



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO  
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS**

**FELIPE RODRIGUES SANTOS**

**CARACTERIZAÇÃO DENDROMÉTRICA E AVALIAÇÃO ECONÔMICA DE  
POVOAMENTOS DE EUCALIPTO PARA MULTIPRODUTOS**

**JERÔNIMO MONTEIRO – ES  
SETEMBRO – 2010**

# **CARACTERIZAÇÃO DENDROMÉTRICA E AVALIAÇÃO ECONÔMICA DE POVOAMENTOS DE EUCALIPTO PARA MULTIPRODUTOS**

**FELIPE RODRIGUES SANTOS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Espírito Santo, como parte das exigências para obtenção do título de Mestre em Ciências Florestais, Área de concentração Ciências Florestais e Linha de Pesquisa Manejo Florestal.

Orientador: Prof. Dr. José Franklim Chichorro  
Co-orientador: Prof. Dr. Gilson Fernandes da Silva

JERÔNIMO MONTEIRO – ES  
SETEMBRO – 2010

Dissertação nº 11

Dados Internacionais de Catalogação-na-publicação (CIP)  
(Biblioteca Setorial de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Espírito Santo, ES, Brasil)

---

S237c Santos, Felipe Rodrigues, 1984-  
Caracterização dendrométrica e avaliação econômica de povoamentos de eucalipto para multiprodutos / Felipe Rodrigues Santos. – 2010.  
124 f. : il.

Orientador: José Franklim Chichorro.

Co-orientador: Gilson Fernandes da Silva.

Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Espírito Santo, Centro de Ciências Agrárias.

1. Eucalipto. 2. Florestas – Administração. 3. Economia florestal. 4. Florestas – Uso múltiplo. I. Chichorro, José Franklim. II. Silva, Gilson Fernandes da. III. Universidade Federal do Espírito Santo. Centro de Ciências Agrárias. IV. Título.

CDU: 630

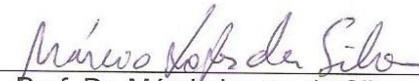
---

**CARACTERIZAÇÃO DENDROMÉTRICA E AVALIAÇÃO ECONÔMICA  
DE POVOAMENTOS DE EUCALIPTO PARA MULTIPRODUTOS**

**FELIPE RODRIGUES SANTOS**

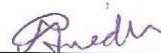
Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Espírito Santo, como parte das exigências para obtenção do título de Mestre em Ciências Florestais, Área de concentração Ciências Florestais e Linha de Pesquisa Manejo Florestal.

Aprovado em 28 de Setembro de 2010.



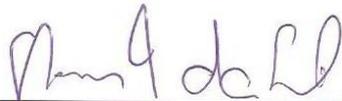
---

Prof. Dr. Márcio Lopes da Silva  
DEF/UFV



---

Prof. Dr. Nilton César Fiedler  
DEF/UFES



---

Prof. Dr. Gilson Fernandes da Silva  
DEF/UFES



---

Prof. Dr. Carlos Alberto Martinelli de Souza  
DEF/UFES



---

Prof. José Franklim Chichorro  
DEF/UFES (Orientador)

## DEDICATÓRIA

*Dedico este trabalho  
aos meus familiares  
e amigos.*

## AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, ao Todo Poderoso Deus, o único digno de toda honra, glória e louvor, pela sua infinita fidelidade e por permitir e conduzir-me a mais uma importante conquista em minha vida.

Aos meus pais Eduardo Lopes Santos e Neuza Rodrigues Soares Santos, pois sei que mesmo eu agradecendo pelo resto de minha vida, ainda não será o suficiente por tudo que fizeram por mim. Muito obrigado pelo amor, confiança depositada e contribuição importante na minha formação.

Aos demais familiares (Lopes e Rodrigues) por acreditarem em meus sonhos.

A todos aqueles que me ajudaram em oração para que este momento se concretizasse especialmente à minha mãe.

Ao grande amigo Klédison e sua família pela importante e imensa ajuda na minha chegada ao estado do Espírito Santo.

Ao Sr. João Batista e sua família pela amizade incondicional e pelo acolhimento na cidade de Alegre, ES.

A Fibria Celulose S.A. pela concessão de um mês de bolsa e aos engenheiros Daniel e Hélio, por contribuírem na definição dos povoamentos florestais a serem utilizados neste trabalho, e também aos proprietários rurais que permitiram o acesso aos mesmos.

Sou grato àqueles que contribuíram diretamente na coleta dos dados em campo, Jeferson, Leandro, Diego, Rômulo e Javan. Também ao Prof. Franklim, Toninho e Gilson por conduzir-nos ao local de coleta de dados, muitas vezes com acesso dificultado pelas chuvas e condições precárias das estradas. Não foi fácil, tardamos, mas com paciência vencemos no final.

Aos grandes amigos e colegas do Mestrado que gastaram parte de seu tempo para auxiliar na organização do trabalho escrito, gráficos e tabelas, especialmente Rômulo, Jeferson, Leandro e Rafaella.

Aos demais colegas e amigos do Mestrado, João Paulo, Rafael Hoffman, Octávio, Vinícius, Rafael (Ipatinga), Eduardo, Ana Paula, Ludmila, Valéria, Elter e Diego, pela convivência e troca de conhecimentos.

Aos funcionários da UFES, em especial à Eliane (Biblioteca) e Klériston Navarro (PPGCF) pela atenção e pelo bom atendimento em suas funções quando solicitados.

Agradeço ao Prof. José Franklim Chichorro pela orientação e contribuição importante na realização deste trabalho, além da disposição para a coleta dos dados.

Ao Prof. Gilson Fernandes, por dividir seu vasto conhecimento, por meio das disciplinas ministradas no Mestrado, contribuindo para ampliação de meus conhecimentos em Engenharia Florestal, além de dar sugestões importantes para a boa condução deste trabalho de dissertação.

Ao Prof. Carlos Alberto Martinelli de Souza (*in memoriam*), mesmo com o pouco tempo de convivência, não mediu esforços em prestar ajuda e contribuir com sugestões preciosas sobre os ajustes dos modelos de afilamento, que proporcionaram melhoria significativa na execução deste trabalho.

Aos Prof. Nilton César Fiedler e Prof. Márcio Lopes da Silva por aceitarem o convite de participarem da banca examinadora, e por dividirem seus conhecimentos por meio de críticas e sugestões que levaram a melhoria deste trabalho.

Ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais da Universidade Federal do Espírito Santo, pela oportunidade concedida.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de Mestrado que foi de suma importância para realização do curso.

*“O temor do Senhor é a instrução da sabedoria, e a humildade precede a honra.”*

*(Provérbios de Salomão cap.15, vers. 33)*

*“A liberdade é uma conquista,  
o sucesso é um prêmio,  
e a renovação é o único,  
único caminho para se chegar aos  
nossos objetivos.”*

*(Autor desconhecido)*

## **BIOGRAFIA**

FELIPE RODRIGUES SANTOS, filho de Eduardo Lopes Santos e Neuza Rodrigues Soares Santos, nasceu em Teófilo Otoni, Estado de Minas Gerais, no dia 09 de Abril de 1984.

Concluiu o Ensino Fundamental em 1998 e o Ensino Médio em 2001 na Escola Estadual José Joaquim Cabral, em Santa Maria do Salto, Estado de Minas Gerais.

Em Fevereiro de 2004, ingressou no Curso de Engenharia Florestal na Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri (UFVJM), em Diamantina, Estado de Minas Gerais, graduando-se em 1º de Agosto de 2008.

Em Agosto de 2008, ingressou no Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais em nível de Mestrado na Universidade Federal do Espírito Santo (UFES), em Alegre, sendo bolsista da CAPES - Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior. Em setembro de 2010, foi aprovado para vaga de Engenheiro de Planejamento na empresa Florestal Brasil S/A. Submeteu-se a Defesa de Dissertação de Mestrado em 28 de Setembro de 2010.

## RESUMO

SANTOS, Felipe Rodrigues. **Caracterização dendrométrica e avaliação econômica de povoamentos de eucalipto para multiprodutos**. 2010. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Espírito Santo, Alegre. Orientador: Prof. Dr. José Franklim Chichorro. Co-orientador: Prof. Dr. Gilson Fernandes da Silva.

Este estudo de caso teve como objetivos obter informações de produção de quatro povoamentos clonais de eucalipto; avaliar funções de afilamento e quantificar a madeira para uso único e multiprodutos; avaliar economicamente as possibilidades de uso da madeira; e dar suporte para tomada de decisão a empreendedores interessados em investir na atividade de silvicultura de eucalipto. Quatro povoamentos de clones híbridos de eucalipto, com idades de 77 (povoamento 1), 72 (povoamento 2), 53 (povoamento 3) e 40 meses (povoamento 4), localizados no município de Jerônimo Monteiro, ES, foram inventariados com alocação aleatória de 10 parcelas, em cada povoamento, medindo-se as variáveis *CAP* e *H*. Foram cubadas árvores e obtido o volume pela fórmula de *Smalian*. Foram ajustados modelos hipsométricos e de volume e calculados a média dos diâmetros, diâmetro médio, área basal por hectare e média das alturas para cada povoamento. Em seguida foram ajustados os modelos de afilamento em sua forma original: Kozak et al. (1969), Demaerschalk (1972), Ormerod (1973) e Schöpfer (1966). A seleção dos modelos para estimar altura comercial nos diâmetros 14, 12, 10, 8, 7 e 6 cm e volume comercial nos diâmetros 14, 7 e 6 cm deu-se pela aplicação dos critérios estatísticos em conjunto com a análise gráfica dos resíduos. Nos povoamentos 1, 2 e 3 foram determinadas as produções de uso único para celulose e energia, e no povoamento 4 para energia, bem como a produção combinada destes usos com a possibilidade de parte do fuste para mourões. Assim, foram determinadas a produção combinada de celulose e mourões para os povoamentos 1, 2 e 3, e energia e mourões para o povoamento 4. Para a avaliação econômica foram aplicados os métodos VPL, BPE e CMP. Observou-se que a média dos diâmetros, diâmetro médio e área basal apresentaram relação direta com a idade dos povoamentos. Os resultados dos ajustes dos modelos mostraram diferença no perfil do fuste entre os povoamentos. O aproveitamento da madeira de uso único para celulose foi maior no povoamento 1 (97%), seguido do povoamento 3 (90%) e 2 (80%). Para energia, a proporção foi maior nos povoamentos 1 e 4 (99 e 94%, respectivamente) em relação ao 2 e 3 (86 e 91%, respectivamente). Para multiprodutos, observou-se que os povoamentos 3 e 4 apresentaram maior proporção de uso da madeira para mourões em relação à celulose e energia. O uso da madeira para energia mostrou-se inviável economicamente em todas as situações avaliadas. Já, para celulose, sob uma taxa de juros baixa, mostraram-se viáveis economicamente. No entanto, os povoamentos 2 e 3 foram mais sensíveis à variação de aumento na taxa de juros em relação ao povoamento 1. O uso da madeira para multiprodutos foi alternativa mais viável para os quatro povoamentos. O CMP mostrou-se sensível quanto às variações de idade, taxa de juros e uso da madeira.

**Palavras-chave:** floresta plantada, produção florestal, afilamento, sortimentos.

## ABSTRACT

SANTOS, Felipe Rodrigues. **Dendrometric characterization and economic evaluation of *Eucalyptus* stands for multiproduct**. 2010. Dissertation (Master's degree on Forest Science) – Federal University of Espírito Santo, Alegre. Adviser: Prof. Dr. José Franklim Chichorro. Co-adviser: Prof. Dr. Gilson Fernandes da Silva.

This case study aimed to obtain information for the production of four clones *Eucalyptus* stands; to evaluate taper functions and quantify the wood to use single and multiproduct; economically evaluate the potential use of wood, and support for decision-making entrepreneurs interested in investing in the forestry of *Eucalyptus*. Four stands of *Eucalyptus* hybrid clones, aged 77 (stand 1), 72 (stand 2), 53 (stand 3) and 40 months (stand 4), located in the town of Jerônimo Monteiro, ES, were surveyed with random of 10 plots in each stand, measuring variables CAP and H. Trees were scaled and obtained the volume by Smalian's formula. Hypsometric and volume models were adjusted and calculated the mean diameter, quadratic mean diameter, basal area per hectare and average height for each stand. Then the taper models were adjusted in its original form: Kozak et al. (1969), Demaerschalk (1972), Ormerod (1973) and Schöepfer (1966). The selection of models to estimate the commercial height in the diameters 14, 12, 10, 8, 7 and 6 cm and trade volume in the diameter 14, 7 and 6 cm was due to the application of statistical criteria in conjunction with the graphic analysis of residues. In stands 1, 2 and 3 were determined use single products for pulp and energy, and the stand 4 for energy, as well as the combined production of these uses with the possibility that some of the stem for fencepost. Thus, were determined the production combined of pulp and fencepost for stands 1, 2 and 3, and energy and fencepost to the stand 4. For the economic evaluation were applied the methods NPV, EPB and APC. It was observed that the mean diameter, quadratic mean diameter and basal area were directly related with age. The results of the adjustment of the models showed a difference in the profile of the stem between the stands. The use of wood of single use for pulp was higher in stand 1 (97%), followed by stand 3 (90%) and 2 (80%). For energy, the proportion was higher in stands 1 and 4 (99 and 94%, respectively) compared to 2 and 3 (86 and 91%, respectively). For multiproduct, it was observed that stands 3 and 4 had a higher proportion of use of wood for fencepost in relation to pulp and energy. The use of wood for energy has proven to be uneconomical in all situations evaluated. Already, for cellulose, in a low interest rate, proved to be economically viable. However, the stands 2 and 3 were more sensitive to variation in the interest rate in relation to stand 1. The use of wood for multiproduct was more viable alternative to the four stands. The APC was sensitive for changes in age, interest rate and use of wood.

**Keywords:** planted forest, forest yield, taper, assortments.

## LISTA DE FIGURAS

### CAPÍTULO 1

- Figura 1 – Localização dos povoamentos clonais de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*, no município de Jerônimo Monteiro, ES. ....22
- Figura 2 – Demonstração das subdivisões das árvores para a cubagem rigorosa. ....28
- Figura 3 – Distribuição dos resíduos da altura, em porcentagem, em função do DAP, para os modelos de Linha Reta, Parabólico, Hiperbólico, Stoffels, Curtis e Prodan, para o povoamento 1.....32
- Figura 4 – Distribuição dos resíduos da altura, em porcentagem, em função do DAP, para os modelos de Linha Reta, Parabólico, Hiperbólico, Stoffels, Curtis e Prodan, para o povoamento 2.....34
- Figura 5 – Distribuição dos resíduos da altura, em porcentagem, em função do DAP, para os modelos de Linha Reta, Parabólico, Hiperbólico, Stoffels, Curtis e Prodan, para o povoamento 3.....36
- Figura 6 – Distribuição dos resíduos da altura, em porcentagem, em função do DAP, para os modelos de Linha Reta, Parabólico, Hiperbólico, Stoffels, Curtis e Prodan, para o povoamento 4.....37
- Figura 7 – Distribuição dos resíduos do volume, em porcentagem, em função do DAP para os modelos de Schumacher e Hall, Spurr Não-linear e Spurr Linear para o povoamento 1 (77 meses).....39
- Figura 8 – Distribuição dos resíduos do volume, em porcentagem, em função do DAP para os modelos de Schumacher e Hall, Spurr Não-linear e Spurr Linear para o povoamento 2 (72 meses).....40
- Figura 9 - Distribuição dos resíduos do volume, em porcentagem, em função do DAP para os modelos de Schumacher e Hall, Spurr Não-linear e Spurr Linear para o povoamento 3 (53 meses).....41
- Figura 10 - Distribuição dos resíduos do volume, em porcentagem, em função do DAP para os modelos de Schumacher e Hall, Spurr Não-linear e Spurr Linear para o povoamento 4 (40 meses).....42

## CAPÍTULO 2

- Figura 1 – Esboço das subdivisões das partes do tronco destinado a multiprodutos (a) e mostra da mudança de classe na obtenção de mourões (b).....60
- Figura 2 – Distribuição dos resíduos da altura comercial nos diâmetros 14 e 12 cm, em porcentagem, em função do DAP, para os modelos de Kozak, Demaerschalk, Ormerod e Schöepfer, para o povoamento 1 (77 meses). .....85
- Figura 3 – Distribuição dos resíduos da altura comercial nos diâmetros 10 e 8 cm, em porcentagem, em função do DAP, para os modelos de Kozak, Demaerschalk, Ormerod e Schöepfer, para o povoamento 1 (77 meses). .....86
- Figura 4 – Distribuição dos resíduos da altura comercial nos diâmetros 7 e 6 cm, em porcentagem, em função do DAP, para os modelos de Kozak, Demaerschalk, Ormerod e Schöepfer, para o povoamento 1 (77 meses). .....87
- Figura 5 – Distribuição dos resíduos da altura comercial nos diâmetros 14 e 12 cm, em porcentagem, em função do DAP, para os modelos de Kozak, Demaerschalk, Ormerod e Schöepfer, para o povoamento 2 (72 meses). .....88
- Figura 6 – Distribuição dos resíduos da altura comercial nos diâmetros 10 e 8 cm, em porcentagem, em função do DAP, para os modelos de Kozak, Demaerschalk, Ormerod e Schöepfer, para o povoamento 2 (72 meses). .....89
- Figura 7 – Distribuição dos resíduos da altura comercial nos diâmetros 7 e 6 cm, em porcentagem, em função do DAP, para os modelos de Kozak, Demaerschalk, Ormerod e Schöepfer, para o povoamento 2 (72 meses). .....90
- Figura 8 – Distribuição dos resíduos da altura comercial nos diâmetros 14 e 12 cm, em porcentagem, em função do DAP, para os modelos de Kozak, Demaerschalk, Ormerod e Schöepfer, para o povoamento 3 (53 meses). .....91
- Figura 9 – Distribuição dos resíduos da altura comercial nos diâmetros 10 e 8 cm, em porcentagem, em função do DAP, para os modelos de Kozak, Demaerschalk, Ormerod e Schöepfer, para o povoamento 3 (53 meses). .....92
- Figura 10 – Distribuição dos resíduos da altura comercial nos diâmetros 7 e 6 cm, em porcentagem, em função do DAP, para os modelos de Kozak, Demaerschalk, Ormerod e Schöepfer, para o povoamento 3 (53 meses). .....93
- Figura 11 – Distribuição dos resíduos da altura comercial nos diâmetros 14 e 12 cm, em porcentagem, em função do DAP, para os modelos de Kozak, Demaerschalk, Ormerod e Schöepfer, para o povoamento 4 (40 meses). .....94

Figura 12 – Distribuição dos resíduos da altura comercial nos diâmetros 10 e 8 cm, em porcentagem, em função do DAP, para os modelos de Kozak, Demaerschalk, Ormerod e Schöepfer, para o povoamento 4 (40 meses). .....	95
Figura 13 – Distribuição dos resíduos da altura comercial no diâmetro 6 cm, em porcentagem, em função do DAP, para os modelos de Kozak, Demaerschalk, Ormerod e Schöepfer, para o povoamento 4 (40 meses). .....	96
Figura 14 – Distribuição dos resíduos do volume comercial no diâmetro 14 cm, em porcentagem, em função do DAP, para os modelos de Kozak, Demaerschalk, Ormerod e Schöepfer, para o povoamento 1 (77 meses). .....	97
Figura 15 – Distribuição dos resíduos do volume comercial nos diâmetros 7 e 6 cm, em porcentagem, em função do DAP, para os modelos de Kozak, Demaerschalk, Ormerod e Schöepfer, para o povoamento 1 (77 meses). .....	98
Figura 16 – Distribuição dos resíduos do volume comercial nos diâmetros 14 cm, em porcentagem, em função do DAP, para os modelos de Kozak, Demaerschalk, Ormerod e Schöepfer, para o povoamento 2 (72 meses). .....	99
Figura 17 – Distribuição dos resíduos do volume comercial nos diâmetros 7 e 6 cm, em porcentagem, em função do DAP, para os modelos de Kozak, Demaerschalk, Ormerod e Schöepfer, para o povoamento 2 (72 meses). .....	100
Figura 18 – Distribuição dos resíduos do volume comercial nos diâmetros 14 cm, em porcentagem, em função do DAP, para os modelos de Kozak, Demaerschalk, Ormerod e Schöepfer, para o povoamento 3 (53 meses). .....	101
Figura 19 – Distribuição dos resíduos do volume comercial nos diâmetros 7 e 6 cm, em porcentagem, em função do DAP, para os modelos de Kozak, Demaerschalk, Ormerod e Schöepfer, para o povoamento 3 (53 meses). .....	102
Figura 20 – Distribuição dos resíduos do volume comercial nos diâmetros 14 e 6 cm, em porcentagem, em função do DAP, para os modelos de Kozak, Demaerschalk, Ormerod e Schöepfer, para o povoamento 4 (40 meses). .....	103

