típico de florestas plantadas no Brasil. Uma das alternativas para alcançar este objetivo, de maneira eficiente, é verificar qual o regime de manejo, ou o plano de manejo, que mais se aproxime do ótimo. Para tal, torna-se necessário que em cada unidade de corte (talhão ou grupo de talhões), seja feita uma análise financeira, o que representa a viabilidade, estabilidade ou lucratividade

de um investimento através do valor atual líquido do fluxo de caixa de infinitas rotações.

O volume é denominado de variável dependente ou variável-resposta e as variáveis independentes são obtidas de árvores isoladas (diâmetro, altura, forma) ou de árvores em grupos ou povoamentos (área basal por ha, altura dominante, etc.).

Segundo Davis e Johnson (1987), a produtividade de uma floresta é definida em termos da quantidade produzida em dado período de tempo. Nesse sentido, quanto melhor a qualidade de um local, maior a produtividade da floresta, desde que esta apresente densidade populacional em grau de ocupação adequado.

Para se obter o volume, é necessário estimar os coeficientes do modelo, e para estimá-los devem ser obtidos os dados a partir de árvores cubadas segundo uma das fórmulas tradicionais: Smalian, Huber, Newton, etc, onde serão medidos diâmetros a diversas alturas.

O número de árvores a serem cubadas, dependerá da homogeneidade do povoamento, da espécie e analogamente, quanto mais heterogêneo o volume, maior o número de árvores. Cinquenta a cem árvores podem ser suficientes na construção de uma tabela local, desde que as dimensões das árvores amostradas cubram toda a variação em diâmetro e altura, do local onde será aplicada a tabela. É costume, por exemplo,ubar um número de árvores suficientes que cubram toda a variação de sítios, classes de idade, de diâmetros e de alturas, para que a equação seja válida (SCOLFORO, 1993).

A cubagem de árvores isoladas pelo método da tabela de volume é justificada pela necessidade de estimar o volume dos povoamentos. Esta tabela expressa o volume de uma árvore como sendo função de determinadas características, geralmente do DAP e da altura (MACHADO, 1980).

As árvores podem ser mensuradas por meio de dois métodos de cubagem rigorosa: absolutos e relativos (CABACINHA, 2003): os métodos absolutos não apresentam vínculo com o comprimento do fuste. Nos métodos relativos, as posições de mensuração são tomadas de maneira a representar um percentual do comprimento total da árvore, possibilitando a confrontação e comparação dos volumes individuais de árvores de portes distintos, porém com a mesma forma (FIGUEIREDO, 2005).

Segundo Campos e Leite (2002), os volumes dos fustes podem ser obtidos por meio dos fatores de forma, método dos dois diâmetros e da relação hipsométrica

associada a uma equação de volume, o que propicia estimativas precisas e com menores custos, quando comparados com as equações que têm como variáveis independentes o diâmetro e a altura.

O volume pode ser estimado através de funções de volume, com modelos de simples, dupla e tripla entrada. A equação de volume para árvores individuais é a mais utilizada (SCOLFORO, 1988b).

As equações de simples entrada, em que o volume é função somente do diâmetro das árvores, são normalmente aplicadas quando a correlação entre o diâmetro e a altura é muito forte, ou seja, onde há bastante homogeneidade no desenvolvimento em altura das árvores de mesmo diâmetro. Por sua vez, as equações de dupla entrada, em que o volume é função do diâmetro e da altura, são aplicadas para povoamentos em que há maior heterogeneidade no desenvolvimento da altura das árvores com mesmo diâmetro (SCOLFORO, 1988a).

A seleção de modelos é realizada através do coeficiente de determinação (R^2), erro padrão da estimativa (S_{yx}) e gráfico de resíduo (SCOLFORO, 1993). Segundo Cabacinha (2003), existem dois tipos de validação de modelos: validação estatística e validação preditiva. Ambas as validações têm como objetivo selecionar o melhor modelo a ser utilizado na estimativa volumétrica. A validação estatística ocorre no contexto dos dados utilizados para o ajuste. Esta validação verifica as pressuposições dos gráficos de resíduos e a qualidade do ajuste (coeficiente de determinação e valor de F). Por outro lado, a validação preditiva ocorre no contexto de novos dados, do mesmo povoamento, que gerou os dados do ajuste.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 BASE DE COLETA DE DADOS

Com as distribuições diamétricas dos projetos foram cubadas árvores-amostras em toda a amplitude de variação, cujas amplitudes de classes de diâmetro e freqüências foram construídas conforme Tabela 3. Para cada árvore-amostra, foram medidas a altura total e DAP. Os diâmetros foram medidos nas alturas de 0,1 m, 0,5 m, 1,3 m, 2,0 m e posteriormente a cada 1,0 m até atingir a altura total. O método de cubagem de volume adotado foi o de Smalian, conforme descrito por Husch *et al.* (1982).

Ao todo foram utilizados dados de cubagem rigorosa de 320 árvores amostras de *Pinus taeda* L., com idades variando de 11 a 26 anos, podadas e com 2 a 6 desbastes até o corte raso (Tabela 3).

Tabela 3 – Total de árvores cubadas de *Pinus taeda* L. para as diferentes idades e classe de diâmetro.

Idade (anos)	11	14	17	20	23	26
Classe (cm)	Nº de árvores cubadas					
11 a 15	20					
15 a 19	20	20				
19 a 23	20	20	10			
23 a 27		20	10			
27 a 31			10	10		
31 a 35			10	10	20	10
35 a 39				10	20	10
39 a 43				10	20	10
43 a 47					20	10
Total	60	60	40	40	80	40

Na Tabela 4, encontra-se um breve resumo das características dos povoamentos de *Pinus taeda* L. onde as árvores foram cubadas.

Tabela 4 – Características dos povoamentos de *Pinus taeda* L. onde as árvores foram cubadas.

Idade (anos)	Desbaste	DAP (cm)	HT (m)	HC (m)	H Ponta (m)	Volume da ponta (m ³)	VT (m ³)
11	2°	17,20	14,60	11,19	3,41	0,00450637	0,18441504
14	3°	21,18	18,82	15,77	3,05	0,00390938	0,33964773
17	4°	27,10	19,10	16,59	2,51	0,00322308	0,58515413
20	5°	35,08	28,11	24,86	3,25	0,00416916	1,28524310
23	6°	38,76	30,19	27,65	2,54	0,00325836	1,70003044
26	Corte raso	38,75	29,96	26,76	3,20	0,00410822	1,76175529

Sendo: DAP = (Diâmetro à altura do peito); HT = (Altura total); HC = (Altura comercial); H Ponta = (Altura da ponta); VT = (Volume total médio de cada árvore na respectiva idade).

3.2 EQUAÇÕES VOLUMÉTRICAS DE SIMPLES ENTRADA

Foram ajustados cinco modelos de volume de simples entrada (Tabela 5), através do programa Statgraphics® Plus 5.1 para obtenção dos coeficientes de regressão e coeficiente de determinação.

Tabela 5 – Modelo volumétrico de simples entrada.

Modelos gerais	Autores
$V = \beta_0 + \beta_1 DAP^2 + \epsilon_i$	Kopezky-Gehrhardt
$V = \beta_0 DAP + \beta_1 DAP^2 + \epsilon_i$	Dissescu-Meyer
$V = \beta_0 + \beta_1 DAP + \beta_2 DAP^2 + \epsilon_i$	Hohenadl-Krenm
$\ln(V) = \beta_0 + \beta_1(\ln DAP) + \beta_2(DAP^{-1}) + \epsilon_i$	Brenac
$\ln(V) = \beta_0 + \beta_1(\ln DAP) + \epsilon_i$	Husch

Sendo:

V = Volume estimado;

DAP = Diâmetro à altura do peito;

Ln = logaritmo neperiano;

β_s = coeficientes de regressão a serem estimados.

3.3 EQUAÇÕES VOLUMÉTRICAS DE DUPLA ENTRADA

Os cinco modelos volumétricos tradicionais de dupla entrada (Tabela 6) foram selecionados da literatura florestal. O ajuste e as análises estatísticas foram realizados com o uso do programa Statgraphics Plus[®] 5.1 para obtenção dos coeficientes de regressão e coeficientes de determinação.

Tabela 6 – Modelos volumétricos de dupla entrada.

Modelos gerais	Autores
$V = \beta_0 + \beta_1 DAP + \beta_2 DAP^2 + \beta_3 DAP H_t + \beta_4 DAP^2 H_t + \beta_5 H_t + \epsilon_i$	Meyer
$V = \beta_0 + \beta_1 DAP^2 + \beta_2 DAP^2 H_t + \beta_3 DAP H_t^2 + \beta_4 H_t^2 + \epsilon_i$	Naslund
$V = \beta_0 + \beta_1 DAP^2 + \beta_2 DAP^2 H_t + \beta_3 H_t + \epsilon_i$	Stoate (1945) (Australiana)
$\ln(V) = \beta_0 + \beta_1 \ln(DAP^2 H_t) + \epsilon_i$	Spurr (logarítmica)
$\ln(V) = \beta_0 + \beta_1 \ln(DAP) + \beta_2 \ln(H_t) + \epsilon_i$	Schumacher e Hall (1933)

Sendo:

V = Volume estimado;

DAP = Diâmetro à altura do peito;

H_t = altura total;

ln = logaritmo neperiano;

βs = coeficientes de regressão a serem estimados.

3.4 FATOR DE CORREÇÃO PARA MODELOS MATEMÁTICOS LOGARITIMIZADOS

Os modelos matemáticos logaritimizados, subestimam os valores do volume. Por essa razão o índice de Meyer é utilizado para corrigir esse erro. Desta forma, multiplicam-se os volumes estimados pela expressão conhecida como Índice de Meyer (IM): $e^{0,5 \cdot Syx^2}$; em que e = base dos logaritmos neperianos e Syx^2 = quadrado do erro-padrão da estimativa em unidades logarítmicas.

3.5 REGRESSÃO

É o estudo da relação entre duas variáveis ou grupos de variáveis, onde a estimativa do valor de uma variável de difícil obtenção é obtida a partir do conhecimento do valor de uma ou mais variáveis de fácil obtenção. A regressão também permite que seja estimado o grau de associação entre duas ou mais variáveis. Costuma-se também defini-la como uma relação entre uma variável dependente (Y_i) e uma ou mais variáveis independentes (X_i). No estudo da regressão, o principal problema reside em encontrar um modelo matemático que se ajuste bem aos dados reais observados.

3.6 SELEÇÃO DO MELHOR MODELO MATEMÁTICO

Para a seleção do melhor modelo matemático tomou-se como base as análises estatísticas de coeficiente de determinação ajustado (R^2), erro padrão da estimativa ($Sy_x\%$), que foram recalculados para os modelos de equação logaritmizados e análise gráfica de resíduos.

3.6.1 COEFICIENTE DE DETERMINAÇÃO

O coeficiente de determinação é uma estatística que mede o quanto as variáveis independentes explicam a variação da variável dependente dentro do modelo. Quanto mais próximo de um for o valor do R^2 , melhor será o ajuste do modelo. Para o cálculo do coeficiente de determinação ajustado utilizaram-se as seguintes fórmulas:

$$R^2 = 1 - \left(\frac{(n-1)}{(n-p)} \times \frac{(SQ_{res})}{(SQ_{total})} \right)$$

$$SQ_{res} = \sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2$$

$$SQ_{total} = \sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2$$

Em que:

R^2 = Coeficiente de determinação ajustado;

n = número de dados;

p = número de coeficientes de cada modelo utilizado;

SQ_{res} = soma dos quadrados dos resíduos;

SQ_{total} = soma dos quadrados do total;

Y_i = valores observados reais;

\hat{Y}_i = valores estimados;

\bar{Y} = média aritmética dos valores reais.

3.6.2 ERRO PADRÃO DA ESTIMATIVA (S_{yx})

A dispersão média entre os valores observados e estimados ao longo da linha de regressão é conhecida como erro padrão da estimativa (S_{yx}), que é calculado em relação aos valores observados e estimados. Quanto menor o valor do S_{yx} , melhor a precisão das estimativas. Para fins de comparação foram utilizados os valores de erro padrão da estimativa em percentagem ($S_{yx}\%$). Para os modelos logaritmizados o $S_{yx}\%$ foi recalculado por meio do Índice de Meyer.

Para a análise gráfica dos resíduos Draper e Smith (1966) utilizam os resíduos na forma relativa (percentagem) em função da variável dependente estimada, considerando esta forma gráfica de análise como a mais adequada para se ter melhor noção da dimensão das sub e super estimativas do valor real e comparar os diversos modelos ajustados. Assim, utilizou-se tal procedimento neste estudo.

$$S_{yx_{recalculado}} = \sqrt{\frac{(Y_i - \hat{Y}_i)^2}{n - p}}$$

Em que:

$S_{yx_{recalculado}}$ = erro padrão da estimativa em m^3 ;

n = número de dados;

p = número de parâmetros estimados pelo modelo em questão.

Y_i = volume observado (m^3);

\hat{Y}_i = volume estimado pelos modelos (m^3).

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 EQUAÇÃO DE SIMPLES ENTRADA

Na Tabela 7 estão apresentados os coeficientes de regressão dos cinco modelos de equação de volume de simples entrada (DAP) tradicionais, com suas respectivas análises estatísticas.

Tabela 7 – Coeficientes de regressão dos modelos volumétricos de simples entrada testados e suas respectivas análises estatísticas.

Kopezky-Gehrhardt = $(V = \beta_0 + \beta_1 DAP^2 + \epsilon_i)$					
β_0	β_1		R ² aj.(%)	Syx(%)	Syx (m ³)
-0,199111	0,0012174		95,33	16,08	0,1571
Dissescu-Meyer = $(V = \beta_0 DAP + \beta_1 DAP^2 + \epsilon_i)$					
β_0	β_1		R ² aj.(%)	Syx(%)	Syx (m ³)
-0,014895	0,0014658		95,45	15,88	0,1552
Hohenadl-Krenm = $(V = \beta_0 + \beta_1 DAP + \beta_2 DAP^2 + \epsilon_i)$					
β_0	β_1	β_2	R ² aj.(%)	Syx(%)	Syx (m ³)
0,0288144	-0,01694	0,00149904	95,43	15,90	0,1554
Brenac = $(\ln(V) = \beta_0 + \beta_1(\ln DAP) + \beta_2(DAP^{-1}) + \epsilon_i)$					
β_0	β_1	β_2	R ² aj.(%)	Syx(%)	Syx (m ³)
-9,11685	2,62248	-0,000047	97,31	16,55	0,1617
Husch = $(\ln(V) = \beta_0 + \beta_1(\ln DAP) + \epsilon_i)$					
β_0	β_1		R ² aj.(%)	Syx(%)	Syx (m ³)
-9,11346	2,62127		97,31	16,59	0,1621

Os valores do coeficiente de determinação (R²) mostram que a variável independente explica de maneira satisfatória a variação da variável dependente para todos os modelos, já os altos valores do erro padrão da estimativa para os modelos de simples entrada (DAP), são devido ao uso somente da variável DAP para expressar o volume. O R² não reflete a dispersão dos valores estimados, assim os melhores resultados do coeficiente de determinação podem mascarar as super ou subestimativas para um determinado grupo de dados utilizados no ajuste.

As equações de volume de simples entrada testadas apresentaram valores de coeficiente de determinação ajustado que variaram de 95,33% (modelo de Kopezky-Gehrhardt) a 97,31% (modelos de Brenac e Husch) e erro padrão da estimativa que variaram de 15,88% (modelo de Dissescu-Meyer) a 16,59% (modelo de Husch), conforme Tabela 7. Estes resultados têm semelhança com outros trabalhos desenvolvidos sobre o tema na área florestal em se tratando de modelos de simples entrada em florestas plantadas de *Pinus taeda* L..

O valor do erro padrão da estimativa encontrado para o modelo de Hohenadl-Krenm, foi inferior ao encontrado por Thomas (2006) que, ao determinar equações volumétricas para florestas de *Pinus taeda* L. em Ponte Alta do Norte, Santa Catarina, encontrou valor de $Syx(\%)$ superior a 27% para a variável volume total com casca para este mesmo modelo.

Os gráficos de resíduos (Figura 4) devem ser aliados aos resultados do R^2 e do $Syx\%$, assim terão grande contribuição na validação de uma equação. Esta análise não pode ser considerada isoladamente, pois o comportamento do modelo matemático pode validar ou não a equação estudada em toda a linha de regressão. No modelo estudado pôde ser verificado se ocorreu ou não um comportamento tendencioso dos coeficientes sobre toda a linha de regressão.

A Figura 4 apresenta a análise gráfica de resíduos das equações testadas. Pode ser verificado um melhor comportamento nas equações de Brenac e na de Husch, sendo consideradas aceitáveis, enquanto que na análise gráfica de resíduos das equações de Kopezky, Dissescu e Hohenadl, o comportamento dos resíduos foi ruim, com alto grau de tendência, superestimativa nos menores DAPs e subestimativa a medida que aumenta os DAP's.

Ao observar os gráficos de resíduos (Figura 4) de Brenac e de Husch, foi verificado que, embora o erro de estimar o volume de um único indivíduo seja grande (superior a 60%), não houve tendência de superestimativa ou de subestimativa. Este fato garante o bom uso das equações nas parcelas do inventário florestal. Em essência, utilizam-se equações para obter o volume contido na parcela, de forma que este seja o mais próximo do verdadeiro. Estas equações propiciam atingir este ponto crucial do controle da informação para os mais diversos fins.

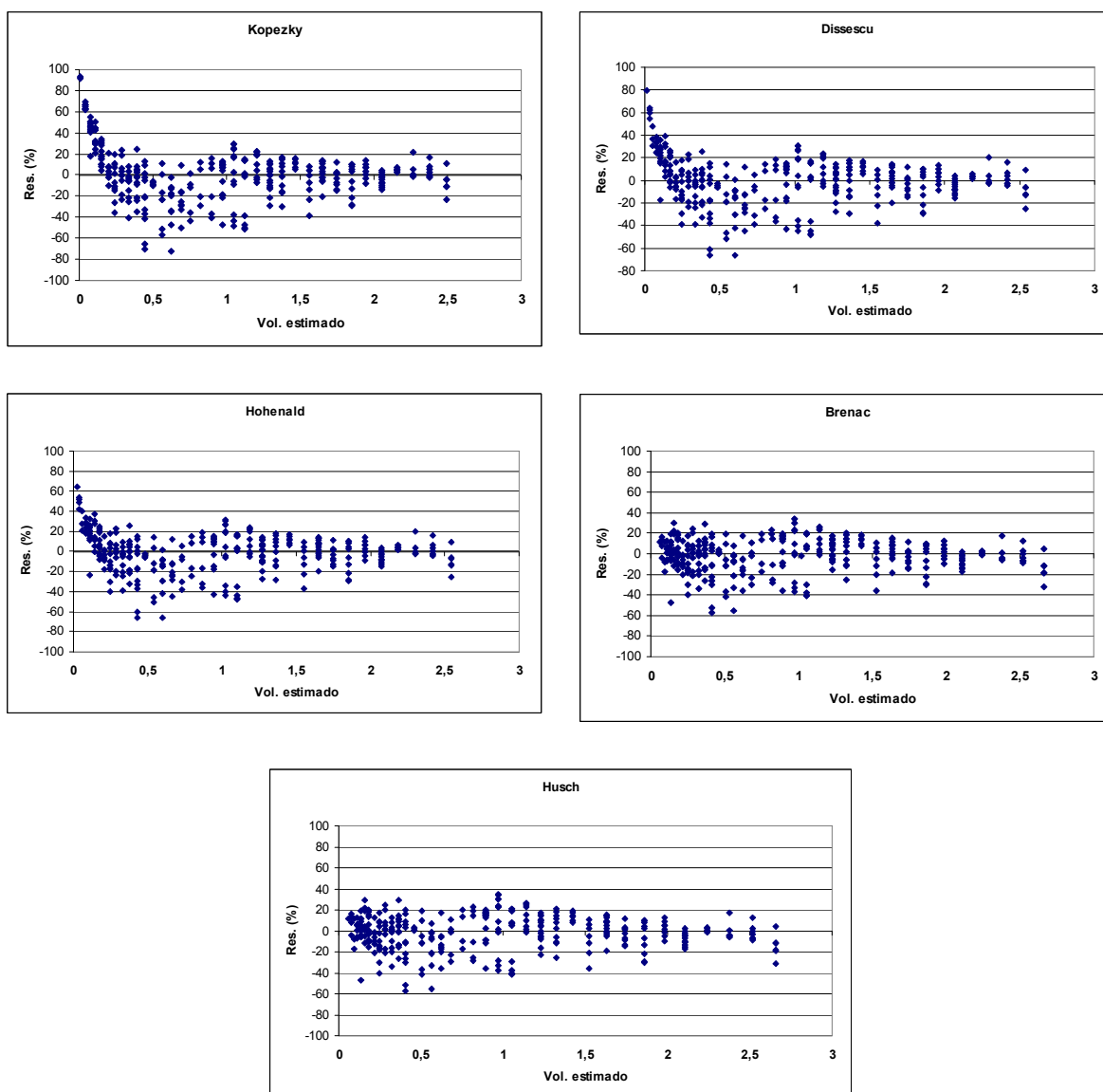


Figura 4 – Gráficos de distribuição de resíduo dos modelos volumétricos de simples entrada.

Ao analisar a Figura 5, observa-se que somente no modelo de Kopezky, há sobreposição dos volumes reais pelos volumes estimados, enquanto que nas outras equações, inclusive nos modelos de Brenac e Husch, a sobreposição dos volumes estimados é apenas parcial, indicando que as estimativas não conseguem uma boa precisão em toda a amplitude de variação dos dados. Assim, embora as medidas de precisão das equações possam ser consideradas aceitáveis, a análise de resíduos indica que estimativas dos volumes somente em função dos diâmetros não devem ser adotadas.

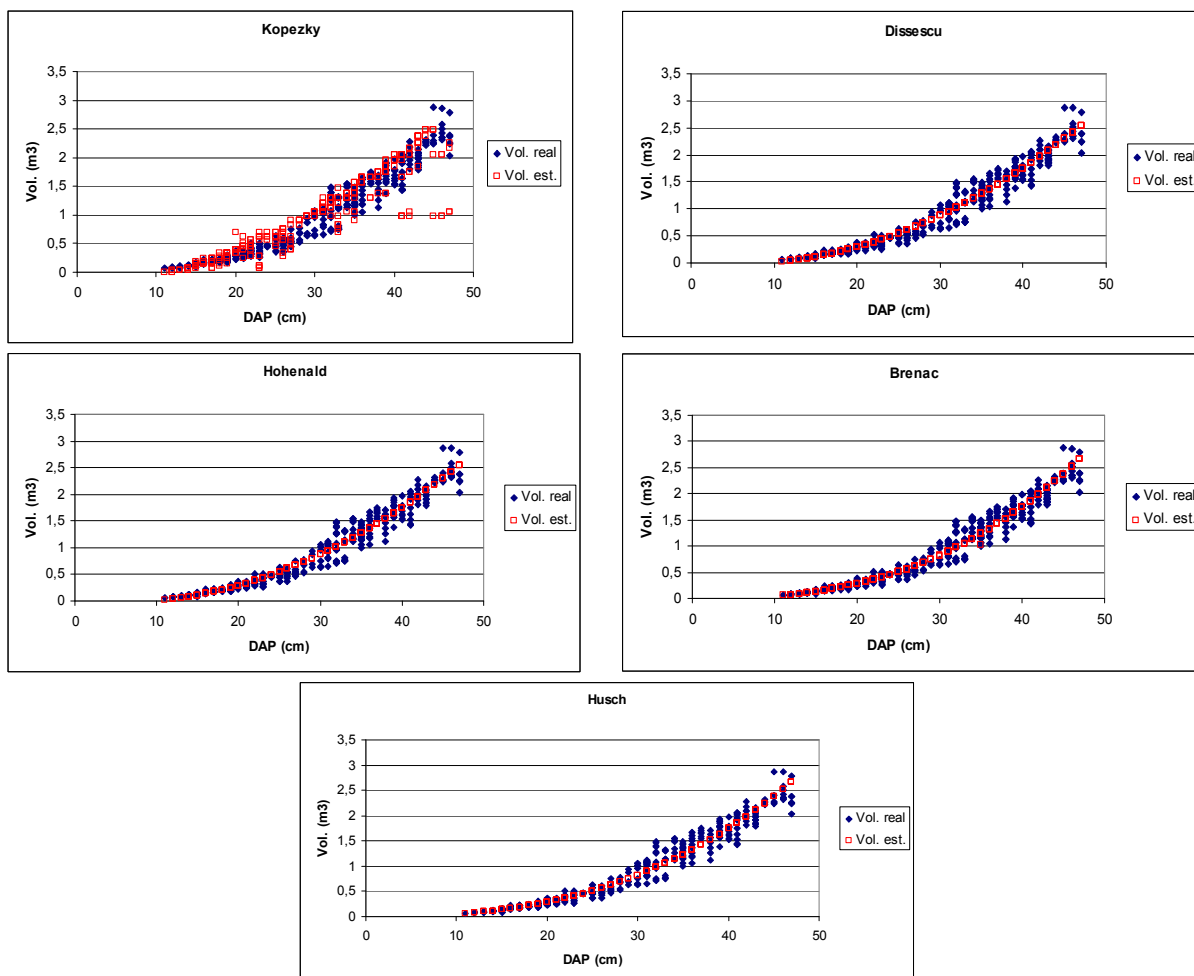


Figura 5 – Volumes reais e estimados para as equações de simples entrada (DAP).

O modelo de Brenac, muito utilizado no meio florestal, apresentou o coeficiente de determinação de 97,31%, erro padrão da estimativa de 16,55% e menor tendenciosidade nos volumes inferiores mostrado pela análise gráfica de resíduo, configurando-se como melhor modelo de simples entrada (DAP) entre todos os testados.

4.2 EQUAÇÃO DE DUPLA ENTRADA

Na Tabela 8 estão apresentados os coeficientes de regressão estimados para os cinco modelos de volume tradicionais de dupla entrada (DAP e HT), com suas respectivas análises estatísticas $R^2_{aj.(\%)}$ e $Syx(\%)$.

Os valores dos R^2 ajustados mostraram que as variáveis independentes DAP e HT explicaram de maneira muito satisfatória as variações da variável dependente para todos os modelos testados, conforme Tabela 8.

As equações de volume de dupla entrada testadas, apresentaram valores de coeficiente de determinação ajustado variando de 97,80% (modelo de Meyer) a 98,86% (modelos de Spurr e Schumacher & Hall) e erro padrão da estimativa variando de 11,00% (modelo de Näslund) a 11,05% (modelo de Schumacher & Hall).

Tabela 8 – Coeficientes de regressão estimados para os modelos de volume de dupla entrada e suas respectivas análises estatísticas.

Meyer = $(V = \beta_0 + \beta_1 DAP + \beta_2 DAP^2 + \beta_3 DAP H_t + \beta_4 DAP^2 H_t + \beta_5 H_t + \epsilon_i)$								
β_0	β_1	β_2	β_3	β_4	β_5	R ² aj (%)	Syx (%)	Syx (m ³)
0,1259	-0,01343	0,000304	0,000752	0,00002	-0,005	97,80	11,03	0,1078
Naslund = $(V = \beta_0 + \beta_1 DAP^2 + \beta_2 DAP^2 H_t + \beta_3 DAP H_t^2 + \beta_4 H_t^2 + \epsilon_i)$								
β_0	β_1	β_2	β_3	β_4		R ² aj (%)	Syx (%)	Syx (m ³)
-0,023	0,000174	0,000026	0,000005	0,000057		97,81	11,00	0,1075
Stoate (1945) (Australiana) = $(V = \beta_0 + \beta_1 DAP^2 + \beta_2 DAP^2 H_t + \beta_3 H_t + \epsilon_i)$								
β_0	β_1	β_2	β_3			R ² aj (%)	Syx (%)	Syx (m ³)
-0,085	0,0000879	0,0000317	0,006527			97,81	11,01	0,1076
Spurr (logarítmica) = $(\ln(V) = \beta_0 + \beta_1 \ln(DAP^2 H_t) + \epsilon_i)$								
β_0	β_1					R ² aj (%)	Syx (%)	Syx (m ³)
-9,741	0,95687					98,86	11,01	0,1075
Schumacher e Hall (1933) = $(\ln(V) = \beta_0 + \beta_1 \ln(DAP) + \beta_2 \ln(H_t) + \epsilon_i)$								
β_0	β_1	β_2				R ² aj (%)	Syx (%)	Syx (m ³)
-9,745	1,90679	0,96575				98,86	11,05	0,1080

Para seleção do melhor modelo fez-se necessária também à análise gráfica dos resíduos, que é de grande importância para analisar se há comportamento tendencioso de subestimativa ou superestimativa ao longo da linha de regressão de um determinado modelo matemático, juntamente com as análises dos resultados do R² e do Syx%.

Observa-se que nos gráficos de resíduos dos modelos de dupla entrada (Figura 6), embora o erro da estimativa do volume de um único indivíduo seja grande (superior a 40%), não houve tendência observada de superestimativa ou de subestimativa. Este fato garante o bom uso das equações nas parcelas do inventário florestal. Em essência, utilizam-se as equações para obter o volume contido na parcela, de forma que este seja o mais próximo do verdadeiro. Estas equações

propiciam atingir este ponto crucial do controle da informação para os mais diversos fins.

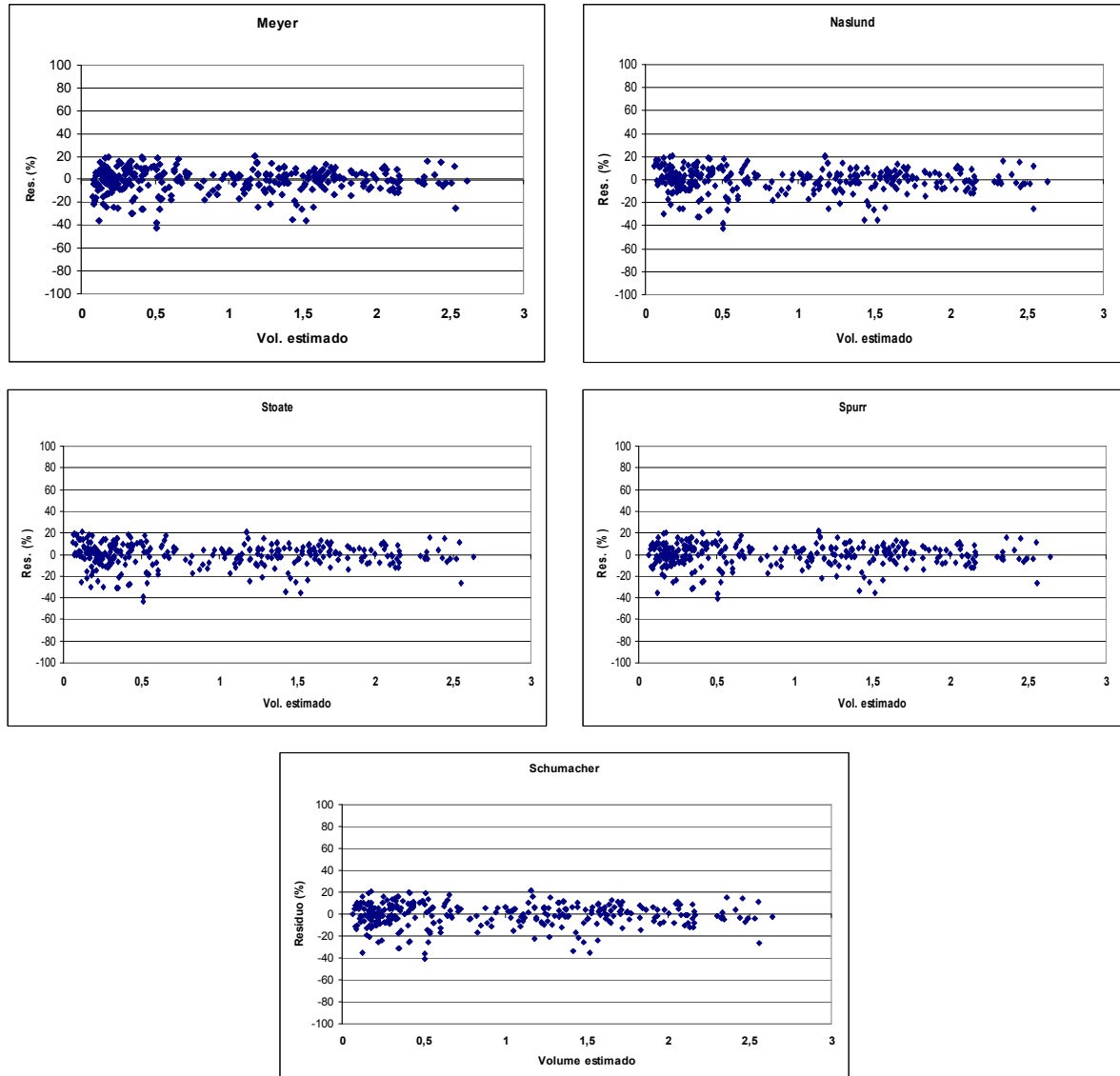


Figura 6 – Gráfico da distribuição de resíduos de modelos volumétricos de dupla entrada.