### CAPÍTULO 3

- Figura 1 – Resultados das avaliações econômicas pelos métodos do VPL, BPE e CMP, considerando as taxas de juros de 6, 9 e 12%, e com cenários de redução e acréscimo nos preços de venda dos produtos em 10%, dos usos para energia, celulose e mourões no povoamento 1 (77 meses). (1 – Valores calculados com base na redução do preço de venda dos produtos em 10%; 2 – Valores calculados com base no preço de mercado de venda dos produtos; 3 – Valores calculados com base no acréscimo do preço de venda dos produtos em 10%)...... 115
- Figura 2 – Resultados das avaliações econômicas pelos métodos do VPL, BPE e CMP, considerando as taxas de juros de 6, 9 e 12%, e com cenários de redução e acréscimo nos preços de venda dos produtos em 10%, dos usos para energia, celulose e mourões no povoamento 2 (72 meses). (1 – Valores calculados com base na redução do preço de venda dos produtos em 10%; 2 – Valores calculados com base no preço de mercado de venda dos produtos; 3 – Valores calculados com base no acréscimo do preço de venda dos produtos em 10%)...... 116
- Figura 3 – Resultados das avaliações econômicas pelos métodos do VPL, BPE e CMP, considerando as taxas de juros de 6, 9 e 12%, e com cenários de redução e acréscimo nos preços de venda dos produtos em 10%, dos usos para energia, celulose e mourões no povoamento 3 (53 meses). (1 – Valores calculados com base na redução do preço de venda dos produtos em 10%; 2 – Valores calculados com base no preço de mercado de venda dos produtos; 3 – Valores calculados com base no acréscimo do preço de venda dos produtos em 10%)...... 117
- Figura 4 – Resultados das avaliações econômicas pelos métodos do VPL, BPE e CMP, considerando as taxas de juros de 6, 9 e 12%, e com cenários de redução e acréscimo nos preços de venda dos produtos em 10%, dos usos para energia, celulose e mourões no povoamento 4 (40 meses). (1 – Valores calculados com base na redução do preço de venda dos produtos em 10%; 2 – Valores calculados com base no preço de mercado de venda dos produtos; 3 – Valores calculados com base no acréscimo do preço de venda dos produtos em 10%)...... 118

## LISTA DE TABELAS

### CAPÍTULO 1

Tabela 1 – Área e idade dos povoamentos clonais de <i>Eucalyptus urophylla</i> x <i>Eucalyptus grandis</i> usados para a obtenção dos dados .....	22
Tabela 2 – Modelos de relação hipsométrica em função do DAP, para estimar a altura total dos povoamentos 1, 2, 3 e 4. ....	24
Tabela 3 – Distribuição de frequência das árvores selecionadas para cubagem por classes de diâmetro e altura, no povoamento 1 (77 meses) .....	26
Tabela 4 – Distribuição de frequência das árvores selecionadas para cubagem por classes de diâmetro e altura, no povoamento 2 (72 meses) .....	26
Tabela 5 – Distribuição de frequência das árvores selecionadas para cubagem por classes de diâmetro e altura, no povoamento 3 (53 meses) .....	27
Tabela 6 – Distribuição de frequência das árvores selecionadas para cubagem por classes de diâmetro e altura, no povoamento 4 (40 meses) .....	27
Tabela 7 – Modelos volumétricos em função de H e DAP, para estimar o volume individual de árvores nos povoamentos 1, 2, 3 e 4 .....	29
Tabela 8 – Estimativas dos parâmetros e estatísticas das equações de relação hipsométrica ajustadas para o povoamento 1 (77 meses) .....	31
Tabela 9 – Estimativas dos parâmetros e estatísticas das equações de relação hipsométrica ajustadas para o povoamento 2 (72 meses) .....	33
Tabela 10 – Estimativas dos parâmetros e estatísticas das equações de relação hipsométrica ajustadas para o povoamento 3 (53 meses) ..	35
Tabela 11 – Estimativas dos parâmetros e estatísticas das equações de relação hipsométrica ajustadas para o povoamento 4 (40 meses) ..	35
Tabela 12 – Estimativas dos parâmetros e estatísticas das equações de volume ajustadas para o povoamento 1 (77 meses) .....	39
Tabela 13 – Estimativas dos parâmetros e estatísticas das equações de volume ajustadas para o povoamento 2 (72 meses) .....	39
Tabela 14 – Estimativas dos parâmetros e estatísticas das equações de volume ajustadas para o povoamento 3 (53 meses) .....	41
Tabela 15 – Estimativas dos parâmetros e estatísticas das equações de volume ajustadas para o povoamento 4 (40 meses) .....	41
Tabela 16 - Erro do inventário florestal e estimativas de produção e crescimento dos povoamentos 1, 2 , 3 e 4 .....	43
Tabela 17 – Resultados de algumas variáveis dendrométricas avaliadas. ....	44

## CAPÍTULO 2

Tabela 1 – Estatísticas dos ajustes dos modelos de afilamento, em sua forma original, avaliados para os povoamentos de 77, 72, 53 e 40 meses.	63
Tabela 2 – Valores de viés ( $v$ ), média das diferenças absolutas ( $MD$ ) e desvio padrão das diferenças ( $DPD$ ), e o <i>ranking</i> para as estimativas de altura comercial nos diâmetros de 14, 12, 10, 8, 7 e 6 cm, para o povoamento 1 (77 meses).....	65
Tabela 3 – Valores de viés ( $v$ ), média das diferenças absolutas ( $MD$ ) e desvio padrão das diferenças ( $DPD$ ), e o <i>ranking</i> para as estimativas de altura comercial nos diâmetros de 14, 12, 10, 8, 7 e 6 cm, para o povoamento 2 (72 meses).....	66
Tabela 4 – Valores de viés ( $v$ ), média das diferenças absolutas ( $MD$ ) e desvio padrão das diferenças ( $DPD$ ), e o <i>ranking</i> para as estimativas de altura comercial nos diâmetros de 14, 12, 10, 8, 7 e 6 cm, para o povoamento 3 (53 meses).....	67
Tabela 5 – Valores de viés ( $v$ ), média das diferenças absolutas ( $MD$ ) e desvio padrão das diferenças ( $DPD$ ), e o <i>ranking</i> para as estimativas de altura comercial nos diâmetros de 14, 12, 10, 8 e 6 cm, para o povoamento 4 (40 meses).....	69
Tabela 6 – Valores de viés ( $v$ ), média das diferenças absolutas ( $MD$ ) e desvio padrão das diferenças ( $DPD$ ), e o <i>ranking</i> para as estimativas de volume comercial até os diâmetros de 14, 7 e 6 cm, para o povoamento 1 (77 meses).....	72
Tabela 7 – Valores de viés ( $v$ ), média das diferenças absolutas ( $MD$ ) e desvio padrão das diferenças ( $DPD$ ), e o <i>ranking</i> para as estimativas de volume comercial até os diâmetros de 14, 7 e 6 cm, para o povoamento 2 (72 meses).....	73
Tabela 8 – Valores de viés ( $v$ ), média das diferenças absolutas ( $MD$ ) e desvio padrão das diferenças ( $DPD$ ), e o <i>ranking</i> para as estimativas de volume comercial até os diâmetros de 14, 7 e 6 cm, para o povoamento 3 (53 meses).....	74
Tabela 9 – Valores de viés ( $v$ ), média das diferenças absolutas ( $MD$ ) e desvio padrão das diferenças ( $DPD$ ), e o <i>ranking</i> para as estimativas de volume comercial até os diâmetros de 14 e 6 cm, para o povoamento 4 (40 meses) .....	74
Tabela 10 – Resultados dos ajustes mostrando os modelos selecionados para estimar altura e/ou volume comercial nos diâmetros pré-estabelecidos para os povoamentos avaliados .....	76
Tabela 11 – Produção volumétrica ( $m^3/ha$ ) dos povoamentos florestais 1, 2, 3 e 4 para uso único, celulose e/ou energia.....	77
Tabela 12 – Produção dos povoamentos florestais ( $m^3/ha$ ) para multiprodutos	78
Tabela 13 – Produção volumétrica dos povoamentos florestais para multiprodutos, em $m^3/ha$ .....	78

### **CAPÍTULO 3**

Tabela 1 – Custos de implantação (R\$/ha), manutenção (R\$/ha), colheita, de uso da terra e de administração envolvidos na atividade silvicultura com eucalipto na região Sul do Espírito Santo.....	111
--	-----

## SUMÁRIO

<b>RESUMO.....</b>	<b>IX</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>X</b>
<b>LISTA DE FIGURAS.....</b>	<b>XI</b>
<b>LISTA DE TABELAS.....</b>	<b>XV</b>
<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>1</b>
<b>2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>5</b>
2.1. MODELOS DE AFILAMENTO ( <i>TAPER</i> ) E MULTIPRODUTOS.....	5
2.2. AVALIAÇÃO ECONÔMICA DE PROJETOS FLORESTAIS .....	7
<b>3. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>13</b>
<b>CAPÍTULO I – CARACTERIZAÇÃO DENDROMÉTRICA DE POVOAMENTOS DE EUCALIPTO PARA MULTIPRODUTOS... ..</b>	<b>16</b>
<b>RESUMO.....</b>	<b>17</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>18</b>
<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>19</b>
<b>2. MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>21</b>
2.1. ÁREA DE ESTUDO.....	21
2.2. COLETA DE DADOS .....	22
<b>3. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>31</b>
<b>4. CONCLUSÕES.....</b>	<b>45</b>
<b>5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>46</b>
<b>CAPÍTULO II – QUANTIFICAÇÃO DE MULTIPRODUTOS DE POVOAMENTOS DE EUCALIPTO DE DIFERENTES IDADES... ..</b>	<b>48</b>
<b>RESUMO.....</b>	<b>49</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>50</b>
<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>51</b>
<b>2. MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>	<b>53</b>
2.1. COLETA DOS DADOS.....	53
2.2. APLICAÇÃO DE FUNÇÕES DE AFILAMENTO .....	54
2.3. QUANTIFICAÇÃO DE USO ÚNICO E OBTENÇÃO DOS MULTIPRODUTOS.....	58
<b>3. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>62</b>
3.1. SELEÇÃO DE MODELOS DE AFILAMENTO PARA ESTIMATIVA DA ALTURA COMERCIAL.....	62
3.2. SELEÇÃO DE MODELOS DE AFILAMENTO PARA ESTIMATIVA DO VOLUME COMERCIAL.....	70
3.3. QUANTIFICAÇÃO DE MULTIPROPUTOS NOS POVOAMENTOS .....	76
<b>4. CONCLUSÕES.....</b>	<b>80</b>

<b>5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>81</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>84</b>
<b>CAPÍTULO III – AVALIAÇÃO ECONÔMICA DE POVOAMENTOS DE EUCALIPTO PARA MULTIPRODUTOS. ....</b>	<b>104</b>
<b>RESUMO.....</b>	<b>105</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>106</b>
<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>107</b>
<b>2. MATERIAIS E MÉTODOS.....</b>	<b>109</b>
2.1. COLETA DE DADOS E PRODUÇÃO DE MADEIRA.....	109
2.2. AVALIAÇÃO ECONÔMICA.....	109
<b>3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>113</b>
<b>4. CONCLUSÕES.....</b>	<b>121</b>
<b>5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>122</b>
<b>6. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>124</b>

## 1. INTRODUÇÃO

O setor florestal brasileiro responde por importante parcela de contribuição no Produto Interno Bruto (PIB) nacional. Nesse setor, o investimento em florestas plantadas é uma alternativa que traz diversos benefícios nos diferentes âmbitos, tanto socioeconômico, como também ambiental (VALVERDE et al., 2003).

Um dos fatos marcantes do setor é a contribuição de maneira significativa para a preservação de formações florestais nativas. Isso se deve, inicialmente, aos incentivos a reflorestamentos com fins de produção madeireira, promovendo a redução da pressão sobre florestas nativas.

O setor florestal está intimamente ligado ao industrial, sendo sua cadeia produtiva importante para geração de matéria-prima para atender, principalmente, às fábricas de celulose e as siderúrgicas, no chamado Complexo Florestal Industrial (CFI) (VIEIRA et al., 2005). Observa-se nesse processo sua importância na geração de empregos diretos e indiretos, além de renda (SOARES et al., 2008).

Muitos fatores contribuíram expressivamente para o aumento da produtividade florestal, colocando o Brasil como destaque na silvicultura mundial. Entre eles, os avanços tecnológicos ocorridos ao longo das últimas décadas, principalmente voltadas ao melhoramento florestal. As condições edafoclimáticas favoráveis garantiram ao país condições de obter o produto final com rotação mais curta em relação aos países de clima temperado. Isso foi importante e fez com que os produtos de origem florestal se tornassem competitivos no mercado externo.

A área total ocupada por plantações florestais no Brasil está em torno de 6,31 milhões ha. Dentre as espécies utilizadas para cultivo no país, o gênero *Eucalyptus* sp. é o que apresenta maior representatividade. Sua área plantada segundo ABRAF (2010), tendo como base dados de 2009, é da ordem de 4,5 milhões ha, mostrando o aumento de 4,4% em relação a 2008, apesar da crise econômica.

O estado do Espírito Santo contribui com aproximadamente 4,5% do total de área com floresta plantada de eucalipto (204,5 mil ha) (ABRAF, 2010). De acordo com Valverde et al. (2005), com relação à balança comercial do

estado capixaba, o setor florestal está situado entre os três setores que mais contribuem para formação do PIB estadual, e sua base constitui majoritariamente do cultivo do híbrido clonal de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*, com a finalidade de produção de celulose para exportação.

Todavia, a área florestal plantada no Brasil é muito inferior à proporção que é ocupada em países da Europa, China, Índia e Japão.

A madeira de eucalipto destaca-se pela diversidade de seu uso, tendo como principais finalidades a produção de celulose e a geração de energia (carvão vegetal), além de lenha, mourões, estacas, dormentes, construções, laminação, postes, serraria e móveis, entre outras (ANGELI, 2005).

Contudo, o investimento em florestas plantadas é considerado como de longo prazo e este fato tem se tornado muitas vezes como obstáculo para interessados em investir na atividade de silvicultura. Mesmo assim, pesquisas realizadas para avaliar a viabilidade de projetos florestais têm mostrado que há viabilidade nesse tipo de atividade (RODRIGUEZ et al., 1997; SOARES et al., 2003a; REZENDE et al., 2006; SOUZA et al. 2007; OLIVEIRA et al., 2008), apesar do alto custo do investimento (SILVA et al., 2005) ser um dos entraves.

Dependendo das finalidades de uso da madeira, algumas já citadas, essa é obtida em horizontes de planejamento diferentes, podendo alguns povoamentos apresentar prazos mais longos que outros. No entanto, independente do período de rotação, esses povoamentos podem ser analisados economicamente por meio da aplicação de métodos específicos para esse fim.

As condições do mercado consumidor, as condições financeiras e o objetivo do empreendedor afetam diretamente a escolha do momento ótimo de colheita da madeira, ou seja, o horizonte de planejamento do empreendimento (RODRIGUES, 1997). Com isso, dentre as diferentes alternativas de uso da madeira, espera-se obter maior retorno econômico, quando se consegue definir o produto a ser gerado em sua respectiva idade ótima de corte.

Contudo, segundo Soares (2002), vê-se uma grande oportunidade em diversos produtos madeireiros, na forma de multiprodutos de madeira, devido ao crescente aumento da demanda por estes mercados. Mesmo assim, a sua exploração ainda é limitada, por falta de conhecimento sobre sua viabilidade econômica.

Muitos estudos já foram executados analisando o investimento florestal para obtenção de multiprodutos de madeira (CHICHORRO, 2000; SOARES, 2002, e SANTOS, 2008). Esses autores analisaram a alternativa de uso para serraria, celulose e carvão vegetal.

No entanto, essas alternativas requerem um horizonte de planejamento de no mínimo seis anos. Com isso, pesquisas sobre avaliação econômica de alternativas de uso da madeira de povoamentos com idade inferior podem dar suporte para auxiliar produtores florestais em seu processo de tomada de decisão.

Diversos trabalhos, como de Rezende et al. (2006) e Oliveira et al. (2008) têm se dedicado à avaliação econômica de projetos florestais. Nestes, o resultado apresentado em sua grande maioria é mostrado como viável. Porém, quando se trata da realidade do produtor rural, o qual nem sempre apresenta grandes extensões de área para o cultivo de florestas, o longo prazo da atividade de silvicultura é, na maioria das vezes, considerado como obstáculo para o investimento. Diante disso, há a necessidade de realizar uma análise diferenciada daquela feita para a grande empresa. O emprego de alternativas que geram a diversificação de produção na propriedade surge como um grande passo para suprir o retorno no curto prazo e ter garantia de lucro em períodos mais longos, como a implantação dos sistemas agroflorestais que envolvem culturas agrícolas e florestais (SOUZA et al., 2007). Esta é, também, uma maneira de agregar valor a renda do produtor rural.

Em relação à implantação de povoamentos florestais por produtores rurais, a grande maioria ainda realiza os plantios sem o planejamento adequado e sem a definição correta da finalidade de uso da madeira, e na maioria dos casos por desinformação. Porém, sabe-se que, dependendo da finalidade de uso ou o objetivo do empreendedor, o período de corte será diferente e isso afeta significativamente a quantidade a ser produzida e as receitas do produtor (CAMPOS e LEITE, 2009).

Isso mostra a necessidade de se ter o planejamento adequado das atividades que permite alcançar sucesso, o que é válido para o setor florestal (SILVA et al., 2010).

Observa-se então que o planejamento da atividade de silvicultura é imprescindível e a obtenção de informações básicas que dão suporte à tomada

de decisão por parte dos produtores, torna-se de extrema necessidade. O planejamento é uma ferramenta importante para que a execução de um projeto seja bem conduzida e a determinação da idade ótima de corte para cada finalidade de uso da madeira é fundamental nesse processo para que o empreendedor obtenha a maior rentabilidade na atividade desenvolvida. Para isso, métodos de avaliação econômica associados a estudos com modelos de crescimento e produção são fundamentais para se chegar a esses resultados (RODRIGUES, 1997).

Assim, a dissertação é composto por uma revisão bibliográfica que aborda temas relacionados aos assuntos tratados nos capítulos. Em seguida, são apresentados três capítulos: Capítulo 1: Caracterização dendrométrica de povoamentos de eucalipto em diferentes idades; Capítulo 2: Quantificação de multiprodutos de povoamentos de eucalipto de diferentes idades; Capítulo 3: Avaliação econômica de povoamentos de eucalipto para multiprodutos.

Então, o objetivo geral foi realizar a caracterização dendrométrica e avaliar economicamente povoamentos de eucalipto.

Para isso, foram definidos os seguintes objetivos específicos:

- 1) obter informações quanto às variáveis dendrométricas e de produção de quatro povoamentos clonais de eucalipto;
- 2) avaliar funções de afilamento e quantificar a madeira para uso único e multiprodutos;
- 3) avaliar economicamente as possibilidades de uso da madeira nos quatro povoamentos em estudo; e
- 4) dar suporte para tomada de decisão a empreendedores interessados em investir na atividade de silvicultura de eucalipto.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1. MODELOS DE AFILAMENTO (*TAPER*) E MULTIPRODUTOS

O termo *taper* refere-se ao afilamento natural do tronco da árvore (SOARES et al., 2007). As equações de afilamento ou *taper* são empregadas para descrever o afilamento do tronco de árvores, ou seja, o decréscimo do diâmetro ao longo do fuste a partir da base. A flexibilidade dessas funções permite a estimação de diâmetros acima do diâmetro a 1,30m do solo (*DAP*), bem como alturas correspondentes a qualquer diâmetro e volumes de diferentes seções ao longo do tronco (CAMPOS e LEITE, 2009).

HUSCH et al. (1993) também afirmam que é de grande importância o conhecimento sobre o afilamento do tronco na determinação de multiprodutos de madeira.

Diversos modelos de afilamento já foram propostos por pesquisadores florestais destacando-se Kozak et al. (1969), Demaerschalk (1972) e Ormerod (1973). O ajuste desses modelos é obtido por meio de procedimentos estatísticos de análise de regressão.