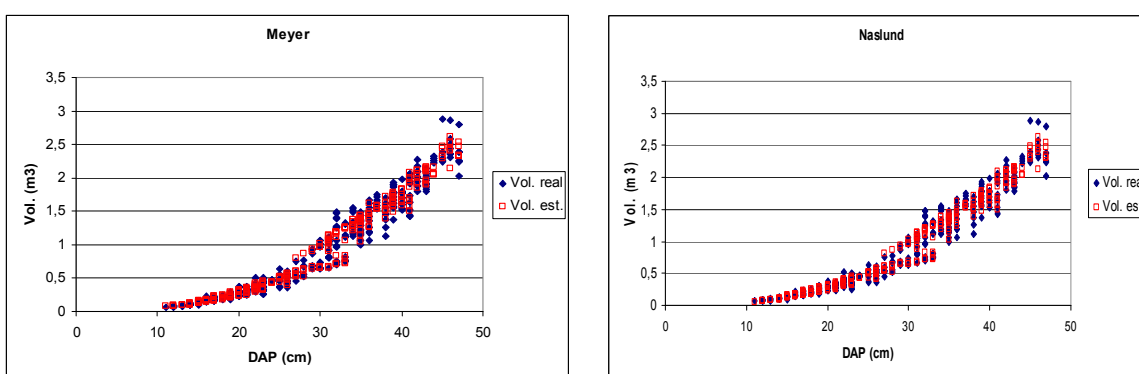
Os modelos de simples entrada (Tabela 7), se comparados com os modelos de dupla entrada (Tabela 8), apresentaram resultados inferiores. As estatísticas dos modelos de dupla entrada são superiores àquelas obtidas para as equações de simples entrada. Quando comparadas as estatísticas das Tabelas 7 e 8, nota-se que houve um acréscimo no coeficiente de determinação (R^2) de 3,53%, e 5,59% de redução no erro padrão da estimativa.

Os valores dos coeficientes de determinação encontrados para os modelos de Schumacher-Hall e de Spurr, em suas formas logarítmicas ($R^2 > 98\%$), foram coerentes aos encontrados por Thomas (2006) que, ao ajustar estas mesmas equações para florestas de *Pinus taeda* L. em Ponte Alta do Norte, Santa Catarina, encontrou valores de R^2 próximos a 99% para a variável volume total com casca.

Freire *et al.* ajustaram equações de volume de dupla entrada para *Pinus pinaster* Aiton na serra da Lousã – Portugal e encontraram valores de R^2 superiores a 96%.

Ao analisar a Figura 7, observa-se que em todos os modelos de dupla entrada, houve sobreposição dos volumes reais com os volumes estimados, indicando que as equações ajustadas estimaram bem em toda amplitude de variação da base de dados.

Na Figura 7 observa-se uma tendência clara do comportamento de correlação do Volume (m^3) e DAP, indicando que a variável DAP é muito importante nos modelos de equação volumétrica, e que, quanto maior o DAP, maior será o volume ou vice-versa. Sendo assim, para a estimativa da variável volume pode ser utilizado modelo de equações que utilizam as variáveis DAP e HT simultaneamente, diminuindo assim o erro padrão da estimativa e aumentando o coeficiente de determinação.



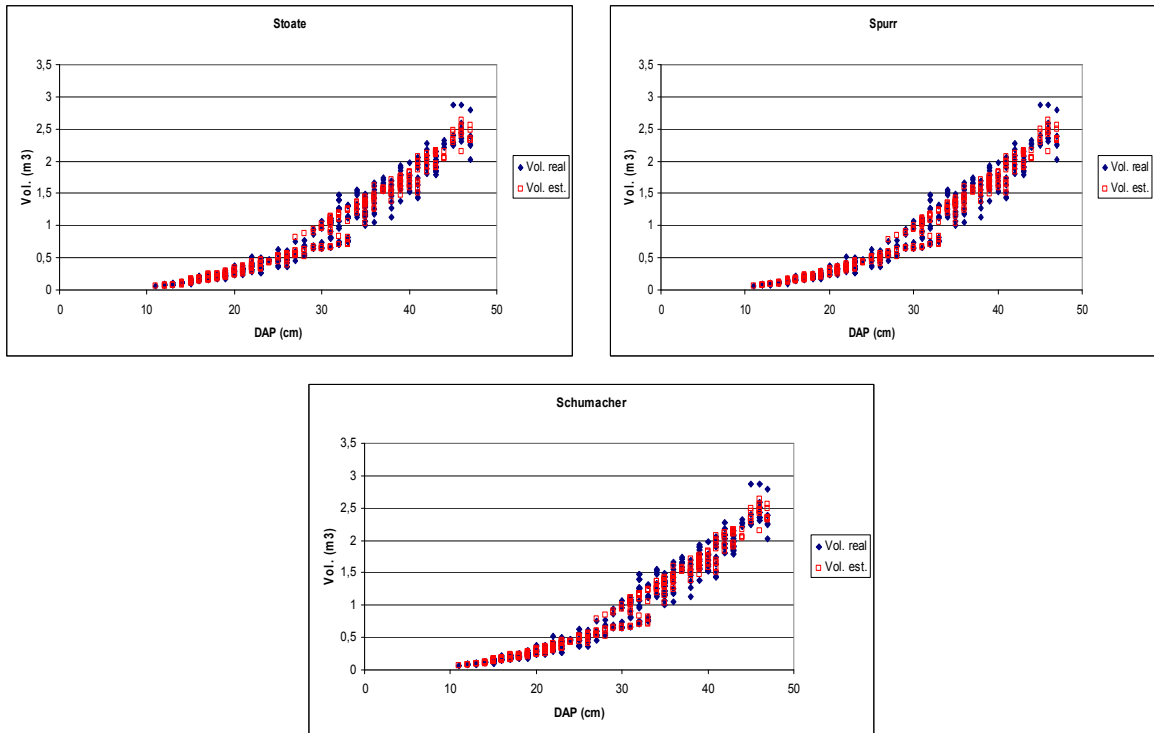


Figura 7 – Volumes reais e estimados para as equações de dupla entrada.

5 CONCLUSÕES

A análise do coeficiente de determinação (R^2 aj.), erro padrão da estimativa (Syx%), juntamente com a observação gráfica dos resíduos para as equações de volume de simples entrada (DAP), permite concluir que para o conjunto de dados utilizados, os modelos não apresentaram bom desempenho para as estimativas de volume.

Para os modelos de simples entrada, o modelo de Brenac foi o que propiciou melhor resultado para a estimativa de volume.

No geral, os modelos de dupla entrada apresentaram resultados bons e superiores aos modelos de simples entrada, podendo ser utilizados sem restrição, com ligeira vantagem para o modelo de Spurr (logarítmica).

Os modelos de simples entrada (DAP), se comparados com os modelos de dupla entrada (DAP e HT), apresentaram resultados inferiores, com menores coeficientes de determinação (R^2), maiores erros padrões da estimativa e análise gráfica de resíduos ruim, não sendo recomendado para o presente estudo.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CABACINHA, C.D. **Um método para a realização do inventário florestal suprimindo a cubagem rigorosa.** 2003. 116 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal de Lavras, Lavras.

CAMPOS, J.C.C.; LEITE, H.G. **Mensuração florestal.** Viçosa, MG: UFV, 2002. 407p.

CAMPOS, H. **Estatística experimental não-paramétrica.** 3. ed. Piracicaba: USP/ESALQ, 1979. 343p.

CAILLIEZ, F. **Forest volume estimation and yield prediction-volume estimation.** Roma, FAO, v.1, 98p. 1980. (FAO Forestry Paper, 22/1).

DAVIS, L.S.; JOHNSON, K.N. **Forest management.** 3.ed. New York: McGraw-Hill, 1987. 789p.

DRAPER, N.; SMITH, H. **Applied regression analysis.** New York: John Wiley e Sons, 407 p. 1966.

ESTADO DE SANTA CATARINA. Secretaria de Estado de Coordenação Geral e Planejamento. Subsecretaria de Estudos Geográficos e Estatísticos. **Atlas Escolar de Santa Catarina.** Rio de Janeiro: Aerofoto Cruzeiro, 1991.

FIGUEIREDO, E.O. **Avaliação de povoamentos de teca (*Tectona grandis* L.f.) na microrregião do Baixo Rio Acre.** Lavras: UFLA, 2005. 301 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Lavras, 2005.

FREESE, F. **Testing accuracy.** *Forest Science*, Washington, v.6(2):139-45, 1960.

FREIRE, J.; TOMÉ, M.; TAVARES, M. Equação de volume local de *Pinus pinaster* Aiton na Serra de Lousã. **ISA/UTL.** p. 207-215.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Mapa de vegetação do Brasil**. Rio de Janeiro: IBGE, 1993.

LOETSCH, F.; ZÖHRER, F.; HALLER, K. E. **Forest inventory**. Reinbek: Federal Research Organization for Forestry and Forest Products, Forest Inventory Section, 1973. 469p. v. 2.

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

MACHADO, S. A.; CONCEIÇÃO, M. B.; FIGUEIREDO, D. J. Modelagem do volume individual para diferentes idades e regimes de desbaste em plantações de *Pinus oocarpa*. **Ciências Exatas e Naturais**, Curitiba, v. 4, n. 2, p. 185- 196, 2002.

PARENT, D.R. **A stand volume equation for cruising small-diameter material**. **Journal of Forestry**, n.185, p.5-6. 2003.

PÉLLICO NETO, S. Estimativas volumétricas de árvores individuais – Síntese Teórica. In: Seminário sobre atualidades e perspectivas florestais: o uso de funções de forma de tronco em estudo de volumetria de espécies florestais, 5. Curitiba, **Anais...** Curitiba, EMBRAPA, p.15-27, 1982. (EMBRAPA. Documento, 9).

PRODAN, M.; PETERS, R.; COX,F.; REAL, P. **Mensura forestal**. Costa Rica: IICA, 586p. 1997. (Série investigação e educação em desenvolvimento sustentado).

SANQUETTA, C.R.; ARCE, J. E., MELLO, A. A., SILVA, E. Q., BARTH FILHO, N.; MATOSKI, S. L. S. Produção de madeiras livre de nós em povoamentos de *Pinus taeda* em função da densidade de plantio. **Revista Cerne**, Lavras. v.9, n.2, p. 23 – 38, 2003.

SCOLFORO, J.R.S. **Mensuração florestal 4**. Classificação de sítios florestais Lavras: ESAL/FAEPE, 1993. 138p.

SCOLFORO, J.R.S. ; MACHADO, S.A. **Curvas de índice de sítio, para plantações de *Pinus elliottii* nos Estados do Paraná e Santa Catarina.** Revista Floresta, Curitiba, v. 18, n. 112, p. 140-158, jun./dez. 1988a.

SCOLFORO, J.R.S.; MACHADO, S.A. **Curvas de índice de sítio para plantações de *Pinus taeda* nos Estados do Paraná e Santa Catarina.** Revista Floresta, Curitiba, v.18, n.1-2, p.159-173, 1988b.

SOKAL, R.N.; ROHLF, F.J. **Biometry.** San Francisco: Freeman, 1981. 859p.

THOMAS, C.; ANDRADE, C.M.; SCHNEIDER, P.R.; FINGER, C.A.G. Comparação de equações volumétricas ajustadas com dados de cubagem e análise de tronco. **Revista Ciência Florestal**, Santa Maria. v. 16. n.3, p. 319 – 327, 2006.

CAPÍTULO 4

FUNÇÕES DE AFILAMENTO PARA PLANTIOS DESBASTADOS DE *Pinus taeda* L.

RESUMO

O presente trabalho teve como objetivo avaliar a precisão de três funções de afilamento para estimar diâmetros e volumes ao longo do fuste de *Pinus taeda* L.. A base de dados foi composta por 320 árvores cubadas pelo método de Smalian. Os modelos testados foram de Schöepfer (1966), Hradetzky (1976) e o de Kozak (1969). As análises estatísticas dos modelos testados foram realizadas através da análise gráfica dos resíduos, coeficiente de determinação ajustado (R^2), erro padrão da estimativa (Syx%) e análise gráfica dos perfis médios. Concluiu-se que os modelos de Hradetzky (1976) e o de Schöepfer (1966) obtiveram resultados semelhantes e satisfatórios, com alto valor do coeficiente de determinação e baixo erro padrão da estimativa, tanto para estimar diâmetros quanto volume.

Palavras-chave: Perfil de tronco, sortimento, estimativa de diâmetros, estimativa de volumes.

ABSTRACT

The present research had as objective to evaluate the precision of three taper functions for estimating diameters and volumes along the stem of *Pinus taeda* L.. The database were compounded by 320 sample trees by the Smalian method. The tested models were Schöepfer's (1966), Hradetzky's (1976) and Kozak's (1969). The statistic analysis of the models were done by the graphic analysis of residuals, adjusted coefficient of determination (R^2), estimate standard error (Syx%) and graphic analysis of the medium profile. It was concluded that the Hradetzky (1976) and the Schöepfer (1966) models presented similar and satisfactory results for estimating diameters as well as volume.

Keywords: Stem profile, assortment, diameter estimate, volume estimate.

1 INTRODUÇÃO

Nas últimas duas décadas, com o avanço tecnológico, houve também uma grande evolução da Ciência Florestal brasileira, o que propiciou a revisão de uma série de conceitos no que concerne ao que fazer com o recurso florestal. No Brasil, a tecnologia de plantios florestais relativas aos gêneros *Pinus* e *Eucalyptus* é bastante desenvolvida, com a destinação da produção bem definida. Enquanto nas florestas nativas há ainda muito que se conhecer, sobre as espécies que a compõem, como crescem em comunidade ou em plantios homogêneos, qual o potencial para aproveitamento econômico ou ecológico, etc.

A dinâmica das florestas sofre mudanças rápidas devido a fatores que mudam constantemente no espaço e no tempo. Fatores inerentes ao solo, ao clima e à própria planta, influem acentuadamente na dinâmica, além das ações antrópicas (adubação, melhoramento genético, dentre outros).

O Manejo Florestal visa a utilização de forma racional e sustentada dos recursos florestais, de modo que as gerações futuras possam usufruir pelo menos dos mesmos benefícios da geração presente. O Manejo Florestal é uma prática em que o objetivo maior é aumentar a qualidade do produto final, sua dimensão e se possível a sua quantidade, observando em todas as fases a viabilidade sócio-econômica e ambiental do processo produtivo. Um segundo enfoque, considera o Manejo Florestal como um processo de tomada de decisão. Neste contexto, o profissional florestal necessita ter uma visão global de planejamento florestal, utilizando-se para tal, modelos matemáticos que possibilitem a previsão da produção, assim como o gerenciamento de toda esta gama de informações, por meio de planos de manejo, em que a otimização seja a tônica do processo. Naturalmente que, seja em florestas homogêneas, seja em florestas nativas, o manejador florestal deve balizar suas decisões em informações biológicas, econômicas, sociais e ambientais, de modo que a sustentabilidade desta prática, perpetue a atividade florestal no local onde o empreendimento estiver sendo executado.

Segundo Arce (2002), a estimativa do crescimento é uma etapa essencial no ordenamento florestal. Qualquer planejamento implica a predição do crescimento e da produção.

A necessidade de boas estimativas de volumes comerciais nos povoamentos florestais tem despertado o interesse pelo uso das funções de afilamento. Resultados mais elaborados de inventário têm sido obtidos, enriquecendo a tradicional informação de volume total e volume por unidade de área.

A precisão da avaliação quantitativa de estoques florestais é de fundamental importância no sentido de direcionar a matéria-prima para diferentes usos. A partir de informações provenientes de inventários florestais é possível definir um plano de manejo visando a produção de múltiplos produtos da floresta, ou seja, obter os volumes comerciais e ainda volumes de partes específicas do fuste.

Uma vez realizada a qualificação e quantificação dos produtos madeiráveis das árvores (volumes comerciais), evidencia-se a potencialidade dos povoamentos florestais para uma combinação de usos de material lenhoso, de suma importância no planejamento florestal.

O emprego destes modelos é uma consequência natural da evolução e importância do setor florestal no Brasil, onde o aprimoramento das técnicas de inventário, associado à necessidade de flexibilização da informação de estoques de madeira, despertaram um maior interesse na depuração das informações de inventário.

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

Nesse contexto, levando em consideração os dados de cubagem rigorosa, os objetivos desta pesquisa foram:

- Ajustar os modelos de Polinômio de 5º grau (Schöepfer), polinômio de potências fracionárias (Hradetzky) e o modelo de Kozak *et al.*; e indicar qual o modelo mais adequado para estimar os diâmetros ao longo do fuste (di).
- Verificar a precisão dos modelos selecionados na estimativa do diâmetro e volume ao longo do fuste.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 FUNÇÃO DE AFILAMENTO

A forma do fuste tem sido objeto de muitos estudos, devido à importância na quantificação do volume. Estudos científicos e experiências de manejadores florestais demonstraram que cada espécie, nos seus diversos estádios de desenvolvimento, possui características de afilamento diferenciadas.

O uso das funções de afilamento é um instrumento importante para avaliação biológica e econômica de um maciço florestal, bem como, respostas às práticas de diferentes manejos executadas, já que permite estimar de maneira detalhada quanto renderá o povoamento florestal.

O seu uso em escala comercial, no entanto, está condicionado à existência de softwares que tornem rápido o processamento do inventário florestal, com o objetivo de estimar os múltiplos produtos da madeira. Outro elemento de grande importância está em conhecer como a função de afilamento estima a base, o meio e o topo da árvore, principalmente para diferentes condições de ajuste.

O primeiro trabalho para descrever o perfil do tronco foi feito por Hojer em 1903 e, após este, muitos outros modelos foram propostos. No Brasil, as funções de afilamento têm sido usadas desde 1970, e vários modelos foram utilizados para descrever o perfil do tronco.

Atualmente, muitos modelos e metodologias são utilizados para descrever o perfil da árvore e, dentre esses, destacam-se os modelos polinomiais, sigmoidais, os segmentados, os modelos definidos através de análise multivariada e as razões de volume. Dentre os métodos que se baseiam em aproximação numérica, predominam as funções splines cúbicas quadráticas.

Os diversos modelos matemáticos destinados a esse fim mostram uma grande variação quanto ao grau de complexidade dos ajustes e da aplicação da equação e também quanto à qualidade das informações geradas.

A obtenção dos múltiplos produtos pode ser viabilizada através das equações de afilamento que, por integração, resultam na estimativa do seu volume total, sendo este o caso dos polinômios segmentados e os não segmentados. Outra opção é fazer uso das razões de volume compatíveis com as funções de forma. O uso direto

das funções de afilamento permite ainda descrever o perfil do tronco ao longo da árvore.

Um problema ainda não equacionado em estudos sobre a forma da árvore diz respeito aos estratos em que se deve amostrar para proceder ao posterior ajuste das funções de afilamento ou razões de volume. Ainda não há estudos que indiquem se os ajustes têm que ser realizados por sítio ou por região, e qual o efeito deste ajuste na precisão das estimativas dos diferentes sortimentos.

Afilamento, forma, “taper” ou adelgaçamento é definido como a taxa de decréscimo em diâmetro que ocorre ao longo do tronco da árvore. A representação matemática desse fenômeno é possível através do uso de modelos que retratam o perfil do fuste. Pode-se assim estimar os diâmetros correspondentes a quaisquer alturas das árvores, assim como as alturas correspondentes as quaisquer diâmetros. Portanto, pode-se com equações de afilamento estimar os múltiplos produtos da madeira das árvores, bastando para tal definir os comprimentos desejados e os diâmetros mínimos a eles associados. Pode-se ainda fornecer, quantas toras de 2,40 m, por exemplo, serão obtidas da floresta, ou ainda o volume ou número de tábuas que se pode obter da floresta, dentre outras possibilidades.

Comparativamente às equações de volume, as funções de forma têm precisão equivalente, embora sejam muito mais interessantes, na medida em que se consegue estimar volume de qualquer porção da árvore. A maior restrição ao uso das funções de forma é a necessidade de *software* que possibilite sua implementação de forma fácil e acessível aos usuários.

Apesar das vantagens apresentadas pelas funções de forma em relação às tradicionais equações de volume, as primeiras podem acarretar uma série de erros quando utilizadas para estimativas por unidade de área, já que os ajustes são feitos para um pequeno número de árvores comparado ao número de árvores envolvido num inventário florestal, conforme afirmam Figueiredo Filho *et al.* (1996). Os citados autores apontam, como possíveis causas desses erros, vários fatores capazes de influenciar na forma das árvores como copa, idade, localização do indivíduo no povoamento, densidade, sítio, etc. No entanto, tais erros podem ser diminuídos quando se aumenta o espectro amostral, o que implica no aumento dos custos do processo.

As funções que descrevem a forma da árvore podem ser construídas para uma série absoluta contínua de forma ou para uma série relativa contínua de forma.

Nas séries relativas contínuas de forma, a função que descreve o perfil da árvore é desenvolvida para uma série relativa de diâmetros correspondente a uma série relativa de alturas. Esta é a maneira mais interessante de se estimar volumes totais ou parciais de árvores, uma vez que considera a hipótese de que árvores com dimensões diferentes podem ter formas semelhantes. Assim, nesse processo todas as árvores são comparáveis independentemente de seus tamanhos e idade.

Volumes por unidade de área são alcançados por equações de povoamento e, para estimar os múltiplos produtos da madeira, devem-se utilizar as funções de afilamento (CAMPOS & LEITE, 2002).

Hradetzky (1976) citado por Fisher (1997), afirma que a equação de uso mais corrente para descrever os perfis de árvores é a função polinomial. O polinômio de quinto grau possui uma boa acuracidade em geral para descrever a forma dos fustes, excetuando-se a forma das porções inferiores de certas espécies, conforme constatado por Schöepfer (1966). Essa deficiência foi atribuída ao fato de haver mais irregularidades e sinuosidades nesta parte do tronco do que nas porções superiores. Na tentativa de eliminá-las foi sugerida a utilização de potências fracionárias em conjunto com potências inteiras, gerando equações cujos estimadores de ajuste e precisão foram bastante superiores aos obtidos por modelos que empregam apenas expoentes inteiros.

Fisher (1997) estudou a eficiência dos modelos polinomiais e das razões de volume na estimativa volumétrica dos sortimentos e do perfil dos fustes de *Pinus taeda* L. e recomendou a utilização do modelo polinomial de potências fracionárias, com ajuste por sítio e por classe diamétrica para descrever o perfil do tronco.

Rios (1997), comparando a eficiência dos modelos polinomiais, de razões de volume e da função spline cúbica para a estimativa de volumes comerciais com casca por classe diamétrica, até três diâmetros mínimos pré-estabelecidos para *Pinus elliottii*, concluiu que os modelos polinomiais proporcionaram estimativas mais acuradas na descrição dos perfis das árvores, destacando-se o polinômio de quinto grau, seguidos das razões de volume e spline cúbica respectivamente, sugerindo que as equações de afilamento sejam ajustadas por classe diamétrica, para uma estimativa mais acurada.

Assis (2002) avaliou a acurácia dos modelos polinomiais não segmentados pelas mesmas estatísticas utilizadas por Figueiredo Filho *et al.* (1993), entre outros autores. Os modelos testados foram: Polinômio de Quinto Grau, Polinômio de

Hradetzky (1976) e o polinômio de Golding e Hall (1961) em árvores de *Pinus taeda* L., em diferentes ambientes de produção, constatando que o modelo de Hradetzky (1976) foi o melhor na estimativa dos diâmetros em todos ambientes de produção, e para a estimativa dos volumes o melhor modelo na maioria dos ambientes foi o modelo de Quinto Grau.

As variações na forma de um fuste são decorrentes do tamanho da copa, hereditariedade, espaçamento, tratos culturais, posição sociológica, idade, sítio, e poda. De maneira geral, as árvores não apresentam uma forma homogênea, mas assumem diversas formas geométricas (FISCHER, 1997).

Do ponto de vista geométrico, a forma da árvore não se identifica com um único sólido geométrico específico, mas com vários, considerados uma seqüência como sendo: cilindro, tronco de neilóide, tronco de parabolóide e cone, no sentido base-topo, sendo que os limites entre estes diferentes sólidos geométricos ao longo da árvore são de difícil determinação (LOETSCH, ZOHER, HALLER, 1973).

Entre as alternativas existentes para representar a forma da árvore, a mais difundida é a equação de afilamento. Segundo Ahrens e Holbert (1981), uma função de afilamento ou “taper” é uma descrição matemática do perfil longitudinal de um tronco, o seu volume pode ser obtido por integração daquela função e assim, em termos geométricos, o tronco é tratado como um sólido de revolução. Uma vez definido um modelo matemático para forma, pode-se determinar o volume de madeira entre quaisquer pontos ao longo do tronco. Desta maneira, a natureza do algoritmo viabiliza a obtenção das estimativas de volumes necessárias à multiplicidade de usos da madeira.

Nas décadas de 70 e 80 foram desenvolvidos os modelos de afilamento baseados em razões de volume como os de Demaerschalk (1972); Cao, Burkhart e Max (1980), Clutter (1980), dentre outros.

Demaerchalk (1972) definiu que um sistema forma-volume é compatível quando o volume total obtido pela integração da função é idêntico àquele obtido pela equação de volume ou então quando volumes parciais de n seções obtidas pela equação de forma, somados, resultam no volume estimado pela equação de volume. Ainda segundo o mesmo autor, a vantagem principal de um sistema compatível é que o volume quantificado, quando somado, resulta em um valor idêntico ao volume normalmente analisado na amostragem. Uma terceira modalidade de modelos são os polinomiais segmentados como descrito por Max *et. al.* (1976).

Hradetzky (1976) utilizou com sucesso polinômios com potência fracionária. Este modelo, quando comparado a outros polinômios, tem a característica de testar várias potências, onde consegue representar melhor, principalmente as partes inferiores das árvores, região de maior irregularidade. O procedimento de seleção das potências fracionárias pode ser feito pelo método *Stepwise*, *Backward* ou *Forward*, que consiste em eliminar as potências que não atingem o grau de significância determinado para o teste.

2.2 CUBAGEM

A cubagem consiste na realização de mensurações sucessivas dos diâmetros ao longo do fuste. A frequência dos dados de cubagem está diretamente relacionada com a variação em diâmetro e forma das árvores do povoamento. Para melhor atendimento dessa variação, as árvores devem abranger todas as classes de diâmetro à altura do peito (DAP), a partir de um diâmetro mínimo especificado, considerando intervalos de classe diamétrica (CAMPOS & LEITE, 2002).

As árvores podem ser mensuradas por meio de dois métodos de cubagem rigorosa: absoluto e relativo (CABACINHA, 2003). Fazem parte do método absoluto de cubagem as fórmulas de Smalian, Huber, Newton e Hossfeld. Estes métodos não apresentam vínculo com o comprimento do fuste. Nos métodos relativos, as posições de mensuração são tomadas de maneira a representar um percentual do comprimento total da árvore, possibilitando a confrontação e comparação dos volumes individuais de árvores de portes distintos, porém com a mesma forma (FIGUEIREDO, 2005).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 EQUAÇÕES DE AFILAMENTO

3.1.1 POLINÔMIO DE QUINTO GRAU – SCHÖEPFER (1966)

O polinômio de quinto grau foi ajustado por classe diamétrica e tem a forma:

$$\frac{d_i}{DAP} = \beta_0 + \beta_1 \left(\frac{h_i}{H} \right) + \beta_2 \left(\frac{h_i}{H} \right)^2 + \beta_3 \left(\frac{h_i}{H} \right)^3 + \beta_4 \left(\frac{h_i}{H} \right)^4 + \beta_5 \left(\frac{h_i}{H} \right)^5 + e_i$$

Onde:

d_i = diâmetro estimado;

h_i = altura qualquer;

β_i = parâmetros a serem estimados;

DAP = Diâmetro à altura do peito;

H = Altura total;

e_i = erro de estimativa.

Isolando d_i , obtém-se a função de afilamento que através da qual se pode estimar o diâmetro correspondente a qualquer altura na árvore, desde que fornecido o DAP e a altura total.

$$d_i = DAP \left[\beta_0 + \beta_1 \left(\frac{h_i}{H} \right) + \beta_2 \left(\frac{h_i}{H} \right)^2 + \beta_3 \left(\frac{h_i}{H} \right)^3 + \beta_4 \left(\frac{h_i}{H} \right)^4 + \beta_5 \left(\frac{h_i}{H} \right)^5 \right]$$

O volume de cada árvore foi obtido pela integral do Polinômio de quinto grau – Schöepfer (1966):

$$v = k \cdot DAP^2 \left[\begin{aligned} & b_0^2 x_1 + (b_0 b_1 x_1^2) + \left(\frac{2}{3} b_0 b_2 + \frac{1}{3} b_1^2 \right) x_1^3 + \left(\frac{1}{2} b_0 b_3 + \frac{1}{2} b_1 b_2 \right) x_1^4 \\ & + \left(\frac{2}{5} b_0 b_4 + \frac{2}{5} b_1 b_3 + \frac{1}{5} b_2^2 \right) x_1^5 + \left(\frac{1}{3} b_0 b_5 + \frac{1}{3} b_1 b_4 + \frac{1}{3} b_2 b_3 \right) x_1^6 + \\ & \frac{2}{7} b_1 b_5 + \frac{2}{7} b_2 b_4 + \frac{1}{7} b_3^2 \right) x_1^7 + \left(\frac{1}{4} b_2 b_5 + \frac{1}{4} b_3 b_4 \right) x_1^8 + \left(\frac{2}{9} b_3 b_5 + \frac{1}{9} b_4^2 \right) x_1^9 + \\ & \frac{1}{5} b_4 b_5 x_1^{10} + \frac{1}{11} b_5^2 x_1^{11} \end{aligned} \right]_{h1}^{h2}$$

Onde:

$$k = \pi/40000$$

$x_1 = (h_i/H)$ onde: h_i = altura qualquer; H = Altura total;

DAP , β_i e e_i = definidos anteriormente.

3.1.2 POLINÔMIO DE POTÊNCIA FRACIONÁRIA – HRADETZKY (1976)

Este modelo se diferencia do polinômio do quinto grau por apresentar um *mix* de potências inteiras e fracionárias, como tentativa de melhor representar o perfil da árvore. Hradetzky (1976) sugeriu a utilização de potências inteiras da ordem de dezenas para representar a base de árvore, em conjunto com potências fracionárias para representar a porção superior do fuste. Estes modelos foram construídos por classe diamétrica, utilizando o procedimento “Stepwise”.

Os expoentes utilizados na construção dos modelos por classe de diâmetro por meio do procedimento de “Stepwise” foram: 0,00001; 0,00005; 0,0001; 0,0002; 0,0004; 0,0006; 0,0007; 0,0008; 0,0009; 0,005; 0,09; 0,08; 0,07; 0,06; 0,05; 0,04; 0,03; 0,02; 0,01; 0,9; 0,8; 0,7; 0,6; 0,5; 0,4; 0,3; 0,2; 0,1; 1; 2; 3; 4; 5; 10; 15; 20; 25; 30; 35; 40; 45; 50; 55; 60; 65; 70; 75; 85; 90 e 95.

De uma forma geral, os polinômios a serem construídos são:

$$\frac{d_i}{DAP} = \beta_0 + \beta_1 \left(\frac{h_i}{H} \right)^{p_1} + \beta_2 \left(\frac{h_i}{H} \right)^{p_2} + \dots + \beta_n \left(\frac{h_i}{H} \right)^{p_n} + e_i$$

Onde:

d_i , D , h_i , H , β_i , e e_i = definidos anteriormente;

p_i = expoentes variando entre 0,00001 e 95.

Isolando di obtém-se a função de afilamento :

$$d_i = DAP \left[\beta_0 + \beta_1 \left(\frac{h_i}{H} \right)^{p_1} + \beta_2 \left(\frac{h_i}{H} \right)^{p_2} + \dots + \beta_n \left(\frac{h_i}{H} \right)^{p_n} \right]$$

O volume de cada árvore foi obtido pela integral do Polinômio de Potência fracionária – Hradetzky (1976).

A integral do modelo assume a forma:

$$v = k.DAP^2 \left[\begin{array}{l} b_0^2 x_1 + 2b_0 b_1 \left(\frac{x_1^{1,005}}{1,005}\right) + (2b_0 b_2 \left(\frac{x_1^{1,08}}{1,08}\right) + b_1^2 \left(\frac{x_1^{1,01}}{1,01}\right) + 2b_0 b_3 \left(\frac{x_1^3}{3}\right) + \\ + (2b_1 b_2 \left(\frac{x_1^{1,805}}{1,805}\right) + 2b_0 b_4 \frac{x_1^{26}}{26} + 2b_1 b_3 \left(\frac{x_1^{3,005}}{3,005}\right) + b_2^2 \frac{x_1^{2,6}}{2,6} + 2b_1 b_4 \left(\frac{x_1^{26,005}}{26,005}\right) + \\ 2b_2 b_3 \left(\frac{x_1^{13,8}}{3,8}\right) + 2b_2 b_4 \left(\frac{x_1^{26,8}}{26,8}\right) + b_3^2 \left(\frac{x_1^5}{5}\right) + 2b_3 b_4 \left(\frac{x_1^{28}}{28}\right) + b_4^2 \left(\frac{x_1^{51}}{51}\right) \end{array} \right]_{h_1}^{h_2}$$

3.1.3 POLINÔMIO DE SEGUNDO GRAU OU MODELO DE KOZAK *et al.*, 1969

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

Onde:

d_i = diâmetro estimado;

h_i = altura qualquer;

β_i = parâmetros a serem estimados;

DAP = Diâmetro à altura do peito;

H = Altura total;

e_i = erro de estimativa.

O volume de cada árvore foi obtido pela integral do modelo de Kozak (1969).