Conforme estudo realizado por LIMA (1986), o autor relata que a flexibilidade das funções de *taper* e a forma do perfil do tronco de cada espécie são os fatores que mais determinam a eficiência deste tipo de função. Com isso, observa-se que um modelo que pode ser eficiente para determinada espécie e submetida a certas condições, pode não o ser para outra.

E ainda, para uma mesma espécie, um bom ajuste de um modelo para estimar o diâmetro não necessariamente irá garantir uma boa estimação para altura e/ou volume, e vice-versa. Souza et al. (2008a) em uma pesquisa realizada com *Pinus taeda*, mostraram que para diferentes comprimentos ao longo do tronco tem-se modelos diferentes para estimar o diâmetro. No mesmo estudo, a estimação do volume também se mostrou diferenciada para os diferentes comprimentos analisados.

Mendonça et al. (2007), em um estudo com espécie do gênero *Eucalyptus*, com base nas estatísticas empregadas concluíram que o modelo de Ormerod apresentou melhor estimativa para os volumes e o modelo de Schöepfer estimou melhor as alturas.

O emprego desses modelos pode ser diversificado, servindo tanto para povoamentos plantados como para formações nativas e heterogêneas. Assim, CHICHORRO et al. (2003), em estudo realizado em floresta no Bioma Mata Atlântica, com o objetivo de quantificar multiprodutos de espécies comerciais nativas, obteve equações de volume e de afilamento para estimar alturas ao longo do tronco das árvores. Nesse trabalho, o modelo de Demaerschalk foi considerado o melhor para tal finalidade.

A avaliação desses modelos é dada pela aplicação conjunta de diversas estatísticas. As mais usuais na área florestal são o erro padrão ( $S_{yx}\%$ ), coeficiente de determinação ajustado ( $R^2_{aj}$ ), viés ( $v$ ), média das diferenças absolutas ( $MD$ ) e desvio padrão das diferenças ( $DPD$ ), além de complementação com a análise gráfica de resíduos. Alguns autores aplicaram esses procedimentos em suas análises de modelos podendo citar Mendonça et al. (2007), SOUZA et al. (2008b), SOUZA et al. (2008c) e SOUZA (2009).

Como as funções de afilamento possibilitam determinar a que altura está qualquer diâmetro acima do DAP, inclusive o diâmetro mínimo de uso comercial de determinada finalidade de uso, é possível determinar o uso do fuste para multiprodutos (ou sortimentos).

As funções de afilamento são, segundo Souza et al. (2008b), alternativas viáveis na quantificação de multiprodutos de madeira de povoamentos florestais.

O conceito de multiprodutos refere-se quando se consegue extrair de madeira de um mesmo fuste para diferentes usos e, ainda, o aproveitamento dos resíduos, podendo essa alternativa ser considerada de maior possibilidade de remuneração (SOARES et al., 2003b).

O investimento em plantações florestais com finalidade para multiprodutos é uma alternativa atual que visa o melhor aproveitamento da produção volumétrica de madeira com o objetivo de buscar um maior retorno econômico. Desde que adotada práticas corretas de manejo com objetivo de agregar valor à madeira, por meio da obtenção de multiprodutos, é bem provável que se tenha a maximização dos lucros (ASSIS et al., 2002).

Soares et al. (2003a) defende que o investimento em florestas para multiprodutos é a melhor alternativa em comparação ao uso único, gerando assim um retorno econômico superior.

Contudo, observa-se que essa realidade ainda é mais notável em empresas de grande porte do setor florestal, em que conduz povoamentos florestais e destina a produção de madeira para usos mais nobres e que apresentam maior valor agregado do seu produto final, como celulose e serraria em conjunto (SOARES, 2002).

Assim, vê-se na combinação entre a aplicação das técnicas de modelagem de funções de afilamento e a quantificação de multiprodutos como uma importante contribuição ao planejamento de projetos florestais (SOUZA, 2008a).

E ainda, propiciar diferentes usos do tronco de árvores para diversas finalidades é uma importante alternativa, devido às diversidades de uso pelo mercado consumidor de produtos florestais (SANTOS, 2008).

## 2.2. AVALIAÇÃO ECONÔMICA DE PROJETOS FLORESTAIS

No planejamento de projetos florestais a viabilidade de execução deve considerar alguns aspectos importantes dentre eles o legal, o técnico, o ambiental, o social e o econômico. Dentre os citados, o econômico merece destaque, pois sua informação refere-se à viabilidade do projeto quanto ao lucro ou retorno do capital investido, e assim, auxilia a tomada de decisão quanto à possibilidade de investimento.

A avaliação econômica de projetos florestais baseia-se no fluxo de caixa com as receitas e os custos distribuídos ao longo do horizonte de planejamento. Ou seja, faz-se o deslocamento dos valores de custos e receitas distribuídos ao longo do horizonte de planejamento, para o período inicial, para serem comparados. Esse procedimento é empregado com a aplicação de uma taxa de juros, o que permite que esses valores sejam alocados para o período inicial, considerando o regime de juros compostos, caracterizando a descapitalização. Assim, os projetos são avaliados em um mesmo período no tempo (CHICHORRO et al., 2010).

Diversos métodos são aplicáveis com a finalidade de avaliar economicamente um projeto. Estes podem ser classificados de acordo com a variação do capital no tempo, ou seja, sob o efeito de uma taxa de juros fixa e positiva (SILVA et al., 2005).

Na área florestal são empregados os que consideram essa variação, e segundo Rezende e Oliveira (2008) cinco métodos pertencentes a esse grupo podem ser aplicados: Valor Presente Líquido (VPL), Taxa Interna de Retorno (TIR), Benefício Periódico Equivalente (BPE), Relação Benefício/Custo (B/C) e Custo Médio de Produção (CMP). Destes, os três primeiros são os mais empregados na área florestal.

O Valor Presente Líquido é determinado pela diferença positiva entre o somatório das receitas e os custos descapitalizados ao longo do horizonte de planejamento de um projeto florestal, podendo ser expresso pela fórmula:

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

em que:

$VPL$  = Valor Presente Líquido;

$R_j$  = receita no período  $j$ ;

$C_j$  = custo no período  $j$ ;

$i$  = taxa de juros;

$j$  = período de ocorrência de custos e receitas;

$n$  = número de períodos do horizonte de planejamento do projeto.

Este é o principal método de avaliação econômica, e conduz a resultados corretos quando se trata de comparação de projetos, com o mesmo horizonte de planejamento (SILVA et al., 2005).

Os projetos são considerados viáveis economicamente quando o VPL for positivo e são inviáveis quando apresentam valores negativos. Quando o resultado for igual a zero, diz-se que o projeto não apresenta lucro e nem prejuízo, pois o somatório das receitas é igual ao dos custos.

Sua regra de decisão diz que o projeto que apresente maior valor positivo de VPL deve ser preferido em relação aos demais. Os demais métodos têm seu princípio baseado no VPL.

A Taxa Interna de Retorno é outro método utilizado na comparação de projetos, apresenta como resultado a medida da taxa de crescimento periódico do projeto, em percentagem. Sua fórmula é mostrada a seguir:

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

em que:

*TIR* = Taxa Interna de Retorno;

*R<sub>j</sub>* = receita no período *j*;

*C<sub>j</sub>* = custo no período *j*;

*j* = período de ocorrência de custos e receitas;

*n* = número de períodos do horizonte de planejamento do projeto.

Pela fórmula observa-se que a Taxa Interna de Retorno é a taxa em que o somatório das receitas iguala-se ao somatório dos custos, ambos descapitalizados. Ou seja, quando o Valor Presente Líquido é nulo. Ela refere-se ao retorno percentual e periódico do projeto.

Com isso, para determinar a viabilidade dos projetos deve ser considerada uma taxa auxiliar chamada de Taxa Mínima de Atratividade (TMA), também conhecida como Taxa Alternativa de Mercado (TAM) (CHICHORRO et al., 2010) – usada como base para comparação – (sendo recomendado utilizar aquela que represente o retorno da melhor opção alternativa de mercado).

A decisão sobre a viabilidade recai no fato de comparar a TIR à TAM. Quando a TIR for maior do que a TAM, o projeto é viável. E ainda, é inviável quando a TAM supera a TIR. Conseqüentemente, os projetos que apresentarem maior valor de TIR devem ser os preferíveis para investimento na tomada de decisão.

Outro método muito recomendado e de extrema aplicação na área florestal, principalmente em situações que se pretende comparar projetos de durações diferentes, é o Benefício Periódico Equivalente.

Este método tem ligação direta com o VPL, e o seu valor resposta refere-se ao ganho periódico ao longo do horizonte de planejamento, ou seja, descreve o rendimento médio periódico do projeto em valores monetários, conforme fórmula a seguir:

$$BPE = \frac{VPL[(1+i)^t - 1]}{1 - (1+i)^{-nt}}$$

Em que:

*BPE* = Benefício Periódico Equivalente;

*VPL* = Valor Presente Líquido;

*i* = taxa de juros;

*n* = número de períodos do horizonte de planejamento do projeto;

*t* = número de períodos de capitalização dentro do período de ocorrência das parcelas.

Como regra de decisão, quanto maior o valor do BPE, mais viável é o projeto. Em caso de resultados negativos, diz-se que o projeto não traz lucro para o investidor.

Para obter a rotação econômica ótima de corte, o método do Benefício Periódico Equivalente deve ser preferível em aplicação, pois, por se tratar de possibilidades de colheita em períodos diferentes, este conduz a resultados mais consistentes, já que considera o período de aplicação dos custos e receitas.

No caso de investimentos em povoamentos florestais para obtenção de multiprodutos, o método do Benefício Periódico Equivalente é também aplicado devido à ocorrência de finalidades de uso em períodos diferentes.

Outro método que gera informação importante para a tomada de decisão em projetos florestais é o Custo Médio de Produção (CMP). Este é importante para determinar o preço mínimo que um determinado produto pode ser vendido. Como regra de decisão, quanto menor o CMP, mais aceitável economicamente será um projeto. Sua fórmula de cálculo é apresentada a seguir:

$$CMP = \frac{\sum C_n / (1+i)^n}{Q_n / (1+i)^n}$$

em que:

*C<sub>n</sub>* = custo ocorrido no período *n*;

*Q<sub>n</sub>* = quantidade produzida no período *n*;

*i* = taxa de juros;

*n* = número de períodos no horizonte de planejamento;

Contudo, a aplicação isolada destes métodos não é apreciável, sendo importante o uso combinado destes para auxiliar na tomada de decisão do manejador florestal.

De acordo com a literatura, em diversos estudos realizados envolvendo avaliação econômica de projetos florestais, os autores utilizam mais de um método como critério de avaliação (FIGUEIREDO et al., 2005; OLIVEIRA et al., 2008; REZENDE et al., 2006; SOARES et al., 2003b; SOUZA et al., 2007). Observa-se que o recomendável é que sejam utilizados dois ou três métodos de avaliação em conjunto na comparação de projetos florestais.

Assim, cabe ressaltar que para garantir um sistema que consiga suprir a demanda de mercado, é necessária uma logística especializada e bem ordenada. Na área florestal, por se tratar de projetos de longo prazo, acaba tornando-se inviável, não do ponto de vista econômico, mas no planejamento específico para esse fim deixando, muitas vezes, de se observar outros aspectos relevantes do investimento (legal, social, ambiental e técnico). Assim, pesquisas visando mostrar resultado positivo nesse tipo de investimento são de fundamental importância para o sucesso de investidores em seus projetos florestais.

Diversos fatores devem ser considerados na avaliação de projetos florestais, pois pequenas alterações podem levar um empreendimento ao insucesso. Entre esses fatores estão os custos envolvidos na atividade florestal. De acordo com Soares et al. (2003a), aumentos no custo da terra afetam diretamente a rentabilidade de um projeto e proporcionam baixo retorno econômico. Oliveira et al. (2008) também chamam atenção para o valor da terra afirmando que, seu preço, nível de produtividade e a distância até o local consumidor de matéria-prima determinam a viabilidade ou inviabilidade da atividade.

O custo de transporte é outro fator importante que deve ser levado em consideração, pois dependendo da distância entre o povoamento florestal e a unidade consumidora de madeira, pode inviabilizar o empreendimento. Assim, Silva et al. (2005) ressaltam que são decisões estratégicas e devem ser bem planejadas para que se tenha sucesso na atividade florestal.

Outra informação que se deve considerar é o valor da taxa de desconto, ressaltando-se que, quanto menor a taxa de juros empregada, maior será o lucro por parte do investidor (SOARES et al., 2003a).

Assim, na atividade florestal, o planejamento antecipado pode ser considerado como o principal caminho para se obter sucesso e retorno econômico satisfatório nestes tipos de empreendimento. Acima de tudo, a análise de mercado é crucial nas tomadas de decisão, pois por se tratar de projetos de longo prazo, requerem atenção aos riscos que podem ocorrer ao longo da vida útil do projeto.

### 3. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRAF. **Anuário Estatístico da Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas (ABRAF)**: ano base 2009. Brasília: ABRAF, 2010, 140 p.

ANGELI, A. **Indicações para escolha de espécies de Eucalyptus**. IPEF, 2005. Disponível em: <<http://www.ipef.br/identificacao/eucalyptus/indicacoes.asp>> Acesso em: 01 maio 2010.

ASSIS, A. L. de; SCOLFORO, J. R. S.; MELLO, J. M. de; OLIVEIRA, A. D. de. Avaliação de modelos polinomiais não-segmentados na estimativa de diâmetros e volumes comerciais de *Pinus taeda*. **Ciência Florestal**, v.12, n.1, p.89- 107, 2002.

CAMPOS, J. C. C.; LEITE, H. G. **Mensuração Florestal: perguntas e respostas**. 3. ed. atualizada e ampliada. Viçosa-MG, Editora UFV, 548 p., 2009.

CHICHORRO, J. F.; BAUER, M. O.; ANDRADE, W. S. P.; SILVA, G. F.; SANTOS, F. R.; SILVA, J. L.; NOGUEIRA, M. A. Avaliação econômica de projetos florestais. In: CHICHORRO, J. F.; BAUER, M. O.; GARCIA, G. O.; CALDEIRA, M. V. W. **Tópicos especiais em ciências florestais**. 1 ed. Visconde do Rio Branco: Suprema, 2010, v. 1, p. 231-260.

CHICHORRO J. F.; REZENDE, J. L. P.; LEITE, H. G. Equações de volume e de taper para quantificar multiprodutos da madeira em Floresta Atlântica. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.27, n.6, p.799-809, 2003.

CHICHORRO, J. F. **Análise estrutural e econômica de multiprodutos da madeira**. 241 f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, 2000.

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

FIGUEIREDO, E. O.; OLIVEIRA, A. D.; SCOLFORO, J. R. S. Análise econômica de povoamentos não-desbastados de *Tectona grandis* L.f., na microrregião do rio Acre. **Revista Cerne**, Lavras-MG, v.11, n.4, p.342-353, 2005.

HUSCH, B.; MILLER, C.I.; BEERS, T.W. **Forest mensuration**. New York: The Ronald Press, 1993. 410 p.

KOZAK, A. et al. Taper functions and their application in Forest inventory. **Forestry Chronicle**, v. 45, n. 4, p. 278-283, 1969.

LIMA, F. S. **Análise de funções de taper destinadas á avaliação de multiprodutos de árvores de Pinus elliottii**. 79 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, 1986.

MENDONÇA, A. R.; SILVA, G. F.; OLIVEIRA, J. T. S.; NOGUEIRA, G. S.; ASSIS, A. L. Avaliação de funções de afilamento visando a otimização de fustes de *Eucalyptus* sp. para multiprodutos. **Revista Cerne**, Lavras-MG, v.13, n.1, p.71-82, 2007.

OLIVEIRA, A. D.; FERREIRA T. C.; SCOLFORO, J. R. S.; MELLO, J. M.; REZENDE, J. L. P. Avaliação econômica de plantios de *Eucalyptus grandis* para a produção de celulose. **Revista Cerne**, Lavras-MG, v.14, n.1, p.82-91, 2008.

ORMEROD, D. W. A simples bole model. **The Forestry Chronicle**, v. 49, n. 3, p. 136-138, 1973.

REZENDE, J. L. P.; OLIVEIRA, A. D. **Análise econômica e social de projetos florestais**. 2. ed. Viçosa-MG, Editora UFV, 386 p., 2008.

REZENDE, J. L. P.; PADUA, C. T. J.; OLIVEIRA, A. D.; SCOLFORO, J. R. S. Análise econômica de fomento florestal com eucalipto no estado de Minas Gerais. **Revista Cerne**, Lavras-MG, v.12, n.3, p.221-231, 2006.

RODRIGUES, F. L. **Regulação de florestas equiâneas utilizando programação linear**. Viçosa-MG, p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa. 1997.

RODRIGUEZ, L. C. E.; BUENO, A. R. S.; RODRIGUES, F. Rotações de eucalipto mais longas: análise volumétrica e econômica. **Scientia Forestalis**, n. 51, p. 15-28, 1997.

SANTOS F. L. **Regulação da produção de floresta de eucalipto submetida a desbaste e destinada a multiprodutos**. 80p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, 2008.

SILVA, G. F.; CHICHORRO, J. F.; PIASSI, L. C.; CURTO, R. A.; MÔRA, R.. Técnicas em pesquisa operacional aplicadas à engenharia florestal. In: CHICHORRO, J. F.; BAUER, M. O.; GARCIA, G. O; CALDEIRA, M. V. W. **Tópicos especiais em ciências florestais**. 1 ed. Visconde do Rio Branco: Suprema, 2010, v. 1, p. 261-324.

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

SOARES, C. P. B.; PAULA NETO, F.; SOUZA, A. L. **Dendrometria e Inventário Florestal**. Viçosa-MG, Editora UFV, 276 p., 2007.

SOARES, N. S.; SOUSA, E. P.; SILVA, M. L. **Importância do setor florestal para a economia brasileira**. In: Congresso da Sociedade Brasileira de Economia, Administração e Sociologia Rural. Rio Branco-AC, 2008. Disponível em: <<http://www.sober.org.br/palestra/9/214.pdf>>. Acesso em 15 jun. 2010.

SOARES, T. S.; CARVALHO, R. M. M. A.; VALE A. B. Avaliação econômica de um povoamento de *Eucalyptus grandis* destinado a multiprodutos. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.27, n.5, p.689-694, 2003. (a)

SOARES, T. S.; VALE, A. B.; LEITE, H. G.; MACHADO, C. C. Otimização de multiprodutos em povoamentos florestais. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.27, n.6, p.811-820, 2003. (b)

SOARES, T. S. **Otimização do uso da madeira em povoamentos de eucalipto**. Viçosa-MG, 49 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa. 2002.

SOUZA, A. N.; OLIVEIRA, A. D.; SCOLFORO, J. R. S.; REZENDE, J. L. P.; MELLO, J. M. Viabilidade econômica de um sistema agroflorestal. **Revista Cerne**, Lavras-MG, v.13, n.1, p.96-106, 2007.

SOUZA, C. A. M. **Modelos de afilamento para *Pinus taeda* L. ajustados segundo a forma do tronco e métodos de estratificação**. 120 p. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, 2009.

SOUZA, C. A. M.; CHASSOT, T.; FINGER, C. A. G.; SCHNEIDER, P. R.; FLEIG, F. D. Modelos de afilamento para o sortimento do fuste de *Pinus taeda* L. **Revista Ciência Rural**, Santa Maria-RS, v.38, n.9, p.2506-2511, 2008.(a)

SOUZA, C. A. M.; SILVA, G. F.; XAVIER, A. C.; MEDONCA, A. R.; ALMEIDA, A. Q. Avaliação de modelos de afilamento não-segmentados na estimação da altura e volume comercial de *Eucalyptus* sp. **Ciência Florestal**, v. 18, p. 393-405, 2008.(b)

SOUZA, C. A. M. ; SILVA, G. F ; XAVIER, A. C. ; CHICHORRO, J. F ; SOARES, C. P. B ; SOUZA, A. L . Avaliação de modelos de afilamento segmentados na estimação da altura e volume comercial de fustes de *Eucalyptus* sp. **Revista Árvore**, v. 32, p. 453-463, 2008.(c)

VALVERDE, S. R.; REZENDE, J. L. P.; SILVA, M. L.; JACOVINE, L. A. G.; CARVALHO, R. M. M. A. Efeitos multiplicadores da economia florestal brasileira. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v. 27, n. 3, p. 285-293, 2003.