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

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 AJUSTES DOS MODELOS

Após o ajuste dos três modelos de afilamento para estimativa do diâmetro, foram realizadas as análises estatísticas de coeficiente de determinação ajustado (R^2) e erro padrão da estimativa (Syx%), que estão apresentados na Tabela 9.

Tabela 9 – Coeficiente de regressão, coeficiente de determinação e erro padrão da estimativa de cada modelo de afilamento para estimativa do diâmetro.

Schöpfer									
β_0	β_1	β_2	β_3	β_4	β_5	R^2 aj.(%)	Syx (%)	Syx (cm)	
1,19054	-3,98912	17,8176	-38,203	35,6996	-12,51	97,29	8,10	1,81	
Hradetzky									
β_0	β_1 (1)	β_2 (4)	β_3 (5)	β_4 (95)	β_5 (0,009)	R^2 aj.(%)	Syx (%)	Syx (cm)	
1,24288	0,125188	-2,75867	2,04837	-0,1071	-11,73	98,23	7,92	1,77	
Kozak									
β_0	β_1	β_2				R^2 aj.(%)	Syx (%)	Syx (cm)	
1,1995	-1,78064	0,600837				88,85	11,59	2,59	

Os modelos testados apresentaram coeficiente de determinação ajustado (R^2) entre 88,85% (Kozak) e 98,23% (Hradetzky) e erro padrão da estimativa (Syx%) entre 7,92% (Hradetzky) e 11,59% (Kozak). Para o conjunto de dados, somente os modelos de Schöpfer e Hradetzky apresentaram bom desempenho, enquanto o modelo de Kozak obteve menor coeficiente de determinação ajustado e maior erro padrão da estimativa, não sendo recomendado o seu uso para estimativa de diâmetro ao longo do fuste de *Pinus taeda* L..

Também foi realizada a análise gráfica dos resíduos (Figura 8), pois nem sempre o modelo com maior coeficiente de determinação e menor erro padrão da estimativa deixa de apresentar tendenciosidade ao longo da linha média da regressão, que nesse caso é representado pelo diâmetro estimado (di).

Como se pode observar na Figura 8, todos os modelos apresentaram alguma tendenciosidade ao longo da linha média e os maiores erros ocorreram na porção inferior do fuste.

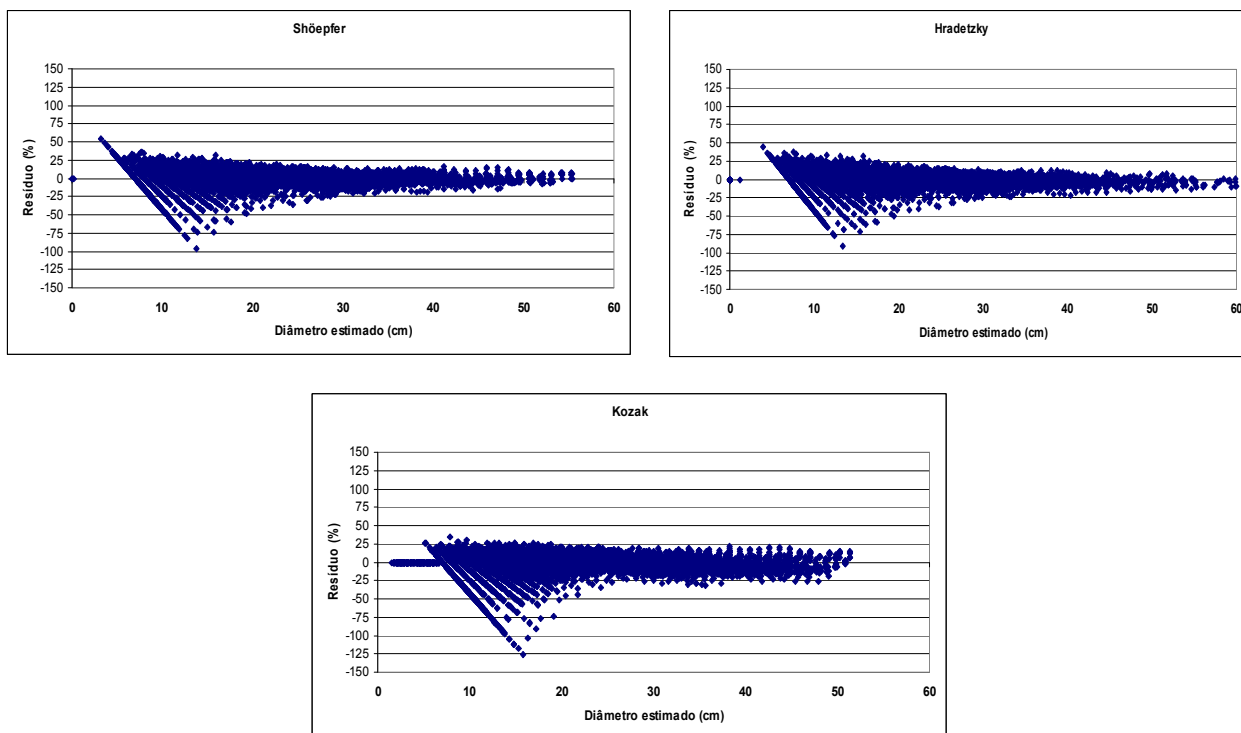


Figura 8 –Distribuição dos resíduos (%) em função do diâmetro estimado (cm) para os três modelos de afilamento.

O modelo de potências fracionárias de Hradetzky, foi o que melhor estimou o diâmetro ao longo do fuste, apresentando maior coeficiente de determinação (98,23%), menor erro padrão da estimativa (7,92%), e menor tendenciosidade na análise gráfica dos resíduos.

O modelo de Kozak *et al.* (1969) foi o que apresentou pior desempenho, com menor coeficiente de determinação (88,85%), maior erro padrão da estimativa (11,59%) e subestimando muito os diâmetros ao longo do fuste.

Os resultados das análises estatísticas indicam que os modelos de Schöepfer e Hradetzky apresentaram os melhores ajustes, mas com alguma tendenciosidade nos menores diâmetros. Já o ajuste do modelo de Kozak *et al.* (1969) foi relativamente inferior.

4.2 PERFIL MÉDIO DOS FUSTES

A Figura 9 apresenta o perfil médio dos fustes estimados pelos três modelos de afilamento testados para *Pinus taeda* L. com casca.

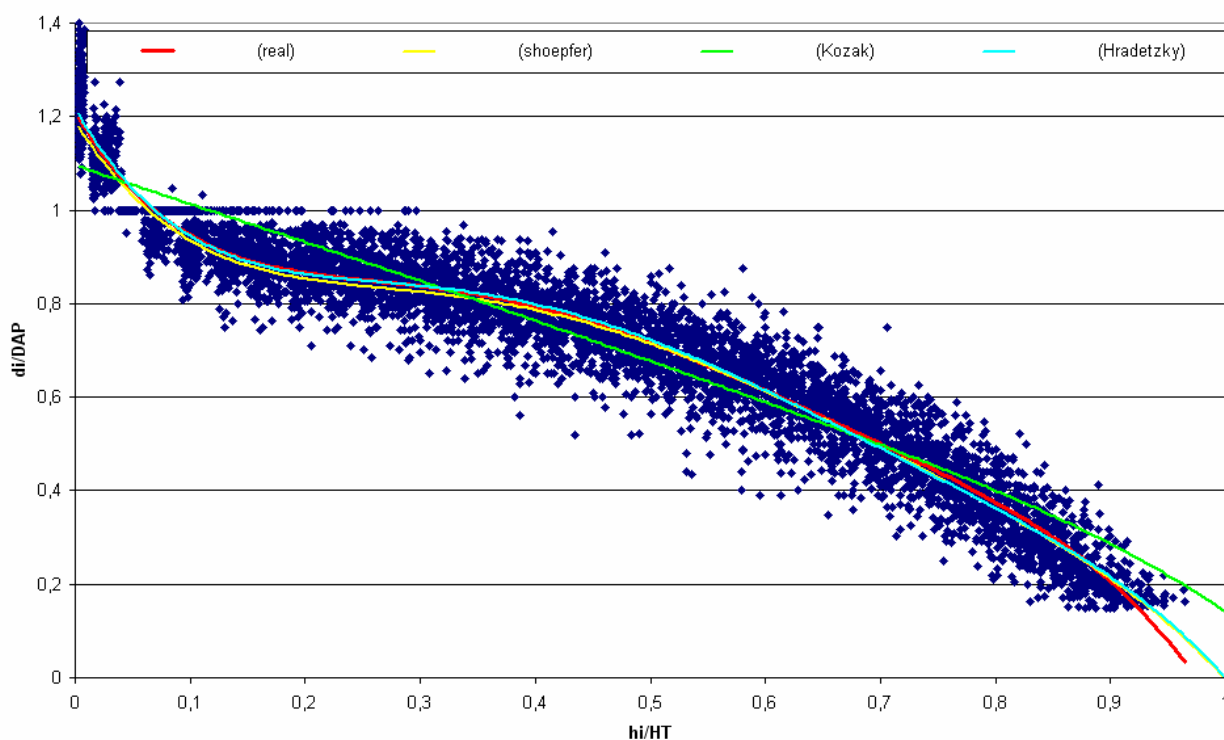


Figura 9 – Perfil médio dos fustes estimados pelos modelos de Schöepfer (1966), Kozak *et al.* (1969) e Hradetzky (1979) para *Pinus taeda* L..

Pela análise gráfica do perfil do fuste, pode-se confirmar a superioridade do modelo polinomial de Hradetzky, pois este não apresentou tendenciosidade na descrição do perfil dos fustes estimados.

Conforme a Figura 9, o polinômio de quinto grau apresentou pequena subestimativa nos menores diâmetros. Na posição de 0,5 a 0,8 representou bem o perfil do fuste, e de 0,8 em diante novamente teve pequena subestimativa.

Já o polinômio de Kozak, apresentou maior tendenciosidade, superestimando ou subestimando o diâmetro, confirmando o resultado das análises estatísticas e análise gráfica dos resíduos, mostrando-se inadequado para estimar diâmetros a diferentes alturas em povoamento de *Pinus taeda* L..

4.3 AVALIAÇÃO DOS MODELOS POLINOMIAIS PARA ESTIMATIVA DOS VOLUMES

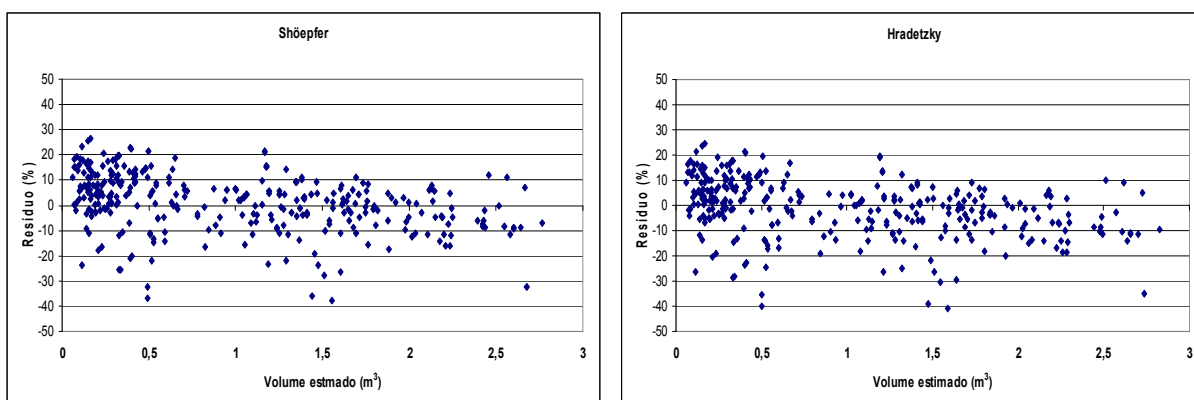
Na Tabela 10 são mostrados o erro padrão da estimativa em porcentagem (Syx%) para a estimativa do volume. Esses erros foram calculados a partir da amostra das árvores que foram cubadas pelo método de Smalian. Os resultados mostraram valores consideráveis para o modelo de Schöpfer (11,80%), Hradetzky (12,85%), e de Kozak *et al.* (14,88%), sendo que este último não apresentou uma boa precisão em relação aos outros dois modelos testados.

Tabela 10 – Coeficiente de determinação e erro padrão da estimativa de cada modelo de afilamento para volume estimado.

Autor	R ² aj.(%)	Syx (%)	Syx (m ³)
Schöpfer	97,29	11,80	0,11534
Hradetzky	98,23	12,85	0,12559
Kozak	88,85	14,25	0,13929

Na Figura 10, é apresentado a análise gráfica dos resíduos (%) em função do volume estimado (m³). Pode-se observar alguma tendenciosidade na estimativa do volume (m³).

Nota-se que todos os modelos apresentaram tendenciosidade quanto a estimativa do volume. Novamente, o modelo polinomial de potência fracionária de Hradetzky apresentou o melhor desempenho.



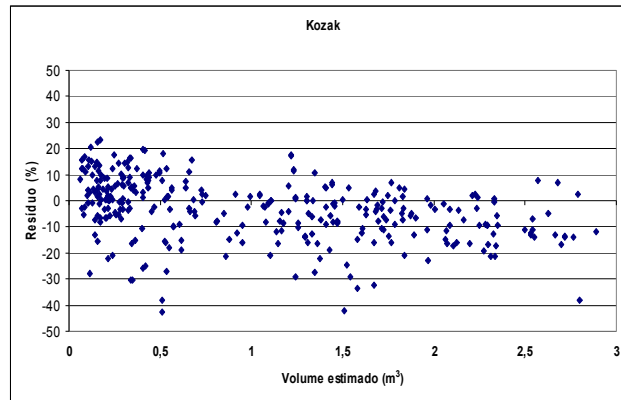


Figura 10 - Distribuição gráfica dos resíduos (%) para os três modelos testados.

Na Figura 11, também se pode observar ligeira vantagem dos modelos polinomiais de quinto grau e de potências fracionárias, pois estes modelos são flexíveis o suficiente para descrever a variação da forma da árvore. Novamente o modelo de Kozak *et al.* (1969) apresentou as piores estimativas, com tendência de subestimativa.

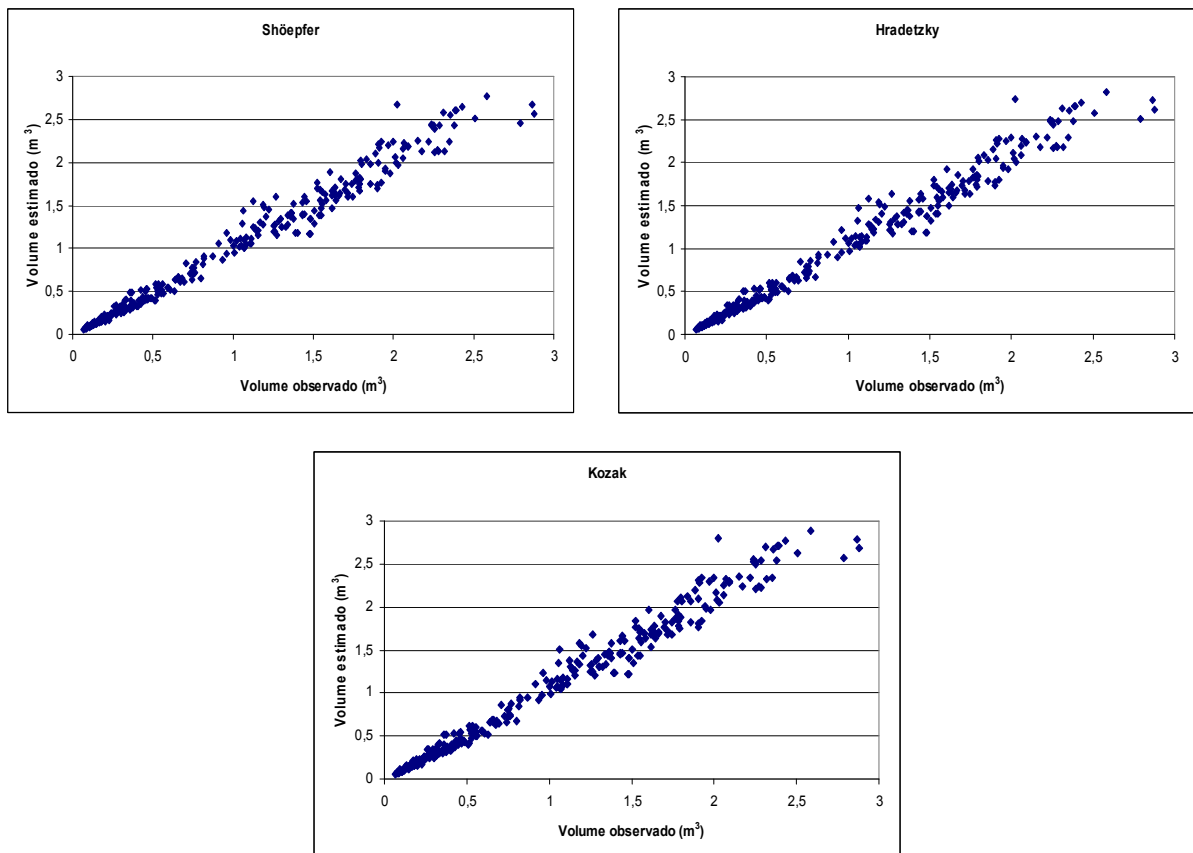


Figura 11 – Volume estimado (m^3) (eixo y) pelas equações de afilamento de Schöepfer, Hradetzky e Kozak sobre correspondentes valores observados (m^3) (eixo x).

5 CONCLUSÕES

As equações polinomiais de Schöepfer e Hradetzky propiciam estimativas precisas do diâmetro e volume, com coeficiente de determinação, erro padrão da estimativa e análise gráfica de resíduos muito próximos.

O modelo de Kozak *et al.* apresentou as piores estatísticas e teve o pior desempenho para estimar o diâmetro e volume para o conjunto de dados, não sendo então priorizado o seu uso para as condições do povoamento de *Pinus taeda* L. pesquisadas.

Os modelos de Schöepfer e Hradetzky apresentaram melhor precisão por serem mais flexíveis para estimar a variação da forma do fuste de uma árvore.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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

ARCE, J. E. **Manejo Florestal**. APOSTILA de Manejo Florestal do curso de Ciências Florestais. Curitiba: UFPR, 2002.

ASSIS, A.L.; SCOLFORO, J.R.S.; MELLO, J.M. & OLIVEIRA, A.D. **Avaliação de modelos polinomiais não segmentados na estimativa de diâmetros e volumes comerciais de *Pinus taeda***. Revista Ciência Florestal, Santa Maria, v.12, n. 1, p.89-108, 2002.

CABACINHA, C.D. **Um método para a realização do inventário florestal suprimindo a cubagem rigorosa**. 2003. 116 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal de Lavras, Lavras.

CAMPOS, H. **Estatística experimental não-paramétrica**. 3. ed. Piracicaba: USP/ESALQ, 1979. 343p.

CAMPOS, J.C.C.; LEITE, H.G. **Mensuração florestal**. Viçosa, MG: UFV, 2002. 407p.

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

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

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

DRAPER, N.R., SMITH, H. 1966. **Applied regression analysis**. New York: John Wiley & Sons. 407p.

ESTADO DE SANTA CATARINA. Secretaria de Estado de Coordenação Geral e Planejamento. Subsecretaria de Estudos Geográficos e Estatísticos. **Atlas Escolar de Santa Catarina**. Rio de Janeiro: Aerofoto Cruzeiro, 1991.

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

FIGUEIREDO, E.O. **Avaliação de povoamentos de teca (*Tectona grandis* L.f.) na microrregião do Baixo Rio Acre**. Lavras: UFLA, 2005. 301 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Lavras, 2005.

FIGUEIREDO FILHO, A.; BORDERS, B. E.; HITCH, K. L. **Taper equations for *Pinus taeda* plantations in southern Brazil**. Forest Ecology and Management, Amsterdam, v. 83, p. 36-46, 1996.

FISCHER, F. **Eficiência dos modelos polinomiais e das razões de volume na estimativa volumétrica dos sortimentos e do perfil do fuste de *Pinus taeda***. Lavras. 1997. 167 p. Dissertação, Mestrado. UFLA.

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

HRADETZKY, J. **Analysis und interpretation statistischer abhängerkeiten (Biometrische Beiträge zu aktuellen forschungsprojekten)**. Baden – Württemberg Mitteilungen der FVA, Heft 76, 1976. 146p. (Abt. Biometric und Informatik, 21).

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Mapa de vegetação do Brasil**. Rio de Janeiro: IBGE, 1993.

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

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

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

RIOS, M.S. **A eficiência das funções polinomiais, da função spline cúbica e razões de volume para representar o perfil da árvore e estimar os sortimentos de *Pinus elliottii***. UFLA, 1997. 116 p. Dissertação de mestrado.

SCHÖEPFER, W. **Automatisierung des massen, Sorten und Wertberechnung stenender Waldbestände Schriftenreihe** Bad. [S.1]: Wurt-Forstl., 1966.n.p.

SOKAL, R.N.; ROHLF, F.J. **Biometry**. San Francisco: Freeman, 1981. 859p.

CAPÍTULO 5

AVALIAÇÃO ECONÔMICA DE PLANTIOS DE *Pinus taeda* L. DESBASTADOS LOCALIZADOS NO CENTRO-SUL DE SANTA CATARINA

RESUMO

O presente trabalho teve como objetivo a realização da análise econômica de *Pinus taeda* L. desbastado adotando os seguintes critérios: valor presente líquido (VPL), benefício custo periódico equivalente (B(C)PE) e a taxa interna de retorno (TIR). A taxa de desconto utilizada foi de 8% ao ano; o preço de venda foi reduzido em até 30% e o custo foi aumentado de 0 a 30% em relação aos dados de pesquisa, visando analisar a sensibilidade econômica quanto à taxa mínima de atratividade (TMA). Todos os indicadores demonstraram viabilidade econômica de *Pinus taeda* L. submetida a seis desbastes em uma rotação de 26 anos. O plantio não será viável se houver diminuição das receitas superiores a 15% e aumento dos custos maior que 19,69%.

Palavras-chave: Análise econômica, economia florestal, desbaste.

ABSTRACT

The aim of this research was to do an economic analysis of the *Pinus taeda* L. thinned, adopting the following criteria: net present value (NPV) equivalent annual benefit cost (EABC) and internal return rate (IRR). The discount rate adopted was of 8% per year, and the selling price was reduced until 30% and the cost was increased from 0 to 30% in relation to the research data, for analyzing the economic sensibility to the minimum rate of attractivity (MRA). All of the indicators have demonstrated the economic viability of *Pinus taeda* L. submitted to six thinnings in a period of time of 26 years. The plantation will not be feasible if there is a decrease in the incomes higher than 15% and an increase in the costs higher than 19,69%.

Keywords: Economic analysis, forests economy, thinning.

1 INTRODUÇÃO

O principal objetivo de qualquer empreendimento é a maximização do lucro, e para isso há necessidade de pesquisas para aumentar a produtividade e diminuir custos. A tendência atual do setor florestal brasileiro é trabalhar principalmente na redução dos custos de investimentos, uma vez que a produtividade dos plantios tem alcançado resultados satisfatórios.

A avaliação econômica de plantio de pinus é baseada em seu fluxo de caixa, o que é definido como a relação dos custos com o plantio, manutenção, poda, desbaste, corte, carregamento e das receitas dos produtos gerados da floresta em determinado período, distribuídos ao longo da vida útil do empreendimento, apenas com um corte raso ou com opções de diversos desbastes durante o período da rotação, gerando receitas ao longo dos anos.

O uso dos critérios de análise econômica na área florestal tem grande importância para auxiliar no processo de decisão sobre qual o melhor projeto ou alternativa de manejo a ser adotado. Com essas análises pode-se determinar o espaçamento adequado, a quantidade de adubo a ser aplicado, a época e a intensidade de tratamentos silviculturais e a melhor espécie (LOPES, 1990).

O planejamento florestal é uma tarefa complexa. Exige informações confiáveis sobre a produção em determinada área, sobre preços dos produtos gerados nos talhões, época de desbaste e poda. Uma decisão racional deverá ter suporte na consideração simultânea destes fatores (DOSSA, 2000).

O mercado de toras de pinus é um dos fatores mais importantes a ser considerado para se atingir o conceito de uso múltiplo, uma vez que remunera bem um torete com diâmetros acima de 30 cm, sem nó e cilíndrico. Por outro lado, se o produto florestal apresentar uma baixa qualidade ou um fluxo irregular de matéria-prima, certamente ele terá um baixo valor no mercado.

Nesse contexto, o objetivo do presente trabalho foi realizar uma análise econômica de *Pinus taeda* L. desbastado adotando os seguintes critérios: Valor Presente Líquido (VPL), Benefício ou Custo Periódico Equivalente (B(C)PE) e a Taxa Interna de Retorno (TIR). A taxa de desconto utilizada foi de 8% ao ano, o preço de venda foi reduzido em até 30% e o custo aumentado de 0 a 30% em relação aos dados de pesquisa, para a análise de sensibilidade da viabilidade econômica.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 ANÁLISE ECONÔMICA

Segundo IPEF (2003), o setor florestal brasileiro contribui com cerca de 5% na formação do Produto Interno Bruto (PIB) Nacional e com 8% do total das exportações; são gerados mais de 7,2 milhões de empregos diretos e indiretos e uma receita anual de R\$ 20 bilhões com a venda de produtos industrializados e não industrializados e mais de R\$ 3 bilhões de impostos são recolhidos anualmente.

Empresas florestais adotam as teorias econômicas que constituem base para elaboração de previsões de receitas e custos de um determinado projeto. Através de técnicas e funções de estatísticas, as teorias podem ser utilizadas para construir modelos, a partir dos quais as previsões possam ser feitas (SILVA, 2005).

Para analisar a viabilidade econômica de plantio de pinus são usados os indicadores Valor Presente Líquido (VPL), Valor Esperado da Terra (VET), Benefício ou Custo Periódico Equivalente (B(C)PE), Taxa Interna de Retorno (TIR) e Relação Benefício Custo (B/C) (REZENDE e OLIVEIRA, 1991). Todos esses critérios levam em conta a variação do capital no tempo, pois a rotação de um plantio de pinus pode levar mais de 20 anos e cada critério aponta diferentes aspectos relacionados aos projetos.

O Valor Presente Líquido (VPL) é a fórmula matemática para determinar o valor presente de pagamentos futuros descontados a uma determinada taxa de juros, menos o custo do investimento inicial. É o cálculo de quanto os futuros pagamentos somados a um custo inicial estaria valendo atualmente (OLIVEIRA e MACEDO, 1996). Conforme Lima Júnior (1995), um projeto será economicamente viável se o seu VPL for positivo a uma determinada taxa de desconto, ou seja, o valor descontado das receitas futuras é superior ao valor do investimento. Quanto maior o VPL, mais economicamente atrativo será o projeto, em contrapartida, será economicamente inviável se o seu VPL for negativo.

De acordo com Ferreira (2001), o Benefício ou Custo Periódico Equivalente (B(C)PE) é a parcela periódica e constante necessária ao pagamento de uma quantia igual ao VPL da opção de investimento em análise, ao longo de sua vida útil. Conforme Silva (1992), o B(C)PE é de uso relevante para comparar projetos com

diferentes horizontes de planejamento, uma vez que os valores equivalentes obtidos, por período, corrigem, implicitamente, as diferenças de horizontes.

Segundo Mishan (1976), a Taxa Interna de Retorno (TIR), é a taxa de desconto que torna o valor presente dos benefícios exatamente igual ao valor presente dos custos. É a taxa de desconto na qual o VPL do fluxo de caixa é nulo. Ela representa o valor do retorno intrínseco do projeto e, portanto é independente das taxas de juros do mercado.

Um projeto é economicamente viável se a sua TIR for superior a uma taxa de juros correspondente à taxa de remuneração alternativa do capital, ou seja, a taxa mínima de atratividade (OLIVEIRA e MACEDO, 1996). De acordo com LIMA JÚNIOR (1995), os projetos só podem ser comparados diretamente pelo método da TIR se tiverem o mesmo investimento inicial; neste caso, quanto maior taxa interna de retorno, melhor é o projeto.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 CRITÉRIOS UTILIZADOS NA ANÁLISE ECONÔMICA

Para a análise econômica dos povoamentos de pinus da empresa Florestal Gateados foram empregados os seguintes critérios: Valor Presente Líquido (VPL), Benefício ou Custo Periódico Equivalente (B(C)PE) e Taxa Interna de Retorno (TIR). Estes métodos consideram a variação do capital no tempo.

O uso de diversos critérios econômicos pode fornecer informações específicas que um ou outro individualmente não indica. Assim, recomenda-se usar mais de um critério econômico em determinado projeto.

3.1.1 VALOR PRESENTE LÍQUIDO (VPL)

É a soma do valor presente das receitas menos a soma do valor presente dos custos (DAVIS e JOHNSON, 1987). A equação é expressa por:

$$VPL = \sum_{j=0}^n R_j(1+i)^{-j} - \sum_{j=0}^n C_j(1+i)^{-j}$$

Onde: i = taxa de juros;

C_j = custo no final do ano j ;

R_j = receita no final do ano j ; e,

n = duração do projeto em anos.

3.1.2 TAXA INTERNA DE RETORNO (TIR)

É a taxa de desconto que iguala o valor presente das receitas ao valor presente dos custos, ou seja, iguala o VPL a zero (REZENDE & OLIVEIRA, 2001). Também pode ser entendida como a taxa percentual do retorno do capital investido. A equação é expressa por:

$$\sum_{j=0}^n R_j(1+TIR)^{-j} = \sum_{j=0}^n C_j(1+TIR)^{-j}$$

Onde: C_j = custo no final do ano j ;

R_j = receita no final do ano j ; e,

n = duração do projeto em anos.

3.1.3 BENEFÍCIO (CUSTO) PERIÓDICO EQUIVALENTE (B(C)PE)

Rezende & Oliveira (2001) definiram o benefício periódico equivalente como sendo a parcela periódica e constante necessária ao pagamento de uma quantia igual ao valor presente líquido da opção de investimento em análise, ao longo de sua vida útil.

A maior importância da aplicação do B(C)PE está na seleção de projetos que apresentam horizontes de planejamento distintos, pois os valores equivalentes obtidos por período corrigem, implicitamente, as diferenças de horizonte. O B(C)PE pode ser obtido por meio da seguinte expressão:

$$B(C)PE = \frac{VPL[(1+i)^t - 1] * (1+i)^{nt}}{(1+i)^{nt} - 1}$$

Onde: VPL = valor presente líquido;

t = número de períodos de capitalização;

i = taxa de juros; e,

n = duração do projeto em anos.

3.1.4 SIMULAÇÃO DE ALTERNATIVAS TÉCNICAS E ECONÔMICAS

Para melhorar a alternativa da pesquisa proposta, foram simuladas alternativas econômicas para o plantio de pinus adotado pela empresa. Foi analisada uma variação de 0% a 30% a mais nos custos e uma variação de 0% a 30% a menos nas receitas. Para cada alternativa, foi feita uma avaliação econômica com base nos critérios econômicos utilizados neste trabalho.

3.2 ESTRUTURA DE CUSTOS

Todos os custos relativos ao plantio, tratos culturais, poda, desbaste e colheita florestal estão descritos na Tabela 11.

Tabela 11 – Discriminação do custo, ano de ocorrência e valor em R\$/ha para plantio e colheita de *Pinus taeda* L.

Discriminação	Unidade	Ano de Ocorrência	Valor (R\$)
Custo de implantação	R\$/ha	0	1.340,00
Tratos culturais	R\$/ha	0	500,00
Tratos culturais	R\$/ha	0	500,00
Tratos culturais	R\$/ha	1	500,00
Tratos culturais	R\$/ha	1	500,00
Custo de poda	R\$/ha	3	248,00
Custo de poda	R\$/ha	4	226,00
Custo de poda	R\$/ha	5	207,00
Custo de poda	R\$/ha	6	207,00
Custo de poda	R\$/ha	7	136,00
Custo de desbaste (< 20 cm)	R\$/m ³	7, 11, 14, 17, 20, 23	7,50
Custo de desbaste (> 20 cm)	R\$/m ³	11, 14, 17, 20, 23	9,50
Corte raso (< 20 cm)	R\$/m ³	26	7,50
Corte raso (> 20 cm)	R\$/m ³	26	9,50
Custos anuais	R\$/ha	1 a 26	150,00

3.2.1 CUSTO DE IMPLANTAÇÃO

O custo de implantação florestal relacionados às atividades de produção de mudas, mão de obra, hora máquina, deslocamento, insumos e administração estão descritos na Tabela 12.

Tabela 12 – Informações de custos de implantação por hectare para *Pinus taeda* L.

Discriminação	Custo (R\$/ha)
Mão de obra	487,00
Hora máquina	121,00
Deslocamento	59,00
Herbicida	28,00
Mudas	425,00
Administração	220,00
Total por hectare	1340,00

Fonte: Florestal Gateados Ltda.

O custo básico de mão de obra como a roçada manual, combate às formigas, enleiramento, coroamento e plantio tem um custo médio para a empresa de R\$487,00/ha.

A hora máquina tem um custo médio de R\$ 121,00/ha para o preparo do terreno e construção de estradas e aceiros. No custo da hora máquina está incluído o salário do motorista + encargos, manutenção da máquina, manutenção das estradas, óleo diesel e preparo do talhão.