VALVERDE, S. R.; OLIVEIRA, G. G.; CARVALHO, R. M. A. M.; SOARES, T. S. Efeitos multiplicadores do setor florestal na economia capixaba. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v. 29, n.1, p. 85-93, 2005.

VIEIRA, L. A. N.; CARVALHO, R. M. M. A.; SOARES, T. S.; REZENDE, J. B. Caracterização do complexo florestal industrial. **Revista da Madeira**, Edição nº 91, 2005. Disponível em: <[www.remade.com.br/br/revistadamadeira\\_materia.php?num=780&subject=E%20mais&title=Caracteriza%20do%20complexo%20florestal%20industrial](http://www.remade.com.br/br/revistadamadeira_materia.php?num=780&subject=E%20mais&title=Caracteriza%20do%20complexo%20florestal%20industrial)>. Acesso em: 23 mai. 2010.

## Capítulo I

Caracterização dendrométrica de povoamentos  
de eucalipto em diferentes idades

## CARACTERIZAÇÃO DENDROMÉTRICA DE POVOAMENTOS DE EUCALIPTO EM DIFERENTES IDADES

**RESUMO** – O objetivo deste estudo foi ajustar modelos de relação hipsométrica e de volume, bem como obter informações sobre algumas variáveis dendrométricas em povoamentos de eucalipto clonal. Foram avaliados quatro povoamentos de clones híbridos (*Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*), com idades de 77 (povoamento 1), 72 (povoamento 2), 53 (povoamento 3) e 40 meses (povoamento 4), localizados no município de Jerônimo Monteiro, ES. Foi realizado inventário florestal amostral com alocação aleatória de 10 parcelas em cada povoamento. Nestas foram mensuradas *CAP* e *H das árvores*. Em seguida, foram cubadas árvores de acordo com a distribuição diamétrica de cada povoamento. O volume das árvores foi obtido pela fórmula de *Smalian*. Os modelos de relação hipsométrica avaliados foram: Linha Reta, Parabólico, Hiperbólico, Stoffels, Curtis e Prodan. Os modelos de volume ajustados para cada povoamento foram: Schumacher e Hall, Spurr Não-linear e Spurr Linear. Também foi calculado para cada povoamento média dos diâmetros, diâmetro médio, área basal por hectare e média das alturas. Para os povoamentos 1 e 3, o modelo de Stoffels foi o que proporcionou melhores estimativas para a altura total das árvores. Já o modelo de Prodan foi o mais eficiente nas estimativas do povoamento 2 para esta variável. E para o povoamento 4, o modelo de Curtis obteve melhor desempenho em relação aos demais modelos avaliados. Com relação ao volume, o modelo de Schumacher e Hall obteve melhores estimativas para os povoamentos de maior idade (1 e 2). Enquanto que nos povoamentos 3 e 4, o modelo de Spurr Não-linear apresentou melhor ajuste. Com relação às variáveis dendrométricas, observou-se que a média dos diâmetros, diâmetro médio e área basal apresentaram relação direta de aumento com relação ao aumento na idade dos povoamentos. A altura média do povoamento de 53 meses teve resultado superior ao do povoamento de 72 meses. Há indícios de que as variações encontradas neste estudo sejam devidas ao diferenciado material genético de cada um dos povoamentos, ou ainda, manejo adotado e a qualidade do local.

**Palavras-chave:** eucalipto, relação hipsométrica, modelos de volume.

## DENDROMETRIC CHARACTERIZATION OF EUCALYPTUS STANDS OF DIFFERENT AGES

**ABSTRACT** – The aim of this study was to adjust models hypsometric relationship and volume as well as information on some variables dendrometric in clones *Eucalyptus* plantations. Four growth stands of hybrid clones (*Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*), aged 77 (stand 1), 72 (stand 2), 53 (stand 3) and 40 months (stand 4), located in the town of Jerônimo Monteiro, ES. Forest inventory was conducted with random sampling of 10 plots by stand. These were measured CAP and H of trees. Then, trees were scaled according to the diameter distribution of each stand. The volume of trees was obtained by Smalian. Hypsometric relationship models were evaluated: Straight Line, Parabolic, Hyperbolic, Stoffels, Curtis and Prodan. Volume models were adjusted for each stand: Schumacher and Hall, Spurr Nonlinear and Spurr Linear. Was also calculated for each stand mean diameter, quadratic diameter, basal area per hectare and average heights. Stands for 1 and 3, the model Stoffels had the best estimates of total tree height. The model of Prodan was the most efficient estimates of the stand 2 for this variable. And to the stand 4, the model performed better Curtis in relation to other models evaluated. Regarding volume, the model of Hall and Schumacher won best estimates for the stands of older age (1 and 2). While in stands 3 and 4, the model presented Spurr Nonlinear best fit. With respect to the variables dendrometric noted that the mean diameter, mean diameter and basal area showed a direct relation to increase in relation to the increase in stand age. The average height of the stand of 53 months was higher than the result of stand of 72 months. There are indications that the variations found in this study are due to different genetic material from each of the settlements, or even management type and quality of the site.

**Keywords:** *Eucalyptus*, hypsometric relationship, models of volume.

## 1. INTRODUÇÃO

O setor florestal brasileiro está entre os mais competitivos do mundo e isto devido à grande contribuição dos avanços tecnológicos no setor, condições de solo e clima favoráveis, refletindo, principalmente em aumentos na produtividade.

A pesquisa florestal foi importante neste processo, em particular quanto ao melhoramento genético de espécies de eucalipto, aumentando a eficiência na formação de híbridos altamente produtivos. Aliado a isso, e que foi um grande fato que marcou a silvicultura brasileira, foi a Lei 5.106 de 1966 que instituiu os incentivos fiscais, dando grande impulso para o crescimento da área de florestas plantadas. E os povoamentos atualmente instalados, principalmente com espécies do gênero *Eucalyptus*, adaptaram-se bem às condições edafoclimáticas do Brasil e, por isso, espécies deste gênero são as mais utilizadas em maciços florestais no país.

O estado do Espírito Santo tem se destacado por contribuir com uma parcela considerável para o setor florestal (204,57 mil ha), principalmente no mercado de produção de madeira para celulose de fibra curta (ABRAF, 2010). Contudo, os povoamentos estão em maior concentração na região norte do estado.

Por meio de programas de fomento e com recursos financeiros próprios, a região sul do Espírito Santo tem apresentado uma considerável contribuição nos últimos anos, principalmente por povoamentos isolados em propriedades rurais.

Os povoamentos florestais têm como principal finalidade a produção de madeira para diversas finalidades como, celulose, carvão vegetal, lenha, mourões, construção civil (escoras), painéis, móveis, entre outros.

Para determinar as condições de um povoamento florestal é necessário obter informações quanto às suas características dendrométricas, pois estas estão intimamente relacionadas e são sempre utilizadas como base para estimar outras variáveis, bem como auxiliares em modelos de crescimento, produção e determinação de curvas de índice de local.

Assim, para obter conhecimento sobre determinado povoamento, faz-se necessário mensurar as variáveis dendrométricas, com o uso de técnicas de

amostragem comumente aplicáveis em inventário florestal (SHIVER e BORDERS, 1996; HUSCH, et al., 2003).

No inventário florestal, é possível obter informações quanto a variáveis dendrométricas e realizar projeções para todo o povoamento com a finalidade de conhecer as características desse povoamento.

As variáveis básicas de maior utilidade e de fácil obtenção são o diâmetro e a altura das árvores. Por meio dessas variáveis é possível determinar outras variáveis importantes, bem como realizar estimativas quanto à produção e crescimento de povoamentos.

O diâmetro a 1,30 m do solo (DAP) é uma das variáveis mais importantes em mensuração florestal, pois está diretamente relacionada com o volume. Também é bastante útil em relações hipsométricas (ENCINAS, et al. 2002).

O diâmetro médio, ou quadrático, é uma variável estatística fundamental e está presente em resumos de inventários florestais. Esta variável informa sobre o porte das árvores, pois tem ligação com a área basal (B), e, ainda, representa a árvore com área seccional média (SOARES et al., 2007). Outra variável fundamental e que é dependente do DAP é área basal (B), que indica a ocupação da área por madeira. Sua aplicação é importante em modelos de crescimento e produção. A altura (H), assim como o diâmetro, são amplamente empregados em modelos de estimação de volume das árvores, além de serem úteis na construção de curvas de índice de local, auxiliando na tomada de decisão no manejo dos povoamentos (CAMPOS e LEITE, 2010).

Como as informações quanto às variáveis dendrométricas para povoamentos de eucalipto na região sul do Espírito Santo ainda são praticamente vagas, há necessidade de estudos que dêem tal resposta para suprir essa carência e gerar informações preliminares para auxiliar nas decisões quanto ao uso da madeira.

Assim, o objetivo deste estudo foi ajustar modelos de relação hipsométrica e modelos volumétricos e obter informações sobre algumas variáveis dendrométricas de povoamentos clonais, além de obter informações para dar suporte quanto ao uso da madeira desses povoamentos.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1. ÁREA DE ESTUDO

Os dados utilizados neste estudo foram obtidos de povoamentos florestais clonais de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*, pertencentes a produtores rurais, localizados no município de Jerônimo Monteiro, na região sul do estado do Espírito Santo (Figura 1).

O local onde estão esses povoamentos tem a altitude média de 700 m ao nível do mar. O solo característico da região apresenta predomínio de Latossolo Vermelho-Amarelo (IBGE, [s.d.]).

O clima da região Sul do Espírito Santo se enquadra no tipo CWa (Clima de inverno seco e verão chuvoso), de acordo com a classificação de Köppen (SIQUEIRA et al., 2004). É caracterizado por apresentar variação climática, principalmente no sentido leste oeste, ou seja, de baixa altitude (áreas litorâneas) para altitudes elevadas (áreas serranas) (SANTOS, 1999). A topografia é caracterizada por um relevo bastante acidentado, intercaladas por reduzidas áreas planas. Ao longo da região predominam áreas de pastagens, com escassos remanescentes florestais nativos, localizados principalmente nos topos dos morros.

Na área, antes da atividade de silvicultura, cultivava-se café e praticava-se a pecuária de leite.

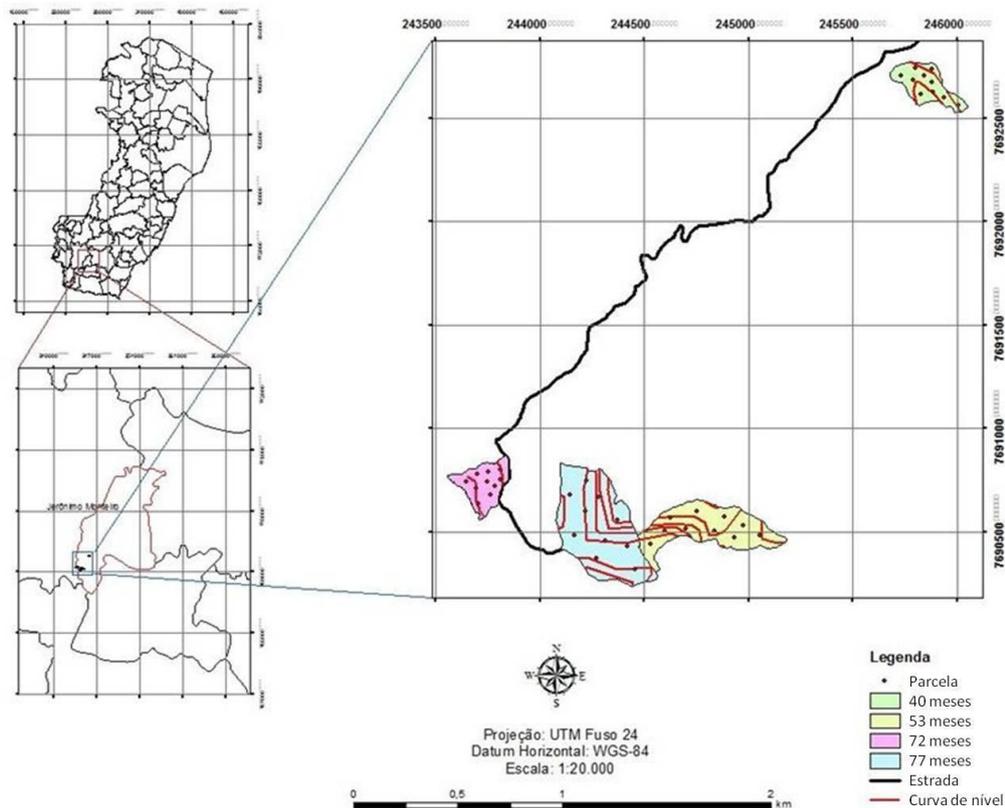


Figura 1 – Localização dos povoamentos clonais de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*, no município de Jerônimo Monteiro, ES.

## 2.2. COLETA DE DADOS

Para a obtenção dos dados foi realizado inventário florestal amostral nos quatro povoamentos, com idades diferentes (40, 53, 72 e 77 meses) e formadas por material genético distinto.

Os povoamentos foram conduzidos com espaçamento inicial de 3 x 3m, e com as áreas, conforme mostradas na Tabela 1.

Tabela 1 – Área e idade dos povoamentos clonais de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* usados para a obtenção dos dados.

Povoamentos	Idades (meses)	Áreas (ha)
1	77	16,20
2	72	4,21
3	53	9,90
4	40	7,75

Em cada povoamento foram lançadas 10 unidades de amostra de 396 m<sup>2</sup> (12 x 33 m) distribuídas aleatoriamente. O comprimento de 33 m foi exposto

no sentido do maior declive, respeitando a correção da declividade na alocação das parcelas.

Determinou-se a intensidade ótima de amostragem para a variável volume por parcela, para garantir a precisão do inventário, permitindo um erro máximo de amostragem de 10%. De acordo com Soares et al. (2007) a expressão que determina o número ótimo de unidades de amostra, segundo o método para populações finitas e com a precisão em termos percentuais, é dada por:

$$n = \frac{t^2(CV)^2}{(E\%)^2 + \frac{t^2(CV)^2}{N}}$$

em que:

$n$  = tamanho da amostra;

$E\%$  = erro permissível em torno da média, em percentagem;

$CV$  = coeficiente de variação da variável analisada (volume);

$t$  = valor tabelado da estatística *t* de *Student* ( $\alpha = 5\%$  e  $n-1$  g.l.); e

$N$  = número total de unidades amostrais na população.

Após a definição das unidades de amostra, foi obtida a circunferência a 1,30m do solo ( $CAP$ ) de todas as árvores e a altura total ( $H$ ) das doze primeiras. A circunferência foi medida com o uso de uma fita métrica de 1,50m e a altura com a utilização do relascópio de Bitterlich, considerando uma distância fixa de 20m das árvores. Os valores de  $CAP$  foram convertidos em  $DAP$  (diâmetro a 1,30m do solo).

Com os 120 pares de dados de diâmetro e altura das árvores obtidos das unidades de amostra, foram ajustados modelos de relação hipsométrica para cada povoamento em estudo, com a finalidade de estimar a altura das árvores que não foram mensuradas nas parcelas. O ajuste realizado em particular para cada condição específica de idade, baseado em Soares et al. (2004), é uma maneira de alcançar maior precisão nas estimativas. Para isso optou-se por utilizar modelos que expliquem a variação da altura total das árvores em função do  $DAP$ , conforme apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 – Modelos de relação hipsométrica em função do *DAP*, para estimar a altura total dos povoamentos 1, 2, 3 e 4.

Modelo	Ajuste
Linha Reta	$H = \beta_0 + \beta_1 DAP + \varepsilon$
Parabólico	$H = \beta_0 + \beta_1 DAP + \beta_2 DAP^2 + \varepsilon$
Hiperbólico	$H = \beta_0 + \beta_1 \left( \frac{1}{DAP^2} \right) + \varepsilon$
Stoffels	$Ln(H) = \beta_0 + \beta_1 Ln(DAP) + \varepsilon$
Curtis	$Ln(H) = \beta_0 + \beta_1 \left( \frac{1}{DAP} \right) + \varepsilon$
Prodan	$H = \left( \frac{DAP^2}{\beta_0 + \beta_1 DAP + \beta_2 DAP^2} \right) + \varepsilon$

em que:

- $H$  = altura total da árvore;
- $DAP$  = diâmetro a 1,30m do solo;
- $\beta_i$  = parâmetros do modelo; e
- $\varepsilon$  = erro aleatório.

A seleção dos modelos foi procedida por meio da análise do erro-padrão residual absoluto ( $S_{yx}$ ) e relativo ( $S_{yx}\%$ ), coeficiente de determinação ( $R^2$ ) e análise gráfica de resíduos. Os erros-padrões foram obtidos pelas seguintes fórmulas:

$$S_{yx} = \sqrt{QMR}$$

$$S_{yx}(\%) = \left( \frac{S_{yx}}{\bar{Y}} \right) 100$$

em que:

- $S_{yx}$  = Erro-padrão residual;
- $S_{yx}(\%)$  = Erro-padrão relativo;
- $QMR$  = Quadrado médio do resíduo;
- $\bar{Y}$  = Média observada da variável dependente.

O coeficiente de determinação adotado na análise foi o proposto por Kvalseth (1985), citado por Silva et al. (2008), em que preconiza que esta maneira de calcular o  $R^2$  atende a algumas exigências necessárias para a seleção de modelos, conforme é apresentada a seguir:

$$R^2 = 1 - \frac{\sum (y - \hat{y})^2}{\sum (y - \bar{y})^2}$$

em que:

$R^2$  = coeficiente de determinação;

$y$  = valor observado da variável dependente;

$\hat{y}$  = valor estimado da variável dependente;

$\bar{y}$  = média dos valores observados da variável dependente.

Outro critério também utilizado na comparação dos modelos foi o coeficiente de determinação ajustado, ou seja, corrigido para graus de liberdade. Isso devido os modelos testados apresentarem número de variáveis independentes diferentes e com isso número de parâmetros também diferentes. Sua fórmula é apresentada a seguir:

$$R_{aj}^2 = 1 - \left( \frac{n-1}{n-k-1} \right) (1 - R^2)$$

em que:

$R_{aj}^2$  = coeficiente de determinação ajustado;

$R^2$  = coeficiente de determinação;

$n$  = tamanho da amostra;

$k$  = número de regressores.

A partir dos dados coletados, foi analisada a distribuição diamétrica para determinar o número de classes de diâmetro e suas respectivas freqüências (número de árvores) em cada povoamento. Com essa informação procedeu-se a cubagem de árvores dos povoamentos, porém fora das unidades amostrais. As árvores selecionadas apresentaram diâmetro mínimo de 5 cm e as classes foram organizadas em intervalos de 2 cm.

De acordo com a distribuição dos diâmetros de cada povoamento foram definidas 14, 9, 8 e 6 classes para os povoamentos 1, 2, 3 e 4, respectivamente. Foram cubadas 58 árvores no povoamento 1; 39 no povoamento 2; 40 no povoamento 3; e 30 no povoamento 4. Nos povoamentos com maior número de classes de diâmetro (povoamentos 1 e 2) cubou-se 3 a 4 árvores nas classes mais extremas e, nas demais classes, foram cubadas 5 árvores. Já nos povoamentos 3 e 4, por apresentarem menor número de classes de diâmetro, foram cubadas 5 árvores para cada classe de diâmetro.

A frequência do número de árvores cubadas em cada povoamento por classe diamétrica e por classe de altura está destacada nas Tabelas 3, 4, 5 e 6.

Tabela 3 – Distribuição de frequência das árvores selecionadas para cubagem por classes de diâmetro e altura, no povoamento 1 (77 meses).

Classe de Diâmetro (cm)	Classe de Altura (m)					Total
	5 - 10	10 - 15	15 - 20	20 - 25	25 - 30	
5 - 7	1	2				3
7 - 9		3				3
9 - 11		2	2			4
11 - 13		1	3			4
13 - 15			2	3		5
15 - 17			1	4		5
17 - 19			1	4		5
19 - 21				5		5
21 - 23				3	2	5
23 - 25			1	2	2	5
25 - 27				3	1	4
27 - 29					4	4
29 - 31				1	2	3
31 - 33				1	2	3
Total	1	8	10	26	13	58

Tabela 4 – Distribuição de frequência das árvores selecionadas para cubagem por classes de diâmetro e altura, no povoamento 2 (72 meses).