O deslocamento é feito toda manhã com ônibus, caminhonete ou carros, da sede para determinado talhão, proporcionando um custo médio de R\$ 59,00/ha. O custo de deslocamento refere-se ao uso de gasolina, diesel ou álcool, depreciação dos veículos, seguro, taxas de impostos, manutenção, pneus, entre outros.

Com relação a herbicida, são utilizados cerca de 2 quilos por hectare, com um custo médio de R\$ 28,00/ha.

O espaçamento utilizado para o plantio foi de 1,6 X 2,5 m, totalizando 2500 mudas por hectare, com um valor total de R\$ 425,00/ha ou R\$ 0,17/muda. Para evitar o replantio são executadas irrigações quando necessárias. Uma parte das mudas é comprada de terceiros e outra são produzidas no próprio viveiro de mudas florestais da empresa.

O custo médio de administração é de R\$ 220,00/ha. Na empresa trabalham engenheiros florestais, técnicos florestais, técnicos de segurança do trabalho, encarregados, fiscais, secretárias e auxiliares de escritório.

3.2.2 CUSTO DE TRATOS CULTURAIS

A manutenção dos talhões da empresa é feita por funcionários próprios. São realizadas limpezas como roçadas ou aplicação de herbicida; coroamento e abertura de covas; combate a formigas e replantio de mudas mortas após 30 dias. O custo médio dos tratos culturais é de R\$ 500,00 por hectare.

3.2.3 CUSTO DE PODA

O custo com a poda (Tabela 13) diminui em relação ao ano devido a produtividade do trabalhador florestal. O número de árvores podadas por dia na primeira poda é superior ao da segunda poda, e assim sucessivamente.

Tabela 13 – Custo de poda em suas respectivas idades.

Poda	Idade (anos)	Custo (R\$/ha)
1 ^a	3	248,00
2 ^a	4	226,00
3 ^a	5	207,00
4 ^a	6	207,00
5 ^a	7	136,00

Fonte: Florestal Gateados Ltda.

3.2.4 CUSTOS DE DESBASTE

O corte da empresa é terceirizado, com custo de R\$ 7,50/m³ nas toras com diâmetro de até 20 cm e 9,50/m³ nas toras com diâmetro superior a 20 cm. O corte é feito com motosserras e a extração é realizada por trator traçado (4 x 4) com guincho e animais (cavalos e mulas) que arrastam as árvores do meio do talhão até os estaleiros.

A Tabela 14 mostra a intensidade de desbaste, o número de árvores desbastadas por hectare, a média de volume de cada árvore desbastada e o volume de madeira retirado por desbaste, por hectare. É importante salientar, que a empresa é a única do país a fazer 6 desbastes em uma rotação de 26 anos, e alcançou um Incremento Médio Anual (IMA) de 41,76 m³/ha.ano.

Tabela 14 – Produtividade média por hectare com 6 desbastes.

Árvores plantadas/ha	Intensidade desbaste	Nº de Desbaste	Idade de desbaste	Árv.desbastadas/ha	Volume (m ³ /árv.)	Volume (m ³ /ha)
2500	40%	1º	7	1000	0,038	38,00
1500	30%	2º	11	450	0,184	82,80
1050	30%	3º	14	315	0,339	106,78
735	40%	4º	17	294	0,585	171,99
441	40%	5º	20	176	1,285	226,16
265	40%	6º	23	106	1,700	180,20
159	100%	CORTE RASO	26	159	1,761	279,99
Total				2500		1085,92
IMA	m ³ /ha.ano					41,76

Fonte: Dados de cubagem e Florestal Gateados Ltda.

3.2.5 CUSTOS ANUAIS

A prevenção de incêndios é feita por uma equipe de brigada florestal formada por 6 pessoas, que trabalham em três turnos por dia. Três torres de incêndio estão instaladas em locais estratégicos para visualizar toda a floresta da empresa e equipadas com rádios comunicadores.

Além das torres, a empresa também possui um caminhão pipa e mais de 60 represas distribuídas por toda propriedade, o que evita o longo deslocamento para coleta de água.

O combate à vespa da madeira também faz parte dos custos anuais, o qual é feito durante todo ano por uma equipe de 6 pessoas. Quando é identificada uma árvore atacada, os funcionários aplicam nematóides na árvore para eliminar a praga.

A empresa possui mais de 370 quilômetros de estrada, sendo grande parte cascalhada, o que gera um alto custo anual.

Os custos anuais dessas especificações é de R\$ 150,00 por hectare, os quais incluem salários e encargos dos funcionários, óleo diesel, seguros, equipamento de proteção individual, baterias para o rádio, aplicação de nematóides e alimentação para os funcionários.

3.3 ESTRUTURA DE RECEITAS

Na Tabela 15 estão apresentados os sortimentos, destino do produto, preço do metro cúbico, porcentagem de cada sortimento em cada idade e sortimento total que a floresta da empresa produz.

O resíduo florestal não é retirado dos talhões por não representar lucros para empresa, pois o custo da retirada seria superior ao valor de sua venda. Esses resíduos ficam na área como matéria orgânica para no solo. Os resíduos vão diminuindo à medida que as árvores vão crescendo e, a partir dos 20 anos representa menos que 1 % do total.

Os valores apresentados por sortimentos são da madeira cortada e estaleirada na margem da estrada, não incluindo carregamento e transporte, que são arcados pelos compradores.

Pode-se observar que madeiras com diâmetros superiores a 30 cm possuem alto valor agregado, porém, somente após 17 anos a floresta começa a gerar esse sortimento.

As madeiras são destinadas para processos (8 – 12 cm), madeira para serraria I (12 – 20 cm), madeira para serraria II (20 – 30 cm) e madeira para laminadora (> 30 cm).

Tabela 15 – Destino, preço e percentuais dos sortimentos em uma rotação de 26 anos e 6 desbastes.

Destino	Bitola (cm)	Preço (R\$/m ³)	Idade (anos) / Sortimento (%)						
			7	11	14	17	20	23	26
Resíduo	< 8		10,00	7,37	3,80	2,30	0,90	0,69	0,66
Processo	(8-12)	11,00	90,00	48,65	36,69	17,65	8,37	6,43	6,29
Ser. 1	(12-20)	18,00	0,00	32,16	37,03	38,69	36,26	28,37	28,45
Ser. 2	(20-30)	50,00	0,00	11,82	22,48	33,16	42,06	37,22	37,59
Lam. 2	> 30	123,00	0,00	0,00	0,00	8,20	12,41	27,29	27,01
Total			100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

Fonte: Dados de cubagem e Florestal Gateados Ltda.

As receitas obtidas ao longo das idades encontram-se na Tabela 16, as quais foram calculadas com base nos dados de cubagem rigorosa, função de afilamento e dados da empresa. Os compradores de madeira de pinus pagam de acordo com a classificação diamétrica e comprimento da tora. As toras para laminação possuem grande valor agregado, principalmente devido ao investimento em podas nos primeiros anos de crescimento, apresentando um grande rendimento na produção de compensados.

Tabela 16 – Receitas obtidas por hectare com os produtos separados por sortimento em cada idade de desbaste.

Sortimento	Idade de desbaste	Preço (R\$/m ³)	%	Volume (m ³ /ha)	Receita (R\$/ha)
Madeira processo	7	11,00	0,900	34,20	376,20
Subtotal (7 anos)					376,20
Madeira processo	11	11,00	0,486	40,28	443,10
Madeira serraria I (12-20 cm)	11	18,00	0,321	26,62	479,31
Madeira serraria II (20-30)	11	50,00	0,118	9,78	489,35
Subtotal (11 anos)					1.411,76
Madeira processo	14	11,00	0,366	39,17	430,95
Madeira serraria I (12-20 cm)	14	18,00	0,370	39,54	711,73
Madeira serraria II (20-30)	14	50,00	0,224	24,00	1.200,21
Subtotal (14 anos)					2.342,89
Madeira processo	17	11,00	0,176	30,35	333,92
Madeira serraria I (12-20 cm)	17	18,00	0,386	66,54	1.197,77
Madeira serraria II (20-30)	17	50,00	0,331	57,03	2.851,59
Madeira Laminadora (> 30 cm)	17	123,00	0,082	14,10	1.734,69
Subtotal (17 anos)					6.117,98
Madeira processo	20	11,00	0,083	18,92	208,23
Madeira serraria I (12-20 cm)	20	18,00	0,362	82,00	1.476,10
Madeira serraria II (20-30)	20	50,00	0,420	95,12	4.756,14
Madeira Laminadora (> 30 cm)	20	123,00	0,124	28,06	3.452,17
Subtotal (20 anos)					9.892,65
Madeira processo	23	11,00	0,064	11,58	127,46
Madeira serraria I (12-20 cm)	23	18,00	0,283	51,11	920,10
Madeira serraria II (20-30)	23	50,00	0,372	67,06	3.353,15
Madeira Laminadora (> 30 cm)	23	123,00	0,272	49,18	6.049,61
Subtotal (23 anos)					10.450,32
Madeira processo	26	11,00	0,062	17,60	193,68
Madeira serraria I (12-20 cm)	26	18,00	0,284	79,65	1.433,84
Madeira serraria II (20-30)	26	50,00	0,375	105,24	5.262,15
Madeira Laminadora (> 30 cm)	26	123,00	0,270	75,62	9.302,28
Subtotal (26 anos)					16.191,96
Receita total por hectare					46.783,76

Com os dados de custos e receitas foi possível elaborar um fluxo de caixa para o plantio de pinus submetido a 6 desbastes, por período de ocorrência do item de custo e receita, conforme Tabela 17.

Tabela 17 - Estrutura de custos e receitas de *Pinus taeda* L. submetida a 6 desbastes.

Período de Ocorrência (anos)	Custo (R\$/ha)	Receita (R\$/ha)
0	2.490,00	-
1	1.150,00	-
2	150,00	-
3	398,00	-
4	376,00	-
5	357,00	-
6	357,00	-
7	542,50	376,20
8	150,00	-
9	150,00	-
10	150,00	-
11	744,81	1.411,76
12	150,00	-
13	150,00	-
14	968,43	2.342,89
15	150,00	-
16	150,00	-
17	1.552,53	6.117,98
18	150,00	-
19	150,00	-
20	2.077,31	9.892,65
21	150,00	-
22	150,00	-
23	1.724,62	10.450,32
24	150,00	-
25	150,00	-
26	2.597,77	16.191,96

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 VALOR PRESENTE LÍQUIDO - VPL

A análise de viabilidade de investimento em plantios de *Pinus taeda* L., submetido ao manejo com 6 desbastes e 5 podas, pelo método do VPL é realizada pela diferença positiva entre as receitas e custos gerados, atualizadas de acordo com uma taxa de desconto, que no presente caso foi de 8 % ao ano. A Figura 12 representa a curva do VPL de acordo com as variações nas taxas de desconto.

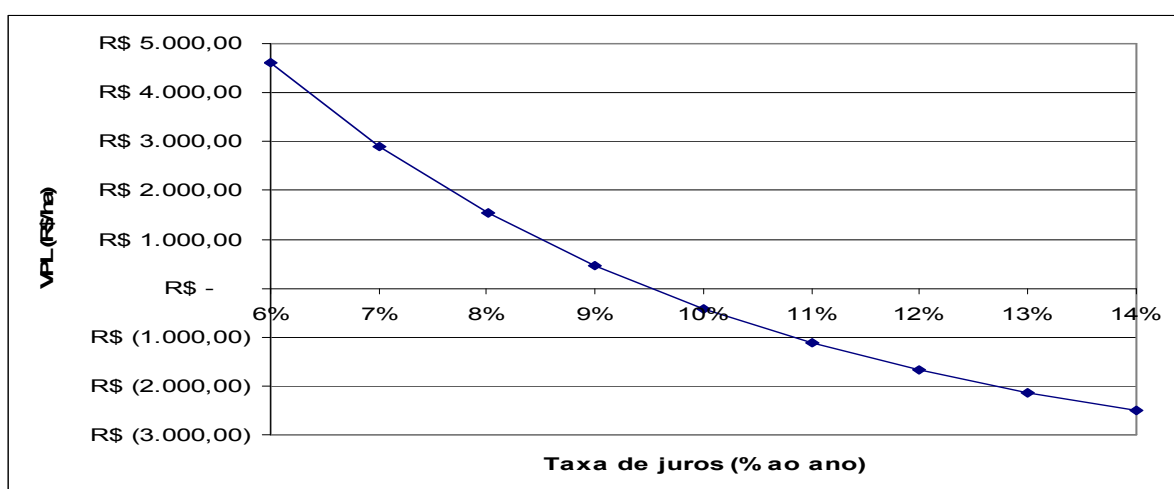


Figura 12 – VPL conforme as variações nas taxas de juros.

Observa-se na Figura 12, que para a taxa de desconto de 6% ao ano, o VPL é de R\$ 4.601,60 e que ele decresce à medida que a taxa aumenta. Analisando a Figura 12, verifica-se que o VPL é positivo até uma taxa de aproximadamente 9% ao ano, que é de R\$ 453,59. Taxas superiores a 9,49% ao ano tornam o investimento no pinus inviável, pois o VPL torna-se negativo, sendo assim recomendado a aplicação em outros investimentos.

As análises de sensibilidade do VPL sobre uma variação de 0% a 30% dos custos e receitas do empreendimento estão representadas na Figura 13.

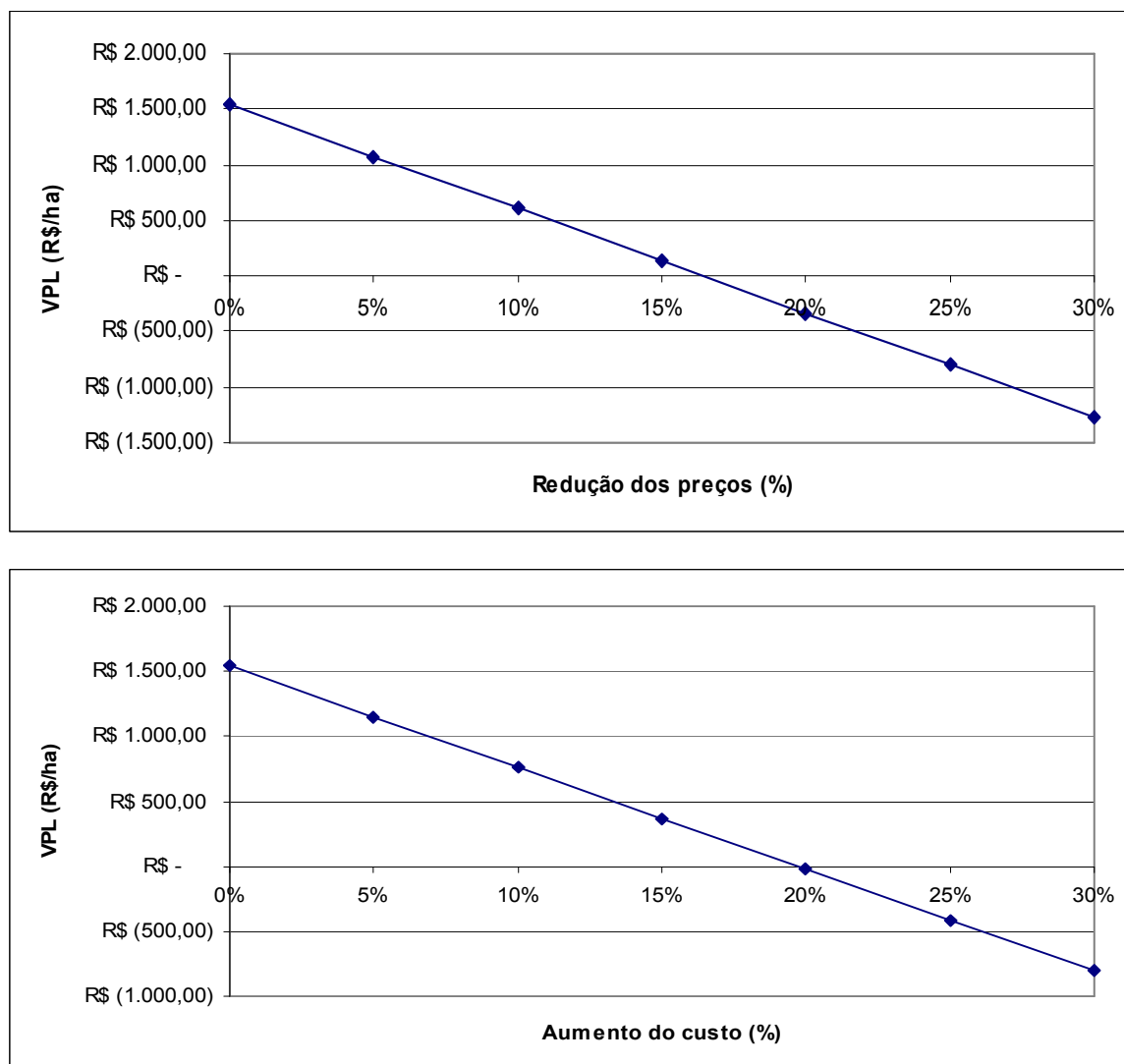


Figura 13 – Análise do VPL em relação à redução dos preços das toras e aumento dos custos.