Classe de Diâmetro (cm)	Classe de Altura (m)					Total
	5 - 10	10 - 15	15 - 20	20 - 25	25 - 30	
5 - 7	2	1				3
7 - 9		1	2			3
9 - 11		1	3	1		5
11 - 13			4	1		5
13 - 15			1	3	1	5
15 - 17				3	2	5
17 - 19				5		5
19 - 21				2	3	5
21 - 23				1	2	3
Total	2	3	10	16	8	39

Tabela 5 – Distribuição de frequência das árvores selecionadas para cubagem por classes de diâmetro e altura, no povoamento 3 (53 meses).

Classe de Diâmetro (cm)	Classe de Altura (m)					Total
	5 - 10	10 - 15	15 - 20	20 - 25	25 - 30	
5 - 7		4	1			5
7 - 9		3	2			5
9 - 11			4	1		5
11 - 13			4	1		5
13 - 15			4	1		5
15 - 17				5		5
17 - 19				5		5
19 - 21				5		5
<b>Total</b>	<b>0</b>	<b>7</b>	<b>15</b>	<b>18</b>	<b>0</b>	<b>40</b>

Tabela 6 – Distribuição de frequência das árvores selecionadas para cubagem por classes de diâmetro e altura, no povoamento 4 (40 meses).

Classe de Diâmetro (cm)	Classe de Altura (m)					Total
	5 - 10	10 - 15	15 - 20	20 - 25	25 - 30	
5 - 7		3	2			5
7 - 9		3	2			5
9 - 11			5			5
11 - 13				5		5
13 - 15				5		5
15 - 17				4	1	5
<b>Total</b>	<b>0</b>	<b>6</b>	<b>9</b>	<b>14</b>	<b>1</b>	<b>30</b>

As árvores selecionadas foram divididas em seções, sendo a primeira medida de diâmetro na altura de 0,10 m do solo, em seguida a 0,70 m, 1,30 m e posteriores medidas com intervalos de 2 m ao longo do tronco, a começar da altura de 2 m do nível do solo, até atingir a altura correspondente ao menor diâmetro possível de ser medido com o aparelho conforme tabela contida no seu manual de utilização elaborado por Barreiro et al. (2005), considerando que o observador se encontrava a uma distância fixa de 20 m da árvore.

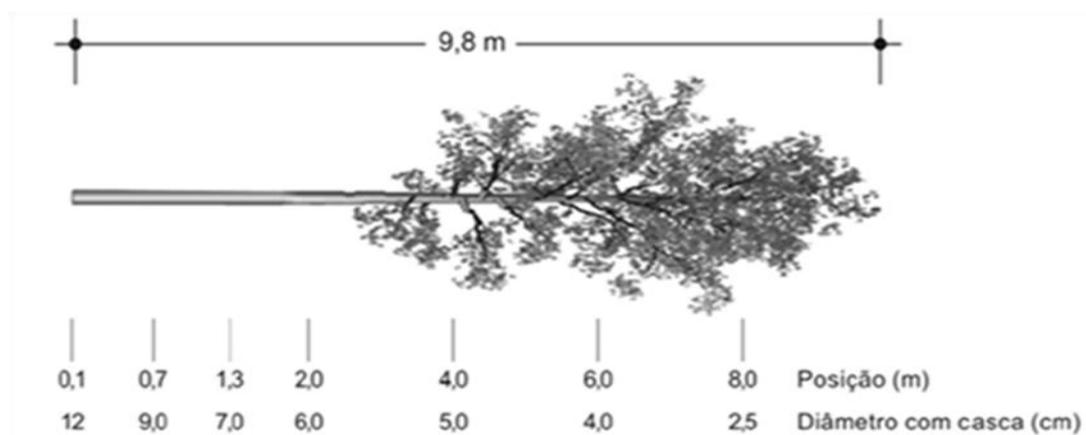
Para a distância de 20 m do ponto de observação do operador até a árvore, uma faixa estreita corresponde a 10 cm (1e = 10 cm), enquanto uma faixa larga a 40 cm (1L = 40 cm). Assim, pode-se medir diâmetros até 2,5 e 2

cm dividindo 1e em quatro e cinco partes, respectivamente (BARREIRO et al, 2005 ).

Em algumas situações não foram possíveis observar esses valores de diâmetros menores. Isso ocorreu quando estes diâmetros se encontravam em parte do tronco dentro da copa das árvores, dificultando a visualização por parte do operador. Assim, em alguns casos, a cubagem com o relascópio dava-se até o ponto em que era possível visualizar o tronco.

As medidas de diâmetro nas alturas 0,10 m, 0,70 m, 1,30 m e 2 m foram obtidas com uma fita métrica de 1,50 m. A partir da altura de 4 m, usou-se o relascópio para mensurar o diâmetro ao longo do tronco.

O volume individual das árvores foi obtido aplicando o método de *Smalian* nas seções até a altura com o menor diâmetro mensurado. A partir desse ponto até o topo (altura total) considerou-se o volume de um cone (1/3 do volume de uma seção calculado conforme *Smalian*). Assim, o volume total das árvores deu-se pelo somatório do volume obtido das seções e do cone (topo). A figura 2 ilustra o procedimento de cubagem.



Fonte: Campos e Leite (2009)

Figura 2 – Demonstração das subdivisões das árvores para a cubagem rigorosa.

Com as informações dos dados de cubagem foi possível determinar uma equação para estimar o volume das árvores amostradas nas parcelas. Assim, para cada povoamento foram ajustados modelos que determinam o volume em função da altura e do *DAP*. Os modelos avaliados foram de *Schumacher e Hall* e *Spurr* linear e não-linear, conforme descritos na Tabela 7.

Tabela 7 – Modelos volumétricos em função de H e DAP, para estimar o volume individual de árvores nos povoamentos 1, 2, 3 e 4.

Modelo	Ajuste
Schumacher e Hall	$V = \beta_0 DAP^{\beta_1} H^{\beta_2} + \varepsilon$
Spurr Não-linear	$V = \beta_0 (DAP^2 H)^{\beta_1} + \varepsilon$
Spurr Linear	$V = \beta_0 + \beta_1 (DAP^2 H) + \varepsilon$

em que:

$V$  = volume, em m<sup>3</sup>;

$DAP$  = diâmetro a 1,30 m do solo, em cm;

$H$  = altura total, em m;

$\beta_i$  = parâmetros dos modelos;

$\varepsilon$  = erro aleatório.

Assim como para os modelos de relação hipsométrica, os modelos de volume foram avaliados por meio dos critérios de erro-padrão residual absoluto ( $S_{yx}$ ) e relativo ( $S_{yx\%}$ ), coeficiente de determinação ( $R^2$ ) e análise gráfica de resíduos. Os modelos foram ajustados utilizando o *software* estatístico SAS (Statistical Analysis System), versão 9.2 (2008).

A partir desta etapa, pôde-se estimar o volume individual das árvores e também estimar a produção média por unidade de amostra e por hectare em cada povoamento. Considerou-se o nível de significância de  $\alpha = 5\%$ . Por meio da intensidade ótima de amostragem determinou-se o tamanho ótimo da amostra para cada povoamento.

Além disso, foi determinado o incremento médio anual (*IMA*) para determinar o crescimento médio até a idade em questão para cada povoamento em estudo, conforme Campos e Leite (2009).

$$IMA = \frac{V_I}{I}$$

em que:

$IMA$  = incremento médio anual, em m<sup>3</sup>/ha/ano;

$V_I$  = produtividade do povoamento na idade  $I$ , em m<sup>3</sup>/ha;

$I$  = idade do povoamento, em anos.

Também foram determinados a média aritmética dos diâmetros ( $\bar{d}$ ), o diâmetro médio ( $q$ ), área basal ( $B$ ) e altura média ( $\bar{H}$ ), para melhor

conhecimento sobre as características dendrométricas dos povoamentos. As fórmulas de cálculo destes, de acordo com Soares et al. (2007) são descritas a seguir:

$$\bar{d} = \frac{\sum_{i=1}^n DAP_i}{n}$$

em que:

$\bar{d}$  = média aritmética dos diâmetros;  
 $DAP_i$  = diâmetro a 1,30 m do solo da  $i$ -ésima árvore;  
 $n$  = tamanho da amostra.

$$q = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n DAP_i^2}{n}}$$

em que:

$q$  = diâmetro médio;  
 $DAP_i$  = diâmetro a 1,30 m do solo da  $i$ -ésima árvore;  
 $n$  = tamanho da amostra.

$$B = \frac{\sum_{i=1}^n g_i}{A}$$

em que:

$B$  = área basal, em m<sup>2</sup>/ha;  
 $g_i$  = área seccional da árvore  $i$ , em m<sup>2</sup>;  
 $n$  = tamanho da amostra;  
 $A$  = área da unidade de amostra, em ha.

$$\bar{H} = \frac{\sum_{i=1}^n H_i}{n}$$

em que:

$\bar{H}$  = média aritmética das alturas, em m;  
 $H_i$  = altura da árvore  $i$ , em m;  
 $n$  = tamanho da amostra.

Foi determinado o percentual de mortalidade de cada povoamento com base na amostragem do inventário florestal realizado.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

De acordo o inventário florestal, o número médio de árvores foi de 44 indivíduos por unidade de amostra.

Quanto à mortalidade, para os povoamentos 1 e 2, a taxa foi de 10,4% e 14,0%, respectivamente. Esses valores foram superiores em relação aos povoamentos 3 e 4 que apresentaram 4,7% e 3,6%, respectivamente. Isso já era esperado, pois esses povoamentos com maior idade apresentam a competição já estabelecida entre os seus indivíduos e, assim, apresentam maior mortalidade.

Quanto aos modelos de relação hipsométrica ajustados, estão apresentados para cada povoamento, com suas respectivas estatísticas nas Tabelas 8, 9, 10 e 11.

Para o povoamento 1 (Tabela 8), observa-se que os modelos Parabólico e Prodan apresentaram-se com pelo menos um de seus parâmetros como não-significativo a 5% de probabilidade pelo teste *t* de *Student*. Dentre os demais, todos tiveram erro-padrão muito próximos e o modelo selecionado foi o de Stoffels para estimar a altura total das árvores, pois este gerou menos tendência na distribuição dos resíduos (Figura 3).

Tabela 8 – Estimativas dos parâmetros e estatísticas das equações de relação hipsométrica ajustadas para o povoamento 1 (77 meses).

Modelos	$\hat{\beta}_0$	$\hat{\beta}_1$	$\hat{\beta}_2$	$S_{yx}$	$S_{yx}(\%)$	$R^2(\%)$	$R^2_{aj.}(\%)$
Linha Reta	7,4502*	0,8288*	-	2,68	12,19	63,40	63,09
Parabólico	0,2538 <sup>ns</sup>	1,7396*	-0,0270*	2,56	11,67	66,76	66,20
Hiperbólico	25,2799*	-772,8345*	-	3,13	14,24	50,05	49,63
Stoffels	1,1506*	0,6775*	-	2,62	11,94	64,89	64,59
Curtis	3,6035*	-8,6848*	-	2,58	11,76	65,97	65,69
Prodan	1,8511 <sup>ns</sup>	0,2347 <sup>ns</sup>	0,0250*	2,56	11,64	66,94	66,38

\* = significativo; e ns = não significativo a 5% de probabilidade pelo teste *t* de *Student*.

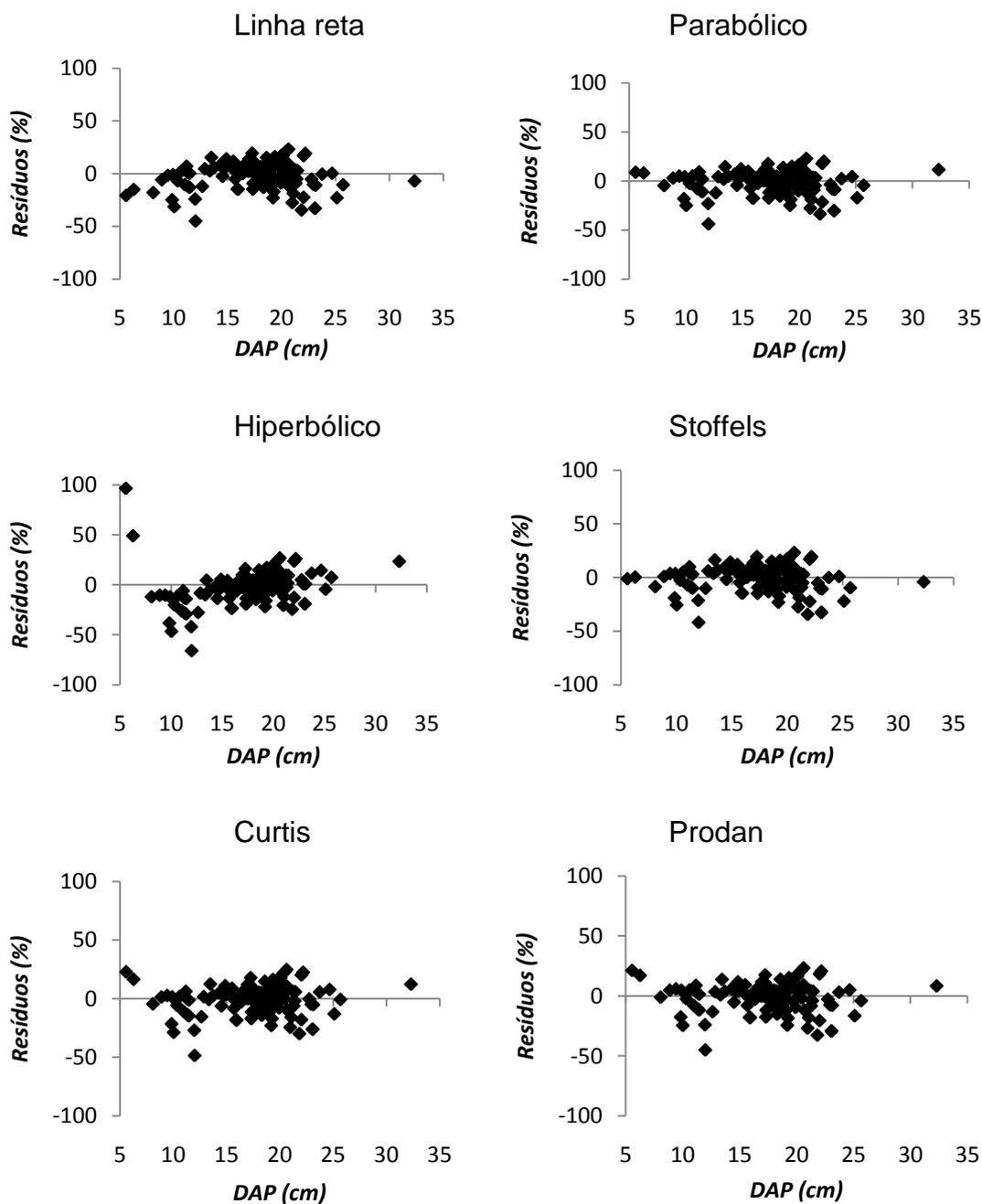


Figura 3 – Distribuição dos resíduos da altura, em porcentagem, em função do DAP, para os modelos de Linha Reta, Parabólico, Hiperbólico, Stoffels, Curtis e Prodan, para o povoamento 1.

Observando-se os resultados dos ajustes para o povoamento 2 (Tabela 9), o modelo de Stoffels que havia sido selecionado para o povoamento anterior, neste foi o que apresentou menor coeficiente de determinação, assim como o modelo de Curtis, além de um de seus parâmetros não-significativo. Por outro lado, o ajuste segundo os modelos de Prodan e Parabólico

apresentaram os maiores valores de  $R^2$ , porém o primeiro com menos tendência na sua distribuição de resíduos (Figura 4), sendo então o escolhido para este caso.

Tabela 9 – Estimativas dos parâmetros e estatísticas das equações de relação hipsométrica ajustadas para o povoamento 2 (72 meses).

Modelos	$\hat{\beta}_0$	$\hat{\beta}_1$	$\hat{\beta}_2$	$S_{yx}$	$S_{yx}(\%)$	$R^2$ (%)	$R^2$ aj. (%)
Linha Reta	-5,3725*	1,5179*	-	1,52	6,92	66,96	66,68
Parabólico	-58,7376*	7,5836*	-0,1712*	1,45	6,60	70,14	69,63
Hiperbólico	34,6827*	-4045,4232*	-	1,47	6,69	69,08	68,82
Stoffels	0,1120 <sup>ns</sup>	1,0180*	-	1,75	7,97	56,11	55,75
Curtis	4,0592*	-18,0270*	-	1,72	7,85	57,40	57,04
Prodan	55,0455*	-5,1678*	0,1619*	1,43	6,50	71,05	70,56

\* = significativo; e ns = não significativo a 5% de probabilidade pelo teste  $t$  de Student.

Os ajustes para o povoamento 3 (Tabela 10) tiveram os modelos de Stoffels e Curtis como de melhor desempenho, com maiores coeficientes de determinação e menores erros-padrão. Contudo, optou-se pelo modelo de Stoffels por apresentar os resíduos melhor distribuídos em relação à média comparada ao modelo de Curtis (Figura 5). Enquanto isso, os demais modelos mostraram-se ineficientes na estimação da variável dependente, por terem seus parâmetros não-significativos (Parabólico e Prodan) ou pelo baixo valor de  $R^2_{aj.}$  (Hiperbólico) e por apresentarem alguma tendência (Linha Reta), o que pode ser observado no gráfico de resíduos (Figura 5).

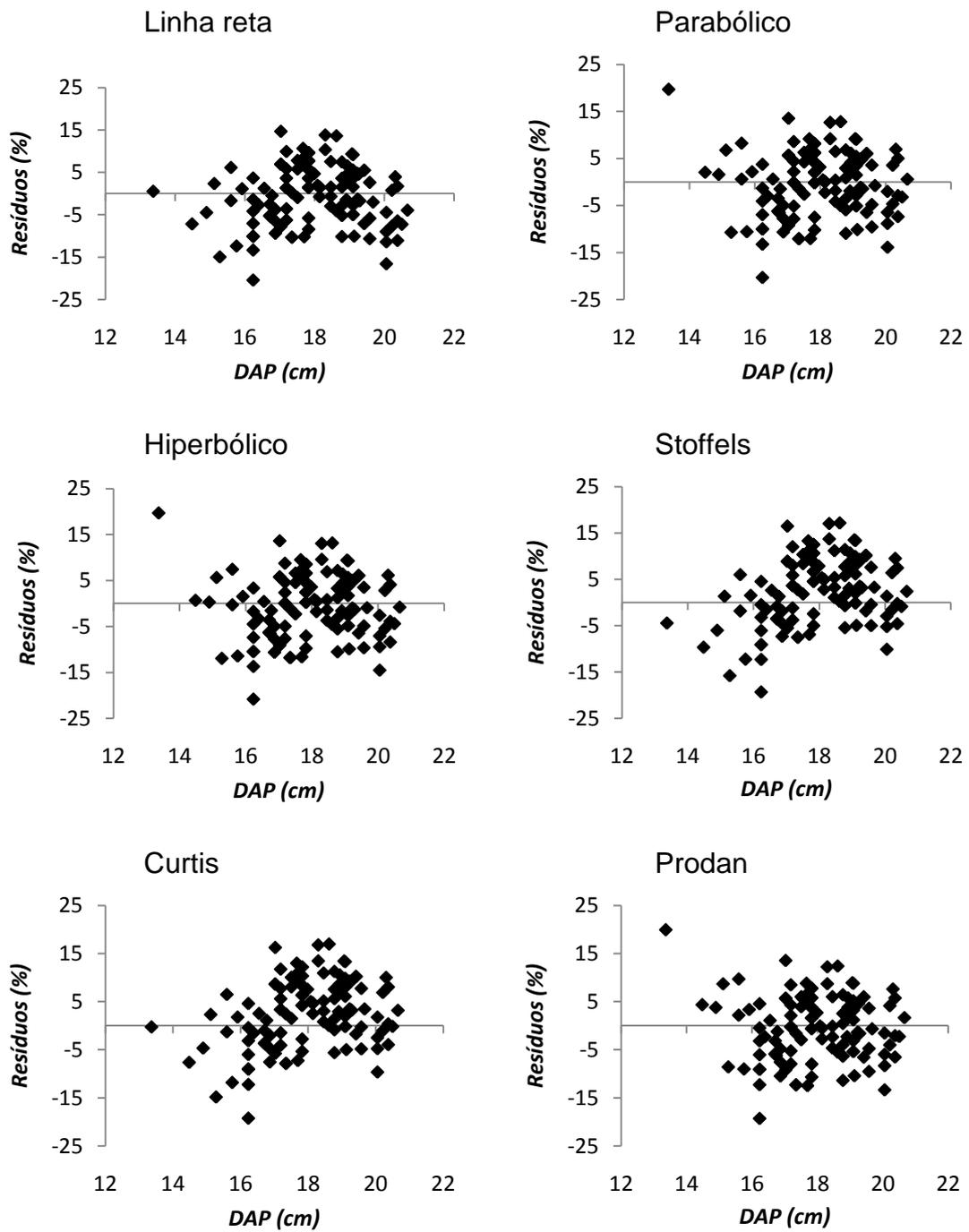


Figura 4 – Distribuição dos resíduos da altura, em porcentagem, em função do DAP, para os modelos de Linha Reta, Parabólico, Hiperbólico, Stoffels, Curtis e Prodan, para o povoamento 2.

Tabela 10 – Estimativas dos parâmetros e estatísticas das equações de relação hipsométrica ajustadas para o povoamento 3 (53 meses).

Modelos	$\hat{\beta}_0$	$\hat{\beta}_1$	$\hat{\beta}_2$	$S_{yx}$	$S_{yx}(\%)$	$R^2(\%)$	$R^2 \text{ aj.}(\%)$
Linha Reta	7,1203*	0,9361*	-	1,15	5,33	74,55	74,33
Parabólico	-1,7762 <sup>ns</sup>	2,1388*	-0,0398*	1,10	5,12	76,66	76,26
Hiperbólico	25,6547*	-907,4459*	-	1,45	6,74	59,28	58,93
Stoffels	1,2052*	0,6822*	-	1,13	5,24	75,38	75,17
Curtis	3,6497*	-8,8306*	-	1,13	5,23	75,45	75,24
Prodan	1,2251 <sup>ns</sup>	0,2956 <sup>ns</sup>	0,0218*	1,11	5,16	76,30	75,90

\* = significativo; e ns = não significativo a 5% de probabilidade pelo teste *t* de Student.

Para o povoamento 4, todos os modelos apresentaram-se com pelo menos um de seus parâmetros não-significativo, com exceção dos modelos Hiperbólico e de Curtis (Tabela 11). Estes dois obtiveram suas estatísticas bem próximas, no entanto, o modelo de Curtis se destacou pela melhor distribuição dos resíduos (Figura 6), sendo então o selecionado para estimar a altura das árvores.

Tabela 11 – Estimativas dos parâmetros e estatísticas das equações de relação hipsométrica ajustadas para o povoamento 4 (40 meses).

Modelos	$\hat{\beta}_0$	$\hat{\beta}_1$	$\hat{\beta}_2$	$S_{yx}$	$S_{yx}(\%)$	$R^2(\%)$	$R^2 \text{ aj.}(\%)$
Linha Reta	-2,1570 <sup>ns</sup>	1,4612*	-	1,18	6,80	71,65	71,40
Parabólico	-8,8932 <sup>ns</sup>	2,4722 <sup>ns</sup>	-0,0376 <sup>ns</sup>	1,19	6,81	71,76	71,27
Hiperbólico	26,8834*	-1652,6837*	-	1,21	6,95	70,34	70,09
Stoffels	-0,0925 <sup>ns</sup>	1,1357*	-	1,18	6,81	71,56	71,32
Curtis	3,9775*	-14,9752*	-	1,18	6,79	71,71	71,47
Prodan	5,3884 <sup>ns</sup>	0,0581 <sup>ns</sup>	0,0229 <sup>ns</sup>	1,19	6,81	71,75	71,27

\* = significativo; e ns = não significativo a 5% de probabilidade pelo teste *t* de Student.

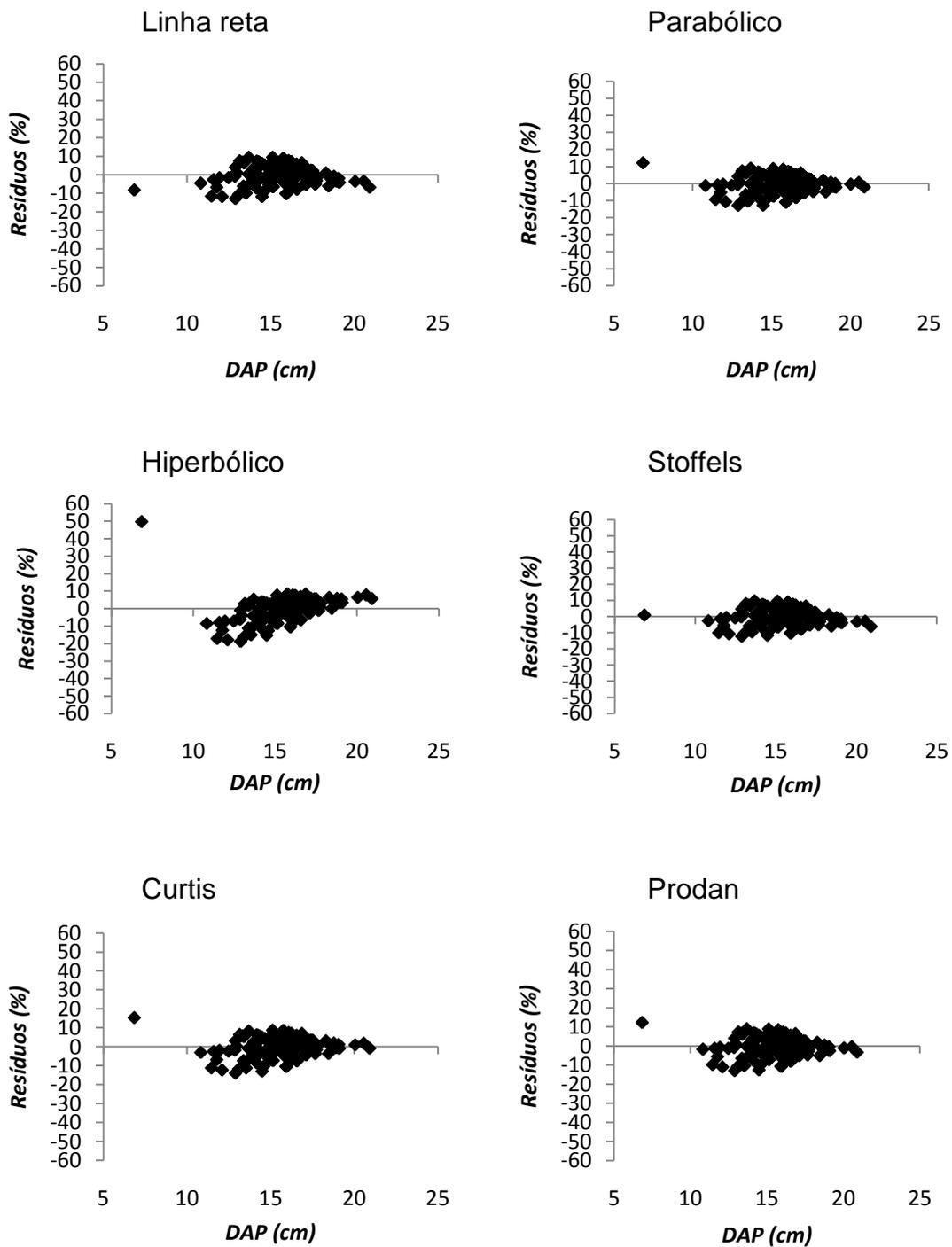


Figura 5 – Distribuição dos resíduos da altura, em porcentagem, em função do DAP, para os modelos de Linha Reta, Parabólico, Hiperbólico, Stoffels, Curtis e Prodan, para o povoamento 3.

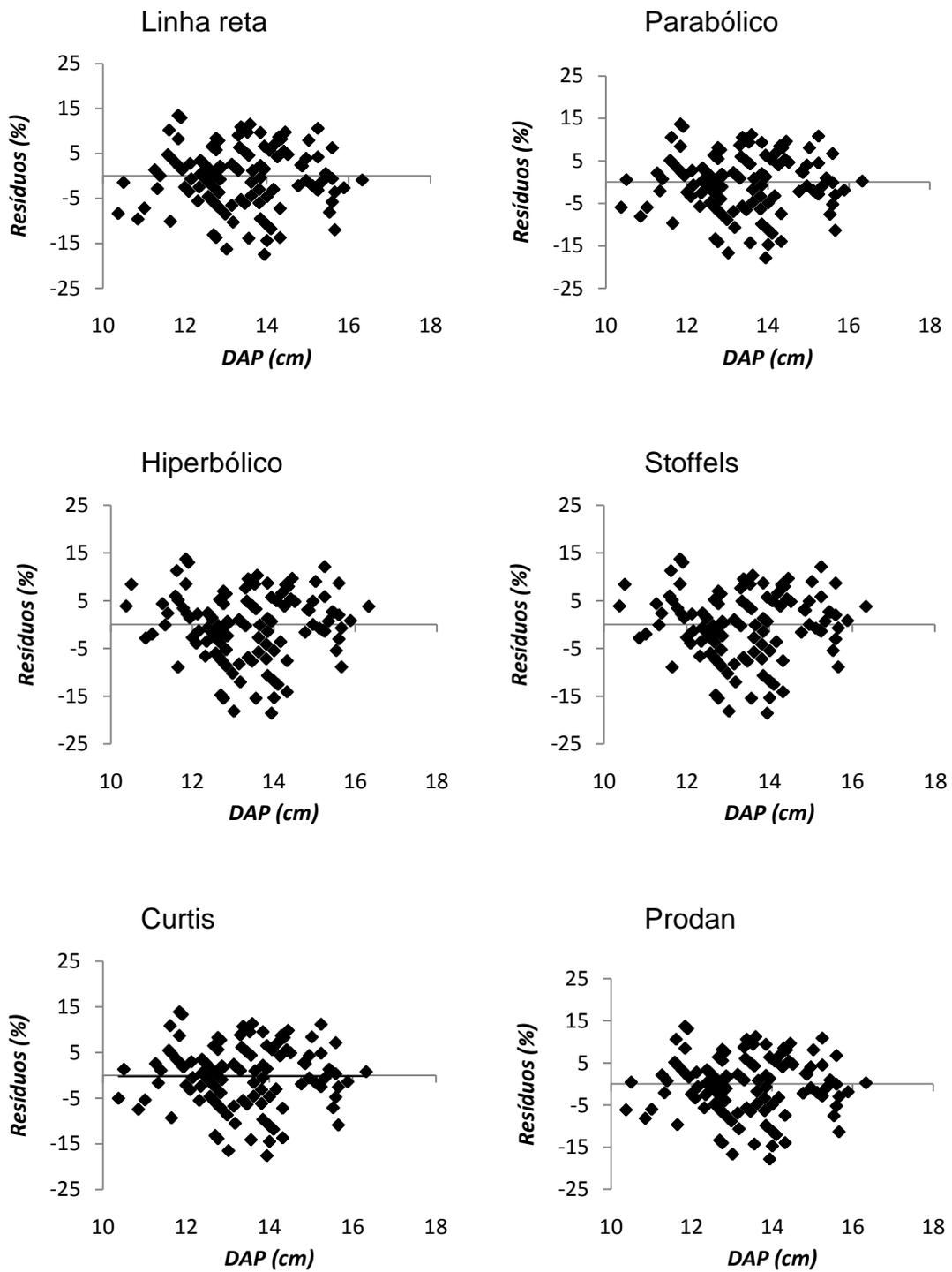


Figura 6 – Distribuição dos resíduos da altura, em porcentagem, em função do DAP, para os modelos de Linha Reta, Parabólico, Hiperbólico, Stoffels, Curtis e Prodan, para o povoamento 4.

Jorge et al. (2009) em trabalho realizado com plantios de eucalipto com idades variando entre 48 e 64 meses, obtiveram que a melhor relação hipsométrica foi explicada pelos modelos de Linha Reta e Stoffels, com coeficientes de determinação de 50%. Sendo este último o melhor modelo para estimar a altura total nos povoamentos de 77 e 53 meses do presente estudo.

Já Veiga et al. (1974) encontram no modelo Parabólico a melhor alternativa para estimar altura total das árvores de eucalipto com idade entre 5 e 10 anos com  $R^2$  de 0,75 em média. Estes ainda concluíram que modelos sem a presença de logaritmos apresentaram melhor desempenho nos ajustes. Contudo, o modelo Parabólico não se mostrou eficiente no ajustes para os quatro povoamentos, não sendo selecionado em nenhum dos casos.

Em trabalho realizado por Souza et al. (2006), os modelos com variáveis logaritmizadas apresentaram melhores ajustes que modelos sem logaritmos, e com valores de  $R^2$  maiores, em média, que os encontrados no presente estudo.

Os resultados dos ajustes dos modelos de volume são apresentados nas Tabelas 12, 13, 14 e 15, acompanhados da análise gráfica dos resíduos nas Figuras 8, 9, 10 e 11, respectivamente, para cada povoamento em estudo.

Para o povoamento 1, observa-se que os três modelos apresentaram bons ajustes, e com suas estatísticas muito semelhantes (erro-padrão e  $R^2$ ) (Tabela 12). Apesar de conter um parâmetro não-significativo, o modelo de Schumacher e Hall foi selecionado neste caso, por apresentar distribuição de resíduos com menor tendência (Figura 7).

No povoamento 2, apenas um parâmetro do modelo de Spurr Linear apresentou resultado não-significativo (Tabela 13), além deste modelo ter distribuição de resíduos com tendência. Com relação aos demais modelos, os resultados foram precisos quanto às suas estatísticas e sem tendências na distribuição dos resíduos (Figura 8). No entanto, por apresentar o erro padrão com valor inferior e coeficiente de determinação ligeiramente superior, o modelo de Schumacher e Hall foi o escolhido para estimar o volume das árvores deste povoamento.

Tabela 12 – Estimativas dos parâmetros e estatísticas das equações de volume ajustadas para o povoamento 1 (77 meses).

Modelos	$\hat{\beta}_0$	$\hat{\beta}_1$	$\hat{\beta}_2$	$S_{yx}$	$S_{yx}$ (%)	$R^2$ (%)	$R^2$ aj. (%)
Schumacher e Hall	$4,87 \times 10^{-5ns}$	$2,0327^*$	$0,8731^*$	0,0510	14,64	96,64	96,52
Spurr Não-linear	$3,70 \times 10^{-5*}$	$0,9975^*$	-	0,0507	14,55	96,63	96,57
Spurr Linear	$0,0075^*$	$3,56 \times 10^{-5*}$	-	0,0505	14,49	96,66	96,60

\* = significativo; e ns = não significativo a 5% de probabilidade pelo teste *t* de Student.

Tabela 13 – Estimativas dos parâmetros e estatísticas das equações de volume ajustadas para o povoamento 2 (72 meses).

Modelos	$\hat{\beta}_0$	$\hat{\beta}_1$	$\hat{\beta}_2$	$S_{yx}$	$S_{yx}$ (%)	$R^2$ (%)	$R^2$ aj. (%)
Schumacher e Hall	$6,45 \times 10^{-5*}$	$1,7146^*$	$1,1166^*$	0,0200	9,06	98,34	98,24
Spurr Não-linear	$9,01 \times 10^{-5*}$	$0,9123^*$	-	0,0203	9,20	98,23	98,19
Spurr Linear	$0,0118^{ns}$	$3,92 \times 10^{-5*}$	-	0,0215	9,75	98,02	97,96

\* = significativo; e ns = não significativo a 5% de probabilidade pelo teste *t* de Student.

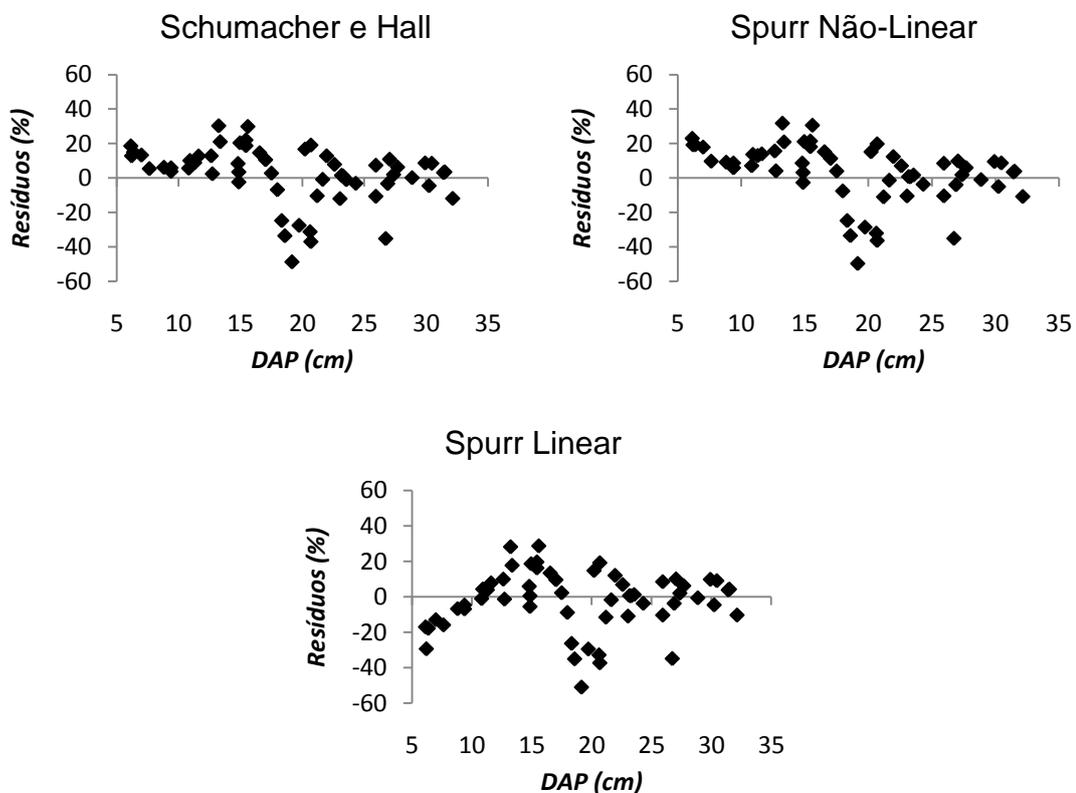


Figura 7 – Distribuição dos resíduos do volume, em porcentagem, em função do DAP para os modelos de Schumacher e Hall, Spurr Não-linear e Spurr Linear para o povoamento 1 (77 meses).

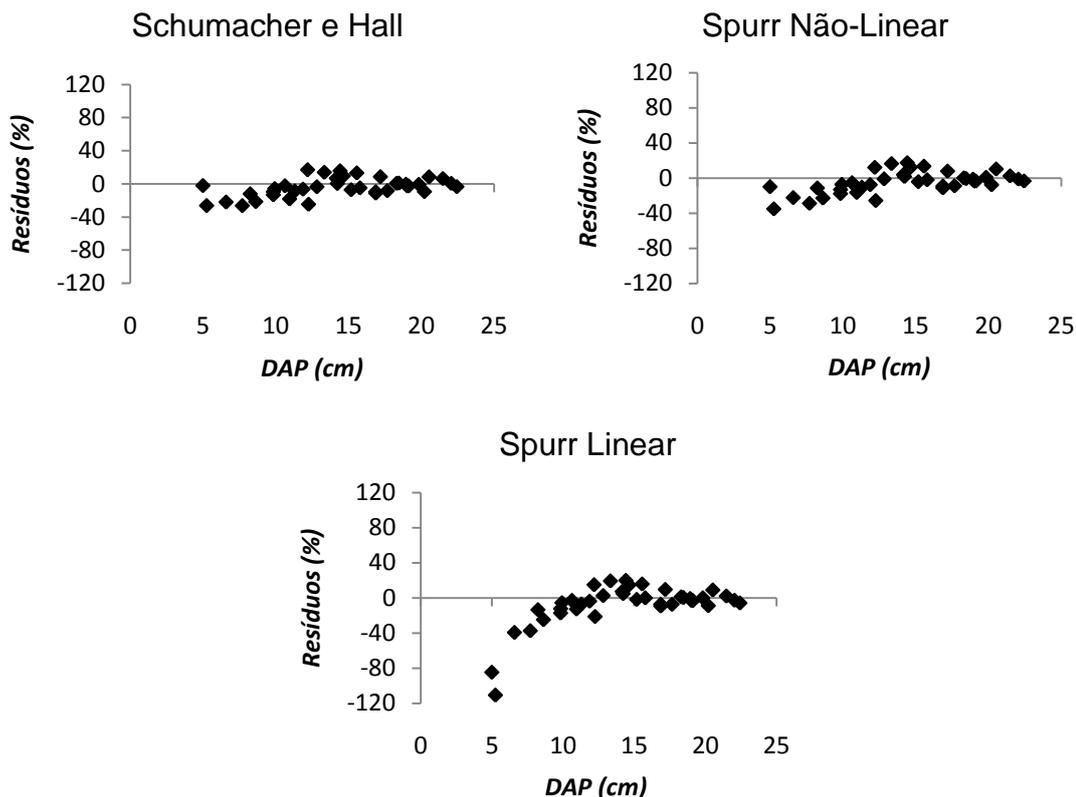


Figura 8 – Distribuição dos resíduos do volume, em porcentagem, em função do DAP para os modelos de Schumacher e Hall, Spurr Não-linear e Spurr Linear para o povoamento 2 (72 meses).