Com uma taxa de desconto de 8% ao ano e uma redução nos preços das toras em até 15% não tornaria o plantio inviável, pois o VPL ainda apresenta valor positivo (R\$ 136,30). Porém, esse comportamento evidencia que o plantio de pinus é um investimento com baixa margem de segurança. No entanto, considerando as previsões de que a demanda pelo produto será maior que a oferta, é pouco provável que futuramente o preço da madeira de boa qualidade venha a cair, a ponto de inviabilizar o investimento na produção florestal.

Brobouski (2004), encontrou VPL de R\$ 4.732,11 a uma taxa de desconto de 10% ao ano, comparando diferentes tipos de projetos e investimentos.

O aumento nos custos em até 19,69% não inviabilizaria o investimento, devido principalmente ao alto valor agregado às madeiras grossas e sem nó, que são produzidas principalmente depois dos 20 anos.

4.2 BENEFÍCIO CUSTO PERIÓDICO EQUIVALENTE - B(C)PE

A uma taxa de juros de 8% ao ano é economicamente viável o plantio de pinus com 6 desbastes e 5 podas, pois tem o Benefício ou Custo Periódico Equivalente positivo, ou seja, o valor anual simples do lucro é positivo.

A Figura 14 mostra a curva do B(C)PE de acordo com as variações na taxa de juros.

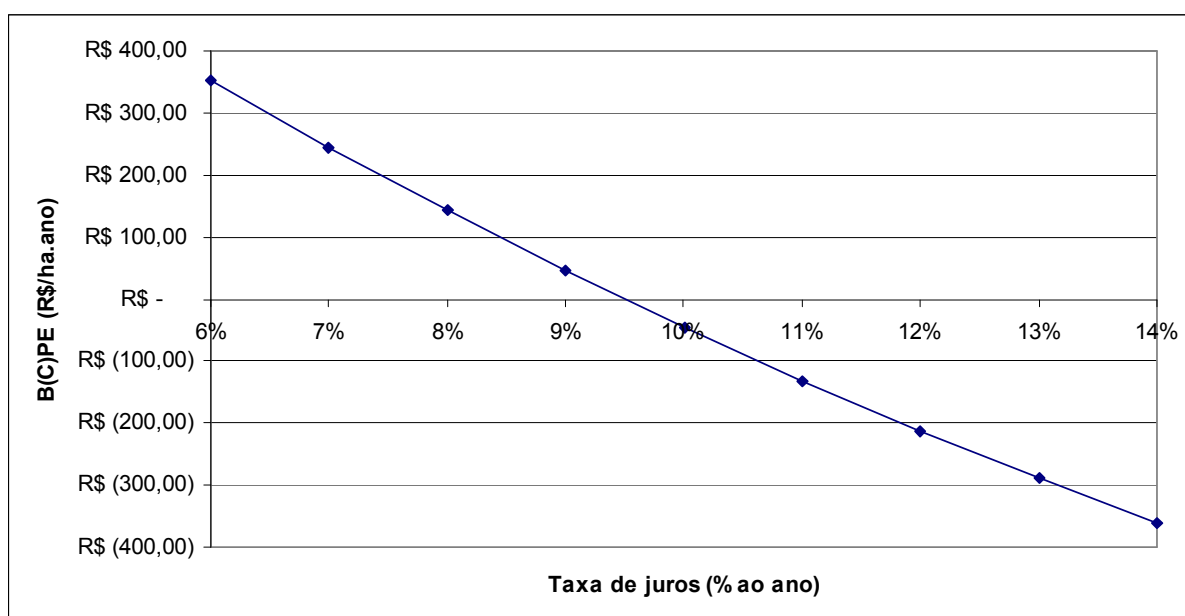


Figura 14 – Benefício Custo Periódico Equivalente em relação a taxa de juros.

O B(C)PE é positivo até a taxa de juros de aproximadamente 9% (R\$ 45,68), ou seja, apresentou resultado semelhante ao do VPL. Para a taxa de desconto utilizada nesse estudo (8%) o B(C)PE foi de R\$ 142,59.

De acordo com a Figura 15, que mostra a análise de sensibilidade de redução de receita e aumento do custo, o critério de análise com base no B(C)PE inviabiliza o plantio de pinus caso a redução de receita seja maior que 15% e o aumento do custo superior a 19,69%.

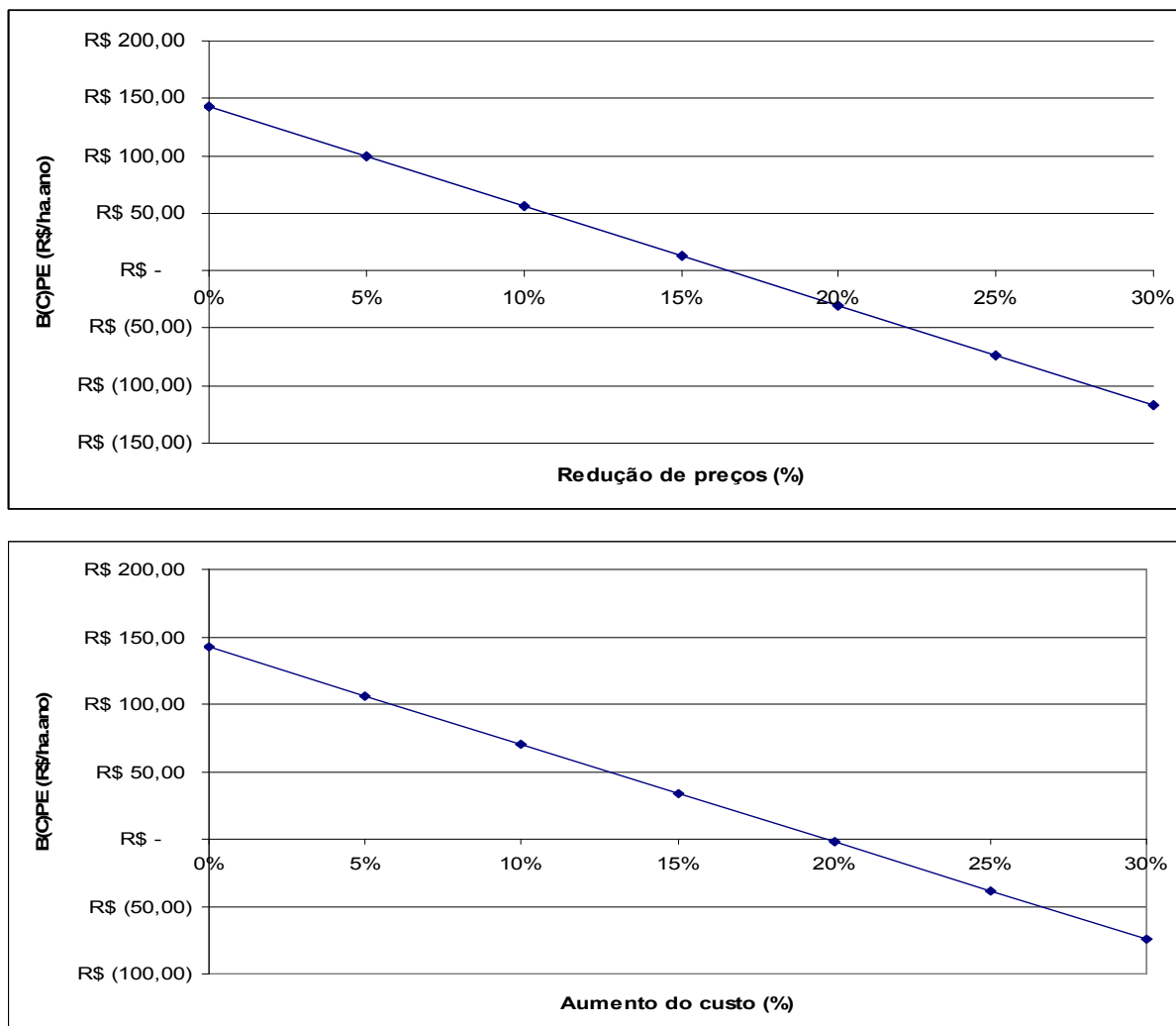


Figura 15 – Avaliação de sensibilidade de B(C)PE em relação a redução de preços da madeira (%) e aumento de custo (%).

4.3 TAXA INTERNA DE RETORNO (TIR)

Quanto à TIR, a taxa média de crescimento do investimento é de 9,49%, ou seja, é maior que a taxa média de crescimento considerada nesse estudo, que foi de 8% ao ano.

As receitas descontadas deste estudo seriam superiores aos custos descontados, segundo resultado obtido pela TIR, mesmo se o mercado trabalhasse com taxas superiores a 8% ao ano, até o limite de 9,49% ao ano.

Floriano (2008) analisou diferentes regimes de manejo para pinus na Serra do Sudeste, RS e encontrou melhor viabilidade econômica fazendo três desbastes e corte raso aos 26 anos, com TIR de 8,14%.

Magatão *et al.* pesquisando pinus com três desbastes e corte raso aos 20 anos no Paraná encontrou TIR de 18,40%, valor bem superior ao encontrado nesse

trabalho, principalmente devido ao menor número de poda e desbaste, menor custo de implantação e custos anuais.

O comportamento da TIR em relação à variação da redução de preço da madeira e aumento de custos gerais pode ser observado na Figura 16.

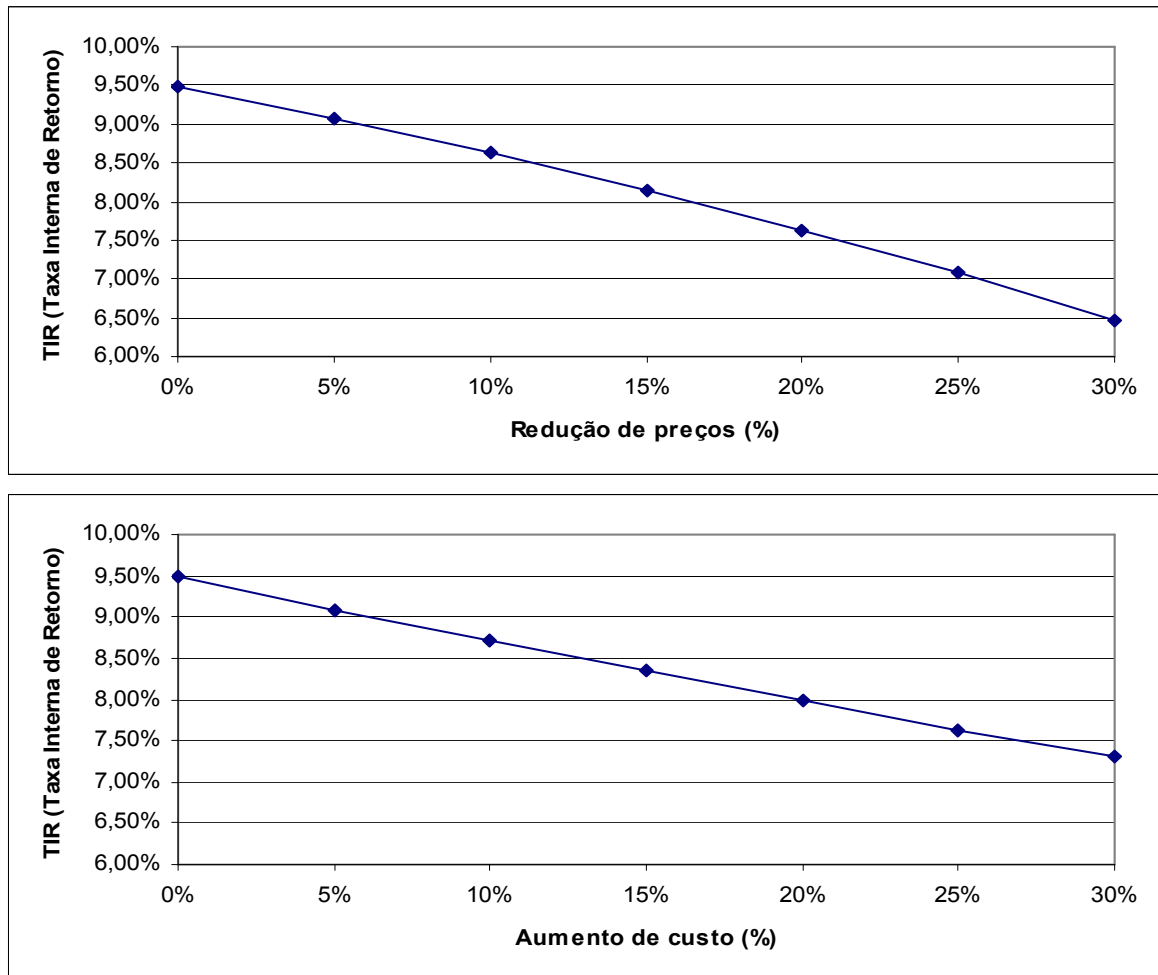


Figura 16 – Taxa Interna de Retorno em relação a variação da redução de preço da madeira e aumento de custos gerais.

Uma redução de 15% nas receitas daria uma TIR de 8,15%, ainda viável no caso do presente estudo que adotou como base a taxa de 8% ao ano, porém diminuir a receita em mais de 20% tornaria o plantio de pinus inviável economicamente.

Com o aumento do custo em 20%, a TIR é 7,98%, ou seja, um aumento de custo superior a 19,69% inviabilizaria o plantio, pois ficaria inferior aos 8% adotado no presente estudo.

Este projeto é viável de acordo com o Programa de Plantio Comercial e Recuperação de Florestas (PROPFLORA), com taxas de juros de 6,75% ao ano, pois apresentou TIR superior ao adotado pelo BNDES.

5 CONCLUSÕES

O plantio de *Pinus taeda* L. com 6 desbastes e 5 podas foi considerado viável, a uma taxa de desconto de 8% ao ano, por todos os indicadores econômicos utilizados neste estudo (VPL, B(C)PE e TIR).

A queda de receita em mais de 15%, afetou negativamente os indicadores, inviabilizando o plantio de *Pinus taeda* L. na região de estudo.

Com o aumento de custo em mais de 19,69% ao atualmente praticado pela empresa, inviabilizaria o plantio de *Pinus taeda* L. na região de estudo.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BROBOUSKI, W.J.P. **Teoria das opções reais aplicada a um contrato de parceria florestal com preço mínimo**. UFPR: Curitiba. 85 p. Dissertação (Mestrado em Métodos Numérico) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2004.

DAVIS, L.S.; JOHNSON, K.N. **Forest management**. 3.ed. New York: McGraw-Hill, 1987. 789p.

DOSSA, D. *et al.* **Aplicativo com análise de rentabilidade para sistemas de produção de florestas cultivadas e de grãos**. Colombo: Embrapa Florestas, 56p. (Documentos 36). 2000.

FERREIRA, T. C. **Análise econômica de plantios de eucalipto para a produção de celulose**. Lavras, 2001. 109 p. Dissertação, Mestrado. UFLA.

FLORIANO, E.P. **Subsídios para o planejamento da produção de Pinus elliottii Engelm. na Serra do Sudeste, Rio Grande do Sul**. UFSM: Santa Maria. 178 p. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2008.

IPEF – INSTITUTO DE PESQUISAS E ESTUDOS FLORESTAIS. **Ciência e tecnologia no setor florestal brasileiro: diagnóstico, prioridades e modelo de financiamento**. Disponível em: <http://www.ipef.br/mct/MCT_02.htm> Acesso em: 16 setembro 2008.

LIMA JÚNIOR, V.B. **Determinação da taxa de desconto para uso na avaliação de projetos de investimentos florestais**. Viçosa: UFV, 1995. 90p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, 1995.

LOPES, H.V.S. **Análise econômica dos fatores que afetam a rotação de povoamentos de eucaliptos**. UFV: Viçosa. 188 p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1990.

MAGATÃO, A.E.; DOLIVEIRA, S.L.D. Cultivo de florestas plantadas – Uma alternativa estratégica para o desenvolvimento regional. Irati: Unicentro. **Revista Eletrônica Lato Sensu**. Ano 2, nº 1, julho de 2007.

MISHAN, E.J. **Análises de Custos-Benefícios**. Rio de Janeiro: Zahar Editora, 1976. 488 p.

OLIVEIRA, A.D., MACEDO, R.L.G. **Sistemas agroflorestais: considerações técnicas e econômicas**. Lavras, MG, UFLA, 1996. 255p. (Projeto de consultoria).

REZENDE, J.L.P.; OLIVEIRA, A.D. **Análise econômica e social de projetos florestais**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2001. 389 p.

SILVA, M.L.; JACOVINE, L.A.G.; VALVERDE, S.R. **Economia Florestal**. 2. ed. Viçosa: UFV, 2005. 178 p.