Já o povoamento 3, obteve no modelo de Schumacher e Hall a maioria dos parâmetros não-significativo, e no modelo de Spurr Não-linear um dos parâmetros. Apenas no modelo de Spurr Linear todos os parâmetros foram significativos (Tabela 14). Mesmo assim, optou-se pelo modelo de Spurr Não-linear, por gerar o menor indício de tendência na análise dos resíduos (Figura 9).

Para o povoamento 4, por apresentar distribuição de resíduos menos tendenciosa, o modelo de Spurr Não-linear foi escolhido para estimar o volume (Figura 10). Considerou-se, ainda, o fato dos demais modelos não apresentarem significância em todos seus parâmetros (Tabela 15).

Tabela 14 – Estimativas dos parâmetros e estatísticas das equações de volume ajustadas para o povoamento 3 (53 meses).

Modelos	$\hat{\beta}_0$	$\hat{\beta}_1$	$\hat{\beta}_2$	$S_{yx}$	$S_{yx}$ (%)	$R^2$ (%)	$R^2$ aj. (%)
Schumacher e Hall	0,0004 <sup>ns</sup>	1,8410*	0,2861 <sup>ns</sup>	0,0245	21,13	91,08	90,59
Spurr Não-linear	0,0002 <sup>ns</sup>	0,8098*	-	0,0247	21,23	90,75	90,50
Spurr Linear	0,0142*	2,63x10 <sup>-5*</sup>	-	0,0260	22,38	89,72	89,45

\* = significativo; e ns = não significativo a 5% de probabilidade pelo teste *t* de Student.

Tabela 15 – Estimativas dos parâmetros e estatísticas das equações de volume ajustadas para o povoamento 4 (40 meses).

Modelos	$\hat{\beta}_0$	$\hat{\beta}_1$	$\hat{\beta}_2$	$S_{yx}$	$S_{yx}$ (%)	$R^2$ (%)	$R^2$ aj. (%)
Schumacher e Hall	0,0001 <sup>ns</sup>	2,4188*	0,4311 <sup>ns</sup>	0,0109	13,61	96,81	96,58
Spurr Não-linear	2,78x10 <sup>-5*</sup>	1,0049*	-	0,0111	13,87	96,57	96,45
Spurr Linear	0,0002 <sup>ns</sup>	2,89x10 <sup>-5*</sup>	-	0,0111	13,87	96,57	96,45

\* = significativo; e ns = não significativo a 5% de probabilidade pelo teste *t* de Student.

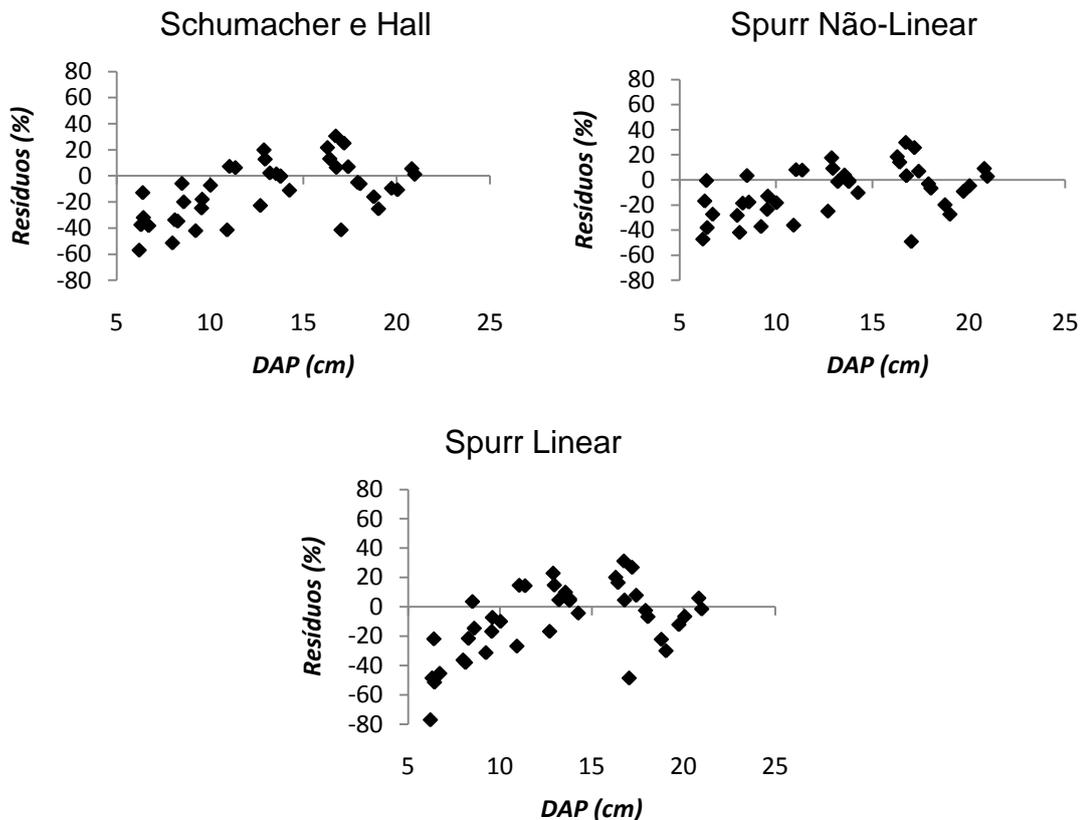


Figura 9 - Distribuição dos resíduos do volume, em percentagem, em função do DAP para os modelos de Schumacher e Hall, Spurr Não-linear e Spurr Linear para o povoamento 3 (53 meses).

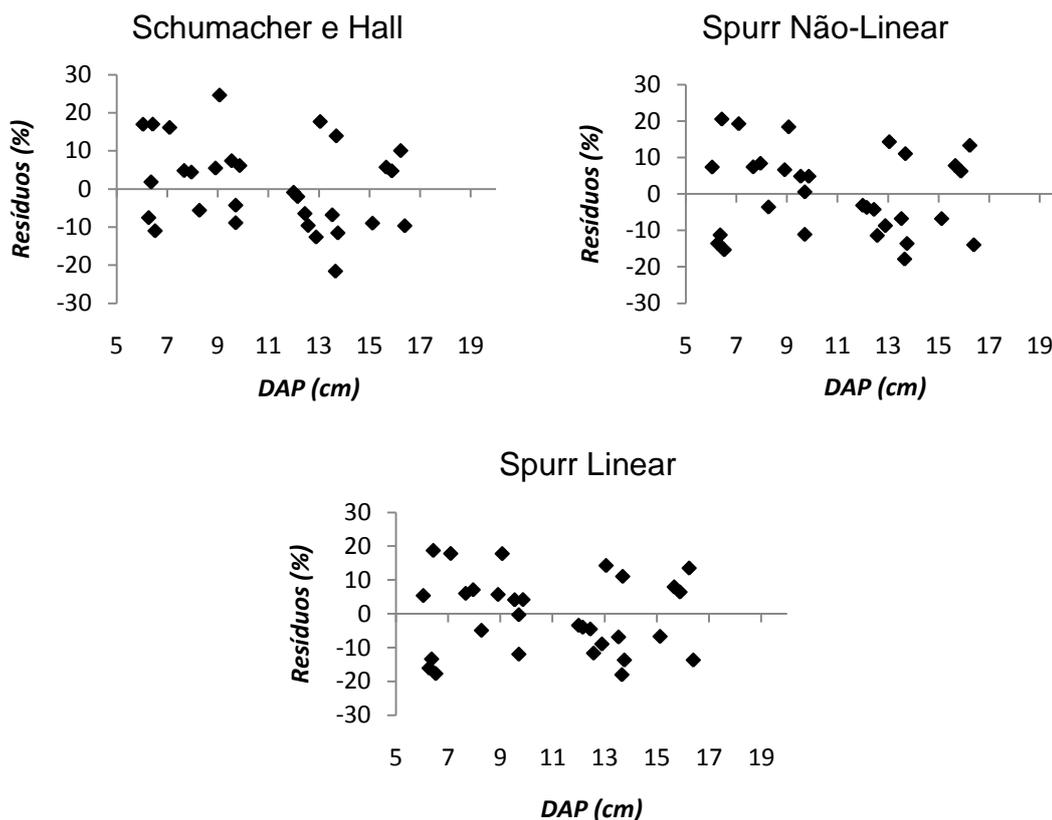


Figura 10 - Distribuição dos resíduos do volume, em porcentagem, em função do DAP para os modelos de Schumacher e Hall, Spurr Não-linear e Spurr Linear para o povoamento 4 (40 meses).

Observou-se que o modelo de Spurr Linear não foi eficiente para estimar o volume nos povoamentos em estudo. No entanto, este foi o melhor em trabalho realizado por Schneider et al. (1997) para descrever a altura total de povoamento de eucalipto com 6,5 anos de idade na região sul do Brasil.

Além de serem povoamentos com idades diferentes e por se tratar de clones diferentes, houve variação nos ajustes dos modelos hipsométricos e volumétricos, sendo que para cada situação analisada um modelo diferente obteve o melhor ajuste. Este fato é comprovado conforme afirmam Couto e Bastos (1987), em que se deve utilizar um modelo para cada condição florestal específica, ou seja, em função de uma estratificação do povoamento, e neste estudo de caso os estratos foram separados por idade.

O cálculo segundo o método de amostragem aleatório simples foi eficiente para garantir o erro de amostragem abaixo de 10% para a variável volume nos quatro povoamentos, não havendo a necessidade de lançar mais parcelas nas áreas de estudo (Tabela 16).

Tabela 16 - Erro do inventário florestal e estimativas de produção e crescimento dos povoamentos 1, 2, 3 e 4.

Povoamento	Idade (meses)	Área (ha)	n	I <sub>a</sub>	E(%)	Produção (m <sup>3</sup> /ha)	IMA (m <sup>3</sup> /ha.ano)
1	77	16,20	10	2,48%	8,80	265,60 ± 23,37	41,39 ± 3,64
2	72	4,21	10	9,90%	5,20	258,31 ± 13,42	43,05 ± 2,24
3	53	9,90	10	3,96%	4,67	164,92 ± 7,71	37,34 ± 1,75
4	40	7,75	10	5,11%	9,91	89,68 ± 8,89	20,31 ± 2,01

Em que: n - número de unidades de amostra; I<sub>a</sub> - intensidade amostral; E (%) - erro de amostragem; IMA - incremento médio anual.

Com relação ao incremento médio anual (Tabela 16), observa-se que os povoamentos 1 e 2 apresentaram valores condizentes com a média nacional. Pois segundo ABRAF (2010), com base em dados de 2009, a média brasileira de crescimento de eucalipto está em torno de 40,5 m<sup>3</sup>/ha.ano. Já os povoamentos 3 e 4, apresentaram valores abaixo, no entanto, por serem mais jovens podem alcançar a média nacional quando atingirem a idade de maturação.

As produções volumétricas dos povoamentos (Tabela 16) apresentaram média menor que os encontrados por Zonete et al. (2010). Estes autores mediram a produção em povoamentos de eucalipto na região sul da Bahia, uma das mais produtivas do país. Em estudo realizado por Mello et al. (2005), plantios de eucalipto aos 7 anos atingiram produção entre 260,9 e 270,5 m<sup>3</sup>/ha, chegando a valores de IMA abaixo dos valores encontrados para os povoamentos 1 e 2.

Demolinari (2006) obteve produções de 182,69, 144,45 e 108,21 m<sup>3</sup>/ha em povoamentos de eucalipto não-desbastados com 72, 53 e 40 meses. Sendo que as produções foram abaixo da média em comparação com os povoamentos 2 e 3, e acima da média para o povoamento 4 do presente estudo, nas mesmas condições de idade.

Tabela 17 – Resultados de algumas variáveis dendrométricas avaliadas.

Povoamento	Idade (meses)	$\bar{d}$	$Q$	$B$	$\bar{H}$
1	77	17,34	17,82	25,05	21,68
2	72	16,96	17,2	23,41	19,98
3	53	15,13	15,39	19,87	21,29
4	40	12,83	12,94	14,24	16,49

Em que:  $\bar{d}$  - média aritmética dos diâmetros (cm);  $q$  - diâmetro médio (cm);  $B$  - área basal (m<sup>2</sup>/ha);  $\bar{H}$  - média aritmética das alturas (m).

Quanto às variáveis dendrométricas, observa-se que a média dos diâmetros, o diâmetro médio e área basal apresentaram indício de aumento quando se aumenta a idade. Já, na média das alturas, ocorreu uma diferença entre os povoamentos de 53 e 72 meses, sendo que o mais jovem apresentou valor maior ao de idade superior (Figura 17). Isto, provavelmente, pode ser explicado pela variação do material genético, manejo dos povoamentos e principalmente, pela qualidade do local. Contudo, isso mostra indícios de que o crescimento em altura não é influenciado somente pela idade, pois ela tem influência direta na determinação de curvas de índices de sítio, o que mostra o possível efeito potencial da capacidade produtiva no crescimento das árvores.

Os valores encontrados por Zonete et al. (2010) para a média das alturas e dos diâmetros foram superiores aos deste estudo para todas as idades. Já, a variável área basal teve resultado semelhante aos dos autores para todos os povoamentos, exceto o de menor idade (40 meses) que ficou abaixo. Os resultados encontrados por Mello et al. (2005) mostraram que a área basal foi menor que as médias dos povoamentos 1 e 2, sendo que os autores avaliaram plantios de eucalipto aos 7 anos.

Quanto ao diâmetro médio ( $q$ ), os valores encontrados foram semelhantes aos encontrados por Demolinari (2006). Enquanto que a área basal foi acima dos valores médios encontrados pelos mesmos autores. Já para a média das alturas, o resultado encontrado pelos referidos autores foi superior aos encontrados no presente estudo.

A média dos diâmetros do povoamento 1 foi superior à média encontrada para híbridos de eucalipto com 78 meses em estudo desenvolvido por BOTREL (2006). Contudo, a média das alturas ficou abaixo da média encontrada pelo referido autor.

#### 4. CONCLUSÕES

- O ajuste dos modelos de relação hipsométrica e volume mostraram-se diferenciados para os povoamentos em estudo.
- Na estimação de altura total, o modelo de Stoffels ajustou-se melhor para os povoamentos 1 e 3 (77 e 53 meses, respectivamente); o modelo de Prodan mostrou-se mais eficiente no povoamento 2 (72 meses); e o modelo de Curtis obteve-se melhor desempenho no povoamento 4 (40 meses).
- Com relação aos ajustes para volume, o modelo de Schumacher e Hall estimou melhor para os povoamentos de 77 e 72 meses, e o modelo de Spurr Não-linear para os povoamentos de 53 e 40 meses.
- Os resultados das variáveis dendrométricas área basal, média dos diâmetros e diâmetro médio apresentaram relação direta com a idade.
- A variável altura total não apresentou tendência linear com relação à idade, mostrando indícios de que o índice de sítio teve influência no desenvolvimento dos povoamentos.

## 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRAF. **Anuário Estatístico da Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas (ABRAF)**: ano base 2009. Brasília: ABRAF, 2010, 140 p.

BARREIRO, S.; TOMÉ, M.; LUÍS, M. **Manuais de utilização do relascópio de espelhos de Bitterlich e telerelascópio**. Relactório Técnico do GIMREF, PT. 2/2004.

BOTREL, M. C. G. **Melhoramento genético do Eucalyptus para biomassa florestal qualidade do carvão vegetal**. 2006. 68 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Lavras, UFLA, 2006.

CAMPOS, J. C. C.; LEITE, H. G. **Mensuração Florestal: perguntas e respostas**. 3. ed. revista e ampliada. Viçosa-MG, Editora UFV, 548 p., 2009.

COUTO, H. T. Z.; BASTOS, N. L. M. Modelos de equações de volume e relações hipsométricas para plantações de *Eucalyptus* no estado de São Paulo. **Revista IPEF**, n. 37, p. 33-44, dez. 1987.

DEMOLINARI, R. A. **Crescimento de povoamentos de eucalipto não-desbastados**. 2006. 72 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Viçosa, UFV, 2006

ENCINAS, J. I.; SILVA, G. F.; TICCHETTI, I. Comunicações Técnicas Florestais: **Variáveis Dendrométricas**. Brasília: Universidade de Brasília, Departamento de Engenharia Florestal, v. 4, n. 1, 102 p., 2002.

HUSCH, B.; BEERS, T. W.; KERSHAW JR., J. A. **Forest Mensuration**. 4. Ed. New Jersey. John Wiley & Sons, Inc., 2003. 443 p.

IBGE. **Mapa de Solos do Brasil (Temático)**. [s.d.]. Disponível em: <<http://mapas.ibge.gov.br/solos/viewer.htm>>. Acesso em: 01 out. 2010.

JORGE, D. L.; SILVA, J. A. A.; GADELHA, F. H. L.; FERREIRA, R. L. C. **Análise e comparação de modelos de relação hipsométrica para clones de *Eucalyptus sp.* cultivados na região do pólo gesseiro do Araripe**. In: IX Jornada de Ensino, Pesquisa e Extensão, UFRPE, 2009.

MELLO, J. M.; BATISTA, J. L. F.; OLIVEIRA, M. S.; RIBEIRO Jr., P. J. Estudo da dependência espacial de características dendrométricas para *Eucalyptus grandis*. **Revista Cerne**, Lavras-MG, v. 11, n. 2, p. 113-126, abr./jun., 2005.

SANTOS, A. R. **Zoneamento agroclimatológico para a cultura do café conilon (*Coffea canephora* L.) e arábica (*Coffea 125d125P125ca* L.) na bacia do Rio Itapemirim, ES**. 1999, 62 f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia Agrícola) – Viçosa, UFV. 1999.

SAS INSTITUTE INC SAS/STAT. User's Guide versão 9.2. Cary, NC, 2008.

SCHNEIDER, P. R.; COELHO, M. C. B.; ZANON, M. L.; FINGER, C. A. G.; KLEIN, J. E. M. Equações de volume para *Eucalyptus dunnii* Maiden, determinadas para a Depressão Central do estado do Rio Grande do Sul. **Revista Ciência Rural**, Santa Maria-RS, v. 27, n. 3, p. 425-428, 1997.

SHIVER, B. D.; BORDERS, B. E. **Sampling techniques for forest resource inventory**. 1. Ed. New York: John Wiley & Sons, Inc., 1996. 356 p.

SIQUEIRA, J. D. P.; LISBOA, R. S.; FERREIRA, A. M.; SOUZA, M. F. R.; ARAÚJO, E.; LISBÃO JÚNIOR, L.; SIQUEIRA, M. M. Estudo ambiental para os programas de fomento florestal da Aracruz Celulose S. A. e extensão florestal do governo do estado do Espírito Santo. **Floresta**, Edição especial, nov/2004, p. 3-67.

SOARES, C. P. B.; PAULA NETO, F.; SOUZA, A. L. **Dendrometria e Inventário Florestal**. Viçosa-MG, Editora UFV, 276 p., 2007.

SOUZA, C. A. M.; ALMEIDA, A. Q.; ALMEIDA, V. V. S.; SILVA, G. F. **Comparação entre modelos de relações hipsométrica para estudo de uma floresta de *Eucalyptus urophylla***. In: X Encontro Latino Americano de Iniciação Científica e VI Encontro Latino Americano de Pós-Graduação – Universidade Vale do Paraíba, 2006.

VEIGA, R. A. A.; BRASIL, M. A. M.; CARVALHO, C. M. Relações hipsométricas altura-diâmetro em povoamentos de eucalipto. **Revista Floresta**, Curitiba-PR, v. 5, n. 1, p. 64-78, 1974.

ZONETE, M. F.; RODRIGUEZ, L. C. E.; PACKALÉN, P. Estimación de parâmetros biométricos de plantios clonais de eucalipto no sul da Bahia: uma aplicação da tecnologia laser aerotransportada. **Scientia Forestalis**, Piracicaba-SP, v. 38, n. 86, p. 225-235, jun. 2010.

## Capítulo II

Quantificação de multiprodutos de povoamentos de eucalipto de diferentes idades

## QUANTIFICAÇÃO DE MULTIPRODUTOS DE POVOAMENTOS DE EUCALIPTO DE DIFERENTES IDADES

**RESUMO** – O objetivo deste estudo foi avaliar os ajustes de modelos de afilamento para estimar altura e volume em diâmetros comerciais pré-estabelecidos e quantificar diferentes usos de madeira de eucalipto, inclusive para multiprodutos. Os dados foram obtidos de quatro povoamentos de clones híbridos de eucalipto, com idades de 77 (povoamento 1), 72 (povoamento 2), 53 (povoamento 3) e 40 meses (povoamento 4), localizados no município de Jerônimo Monteiro, ES. Foram ajustados quatro modelos de afilamento em sua forma original: Kozak et al. (1969), Demaerschalk (1972), Ormerod (1973) e Schöpfer (1966), em cada povoamento. A seleção dos modelos para estimar altura comercial nos diâmetros 14, 12, 10, 8, 7 e 6 cm e volume comercial nos diâmetros 14, 7 e 6 cm deu-se pela aplicação dos critérios estatísticos viés, média das diferenças absolutas e desvio-padrão das diferenças, em conjunto com a análise gráfica dos resíduos. Nos povoamentos 1, 2 e 3 foram determinadas as produções de uso para celulose e energia, e no povoamento 4 para energia. Ainda determinou-se a produção combinada destes usos com a possibilidade de parte do fuste para mourões. Os resultados ajustes dos modelos mostraram haver diferença no perfil do fuste entre os povoamentos, pois diferentes modelos foram selecionados para estimar altura e volume em cada diâmetro avaliado de cada povoamento. No povoamento 1, o modelo de Kozak foi selecionado para estimar altura e volume no diâmetro de 14 cm, enquanto que para os demais avaliados, o modelo de Demaerschalk mostrou-se superior. Para o povoamento 2, o modelo de Demaerschalk foi que apresentou melhor desempenho para estimar o volume comercial em todos os diâmetros avaliados. Ainda, o modelo de Kozak se ajustou melhor para altura no diâmetro de 14 cm, Demaerschalk em 12, 10 e 7 cm e Ormerod em 8 e 6 cm. Enquanto no povoamento 3, Demaerschalk foi o melhor para estimar altura em todos os diâmetros avaliados, exceto no diâmetro de 8 cm, em que Ormerod foi superior. Quanto ao volume, Demaerschalk apresentou melhores estimativas para os diâmetros 7 e 6 cm e Schöpfer, 14 cm. E no povoamento 4, Kozak foi o selecionado como o melhor para estimar o volume comercial nos diâmetros 14 e 6 cm, e a altura comercial nos diâmetros 14, 10 e 8 cm; já Demaerschalk foi o melhor para estimar altura nos diâmetros 12 e 6 cm. O aproveitamento da madeira para celulose foi maior no povoamento 1 (97%), seguido do povoamento 3 (90%) e 2 (80%). Para energia, a proporção foi maior nos povoamentos 1 e 4 (99 e 94%, respectivamente) em relação ao 2 e 3 (86 e 91%, respectivamente). Analisando a produção para multiprodutos, observou-se que os povoamentos mais jovens apresentaram maior proporção de uso da madeira para mourões em relação à celulose e energia. Enquanto que os povoamentos de maior idade por terem árvores de maior porte, tendem a apresentar o diâmetro de 14 cm em ponto mais alto no fuste, justificando seu maior uso de madeira para celulose quando destinado a multiprodutos.

**Palavras-chave:** afilamento do fuste, sortimentos, eucalipto.

## MULTIPRODUCT QUANTIFICATION OF EUCALYPTUS STANDS OF DIFFERENT AGES

**ABSTRACT** – The aim of this study was to evaluate the model fits the taper to estimate height and volume in diameters ranging from pre-established and quantify the different uses of *Eucalyptus*, including multiproduct. Data were collected from four stands of hybrid clones, aged 77 (stand 1), 72 (stand 2), 53 (stand 3) and 40 months (stand 4), located in the town of Jerônimo Monteiro, ES. Four models were fitted taper in its original form: Kozak et al. (1969), Demaerschalk (1972), Ormerod (1973) and Schöpfer (1966), in each stand. The selection of models to estimate the commercial height with diameters 14, 12, 10, 8, 7 and 6 cm in diameter and trade volume 14, 7 and 6 cm was due to the application of statistical criteria bias, mean absolute differences and standard pattern of differences, in conjunction with the graphical analysis of the waste. In Stands 1, 2 and 3 were determined the production of pulp and energy, and 4 stand for energy. Yet, determined the combined production of these uses with the possibility that some of the stem for fencepost. The results of model adjustments showed there difference in the profile of the stem between the stands, because different models were selected to estimate height and volume at each measured diameter of each settlement. In stand 1, the model of Kozak was selected to estimate height and volume in diameter of 14 cm, while for the other evaluated, Demaerschalk model was superior. For stand 2, the model Demaerschalk was the best performance for estimating the volume of trade in all diameters availed. Still, the Kozak model was better adjusted to the height in diameter of 14 cm, Demaerschalk in 12, 10 and 7 cm and Ormerod on 8 and 6 cm. While in the stand 3, Demaerschalk was the best estimate for all diameters analyzed, except in 8 cm diameter, which was higher Ormerod. As for volume, Demaerschalk presented best estimates for diameters 7 and 6 cm and Shöpfer in 14 cm. And in the stand 4, Kozak was selected as the best model to estimate the trade volume in diameters 14 and 6 cm, and height commercial in 14, 10 and 8 cm; already Demaerschalk was the best for estimating height in diameters 14 and 6 cm. The use of pulpwood was higher in stand 1 (97%), followed by stand 3 (90%) and stand 2 (80%). For energy, the proportion was higher in stands 1 and 4 (99 and 94%, respectively) compared to 2 and 3 (86 and 91% respectively). Analyzing the production for multiproduct was observed that the younger stands had a higher proportion of use of wood for fencepost in relation to pulp and energy. While the largest stands of old because they have larger trees, tend to have the diameter of 14 cm at highest point on the stem, thus justifying its increased use as pulpwood for multiproduct.

**Keywords:** taper, assortments, *Eucalyptus*.

## 1. INTRODUÇÃO

O setor florestal brasileiro tem se destacado pela produção de matéria-prima madeireira com rotação mais curta em relação à produção em países de clima temperado. Isso se deve às condições de clima e solo favoráveis ao cultivo de espécies florestais de rápido crescimento como as do gênero *Eucalyptus*, e principalmente aos programas de melhoramento florestal (ALFENAS et al., 2004).

Durante as décadas de 1960 e 1970, quando o governo brasileiro promoveu a produção de florestas plantadas, por meio dos incentivos fiscais, o setor florestal ganhou impulso com o aumento significativo da área plantada cujo objetivo dos reflorestamentos era atender a demanda por matéria-prima florestal no segmento industrial. Isso gerou importantes ganhos para o setor nos âmbitos socioeconômico e ambiental, reduzindo a pressão sobre as florestas tropicais naturais (FAO, 2004).

Assim, o setor florestal cresceu com investimentos na produção, mas, também, em pesquisas que garantiram o desenvolvimento do mesmo ao longo dos anos.

Ao passar dos anos, várias razões têm mostrado as possibilidades de uso da madeira de espécies de eucalipto com diversas finalidades como celulose, lenha e carvão vegetal, serraria, móveis, laminação, construção civil, dormentes, postes, mourões, entre outros (ANGELI, 2005).

No Brasil, atualmente, o maior consumidor de madeira em tora oriundo de florestas plantadas é a indústria de celulose. Isso se confirma porque em 2009, segundo ABRAF (2010), o segmento de celulose e papel consumiu 162,6 milhões m<sup>3</sup>, o que correspondeu a 37,3% do total consumido.

Uma alternativa que vem sendo estudada por algumas empresas do setor florestal e também é alvo de pesquisas, é o uso de florestas para produção de multiprodutos. Essa alternativa consiste em destinar um mesmo fuste a mais de um uso da madeira, como a combinação entre serraria, celulose e energia, por exemplo. Vários autores já estudaram sobre o assunto destacando inclusive sua quantificação e viabilidade econômica (CHICHORRO, et al., 2003; SOARES et al., 2003a; SOARES et al., 2003b; SOARES et al., 2004; MENDONÇA et al. 2007).

Para quantificar os multiprodutos, ou sortimentos de madeira em povoamentos florestais é de fundamental importância a aplicação de modelos que sejam capazes de mostrar o detalhamento do perfil do tronco das árvores. Assim, os modelos de *taper* ou afilamento são amplamente utilizados na área florestal. Essas funções são responsáveis por estimar diâmetros superiores, principalmente acima da altura do *DAP*, bem como determinar alturas comerciais em diâmetros pré-especificados e calcular o volume total e comercial de partes ao longo do tronco (CAMPOS e LEITE, 2009; SOARES et al., 2007).

Souza et al. (2008a) afirmam que o emprego de funções de afilamento é uma excelente ferramenta para quantificar sortimentos em povoamentos florestais, pois tem sido desenvolvidas diferentes técnicas de modelagem que permitem descrever o perfil do fuste de espécies florestais.

Com isso, o objetivo deste estudo foi avaliar os ajustes de funções de afilamento para estimar a altura comercial e volume comercial em diâmetros pré-estabelecidos ao longo do tronco de árvores e quantificar diferentes usos da madeira em quatro povoamentos de eucalipto de diferentes idades.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

A área de estudo foi conforme caracterizada na metodologia do Capítulo 1.

### 2.1. COLETA DOS DADOS

Os dados dos povoamentos para realizar este estudo foram obtidos conforme descrito no Capítulo 1. Foi realizado o procedimento de cubagem de árvores que apresentassem *DAP* contido nas classes de diâmetro amostradas em cada povoamento de acordo com sua respectiva frequência.

Com o relascópio de espelho de banda larga de *Bitterlich* foram obtidos os diâmetros em diferentes alturas ao longo do fuste das árvores em pé, para a cubagem rigorosa.

Na cubagem as árvores selecionadas foram divididas em seções, sendo a primeira medida de diâmetro na altura de 0,10 m do solo, em seguida a 0,70 m, 1,30 m e posteriores medidas com intervalos de 2 m ao longo do tronco, a começar da altura de 2 m do nível do solo, até atingir a altura correspondente ao menor diâmetro possível de ser medido com o aparelho conforme tabela contida no seu manual de utilização elaborado por Barreiro et al. (2005). Adotou-se a distância fixa de 20 m entre o observador e a árvore.

Há uma distância de 20 m do ponto de observação do operador até a árvore, uma faixa estreita corresponde a 10 cm ( $1e = 10$  cm), enquanto uma faixa larga a 40 cm ( $1L = 40$  cm). Assim, pode-se medir diâmetros até 2,5 e 2 cm dividindo  $1e$  em quatro e cinco partes, respectivamente (BARREIRO et al, 2005 ).

Em algumas situações não foram possíveis observar esses valores de diâmetro menores. Isso ocorreu quando estes diâmetros se encontravam em parte do tronco dentro da copa das árvores, dificultando a visualização por parte do operador. Assim, em alguns casos, a cubagem com o relascópio dava-se até o ponto em que era possível visualizar o tronco.

As medidas de diâmetro nas alturas 0,10 m, 0,70 m, 1,30 m e 2 m foram obtidas com uma fita métrica de 1,50 m. A partir da altura de 4 m, foi usado o relascópio para medir o diâmetro ao longo do tronco.

Em cada um dos quatro povoamentos, foram cubadas entre 3 a 5 árvores por classe de diâmetro, sendo que as classes maiores, por apresentarem menor frequência. Por isso, cubou-se menos árvores dessas classes nos povoamentos 1 e 2.

O volume individual das árvores foi obtido aplicando-se o método de *Smalian* (Campos e Leite, 2009) nas seções até a altura com o menor diâmetro medido. A partir desse ponto até o topo (altura total) considerou-se o volume de um cone (1/3 do volume de uma seção calculado conforme *Smalian*). O procedimento de cubagem das árvores foi conduzido conforme Figura 2 – Capítulo 1.

## 2.2. APLICAÇÃO DE FUNÇÕES DE AFILAMENTO

Para quantificar os multiprodutos de madeira de cada povoamento em estudo, foram avaliadas as possibilidades de uso para celulose, energia (lenha) e mourões de cerca.

A madeira como matéria-prima para celulose deveria apresentar diâmetro mínimo de 7 cm, de acordo com informações de empresas do setor. Portanto, para essa finalidade, considerou-se o volume calculado desde a base até a altura com este diâmetro mínimo.

O volume de madeira das árvores para energia foi considerado até o diâmetro mínimo de 6 cm. Já a para produção de mourões levou-se em consideração comprimento de toras de 2,20 m e as seguintes classes de diâmetro (bitolas) no topo: 6 – 8 cm; 8 – 10 cm; 10 – 12 cm; e 12 – 14 cm. Essas dimensões são as mais usuais comercializadas e foram obtidas em empresas da região.

Como é necessário obter a informação de altura ao longo do tronco das árvores nos diâmetros mínimos e parciais citados, com objetivo de determinar a quantidade de mourões produzida em cada idade, bem como o volume comercial de madeira para celulose e energia, foram aplicados modelos ou funções de afilamento.

De acordo com Campos e Leite (2009) as funções de afilamento permitem descrever o perfil do tronco de árvores, avaliando o decréscimo do

diâmetro com o aumento da altura e, conseqüentemente, quantificar multiprodutos da madeira.

Para o presente estudo de caso foram avaliadas as seguintes funções de afilamento:

- Kozak et al. (1969):

$$\left(\frac{d}{DAP}\right)^2 = \beta_0 + \beta_1\left(\frac{h}{H}\right) + \beta_2\left(\frac{h}{H}\right)^2 + \varepsilon$$

$$\hat{h} = \frac{-\beta_1 H \pm \sqrt{(\beta_1 H)^2 - 4\beta_2\left(\beta_0 H^2 - \frac{d^2 H^2}{DAP^2}\right)}}{2\beta_2}$$

$$\hat{V} = \frac{\pi}{40000} DAP^2 \left[ \beta_0 (h_2 - h_1) + \frac{\beta_1}{2H} (h_2^2 - h_1^2) + \frac{\beta_2}{3H^2} (h_2^3 - h_1^3) \right]$$

- Demaerschalk (1972):

$$\left(\frac{d}{DAP}\right)^2 = 10^{2\beta_0} DAP^{2\beta_1-2} H^{2\beta_2} (H-h)^{2\beta_3} + \varepsilon$$

$$\hat{h} = H - \left[ \frac{d}{10^{\beta_0} DAP^{\beta_1} H^{\beta_2}} \right]^{\left(\frac{1}{\beta_3}\right)}$$

$$\hat{V} = \frac{\pi}{40000} 10^{2\beta_0} DAP^{2\beta_1} H^{2\beta_2} \left[ \frac{(H-h_1)^{2\beta_3+1} - (H-h_2)^{2\beta_3+1}}{2\beta_3+1} \right]$$

- Ormerod (1973):

$$\left(\frac{d}{DAP}\right)^2 = \left(\frac{H-h}{H-1,3}\right)^{2\beta_1} + \varepsilon$$

$$\hat{h} = H - \left\{ \left(\frac{d}{DAP}\right)^{\left(\frac{1}{\beta_1}\right)} [H-1,3] \right\}$$

$$\hat{V} = \frac{\pi}{40000} DAP^2 \left(\frac{1}{H-1,3}\right)^{2\beta_1} \left[ \frac{(H-h_1)^{2\beta_1+1} - (H-h_2)^{2\beta_1+1}}{2\beta_1+1} \right]$$

- Schöepfer (Polinômio de 5º Grau) (1966):

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

em que:

- $d$  = diâmetro correspondente à altura  $h$ , em cm;
- $DAP$  = diâmetro a 1,30 m do solo, em cm;
- $h$  = altura correspondente ao diâmetro  $d$ , em m;
- $H$  = altura total, em m;
- $V$  = volume, em m<sup>3</sup>;
- $h_1$  = altura correspondente ao limite inferior da seção, em m;
- $h_2$  = altura correspondente ao limite superior da seção, em m;
- $\beta_i$  = parâmetros dos modelos, onde  $i = 0, 1, 2, \dots, n$ ;
- $\varepsilon$  = erro aleatório.

As funções de afilamento foram ajustadas para cada povoamento, considerando-se os diâmetros mínimos especificados anteriormente, utilizando-se o *software* estatístico SAS (Statistical Analysis System), versão 9.2 (2008).

Como os diâmetros mínimos do estudo foram definidos previamente, os ajustes foram para determinar a altura correspondente aos diâmetros 14, 12, 10, 8, 7 e 6 cm, e também os volumes comerciais até os pontos no fuste com diâmetro até 14, 7 e 6 cm. Assim, os modelos de Kozak et al. (1969), Demaerschalk (1972), Ormerod (1973) e Schöepfer (1966) foram ajustados considerando suas formas originais.

A validação dos ajustes foi mediante o uso do erro-padrão residual ( $S_{yx}$ ), erro padrão relativo ( $S_{yx}(\%)$ ) e coeficiente de determinação ajustado ( $R_{aj}^2$ ).

As fórmulas de cálculo dessas estatísticas, respectivamente, são:

$$S_{yx} = \sqrt{QMR}$$

$$S_{yx}(\%) = \left( \frac{S_{yx}}{\bar{Y}} \right) 100$$

em que:

- $S_{yx}$  = erro padrão residual;
- $S_{yx}(\%)$  = erro padrão relativo;
- $QMR$  = quadrado médio do resíduo; e
- $\bar{Y}$  = média observada da variável dependente.

$$R^2 = 1 - \frac{\sum (y - \hat{y})^2}{\sum (y - \bar{y})^2}$$

$$R^2_{aj} = 1 - \left( \frac{n-1}{n-k-1} \right) (1 - R^2)$$

em que:

- $R^2$  = coeficiente de determinação;  
 $y$  = valor observado da variável dependente;  
 $\hat{y}$  = valor estimado da variável dependente;  
 $\bar{y}$  = média dos valores observados da variável dependente;  
 $R^2_{aj}$  = coeficiente de determinação ajustado;  
 $n$  = tamanho da amostra; e  
 $k$  = número de regressores.

Após os ajustes, para cada povoamento, os dados foram agrupados considerando cada um dos diâmetros de interesse (14, 12, 10, 8, 7, 6 cm). Isso foi proposto para garantir maior precisão na estimação da altura para cada um dos diâmetros. Assim, procedeu-se a estimação da altura, sendo que para o modelo do Polinômio de 5º Grau deu-se por meio do uso da ferramenta *Solver* do Microsoft Office Excel<sup>®</sup> baseado em um método iterativo.

A seleção dos modelos foi realizada por meio de um *ranking* envolvendo três estatísticas, conforme foi aplicado por Mendonça et al. (2007), Souza et al. (2008b) e Souza (2009): o viés ( $v$ ), a média das diferenças absolutas ( $MD$ ) e o desvio-padrão das diferenças ( $DPD$ ). E ainda teve uma complementação com a análise gráfica dos resíduos. As fórmulas de cálculo desses critérios de seleção são apresentadas a seguir.

$$v = \frac{\sum_{i=1}^n Y_i - \sum_{i=1}^n \hat{Y}_i}{n} \quad MD = \frac{\sum_{i=1}^n |Y_i - \hat{Y}_i|}{n} \quad DPD = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2 - \frac{\left( \sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i) \right)^2}{n}}{n-p}}$$

em que:

- $Y_i$  = valor observado;  
 $\hat{Y}_i$  = valor estimado;  
 $n$  = número de observações; e  
 $p$  = número de parâmetros de cada modelo.

Essa seleção se deu atribuindo notas aos valores obtidos de cada uma das estatísticas para os quatro modelos avaliados para cada diâmetro. Assim, se atribuiu nota 1 para o modelo que apresentou menor valor absoluto da estatística, até a nota 4 para o que apresentou maior valor. Feito isso para os três critérios, o modelo que apresentasse menor valor do somatório dessas estatísticas seria o modelo selecionado para estimar o diâmetro em questão.

Esse mesmo critério foi adotado na estimação do volume comercial até altura com diâmetros mínimos de 14, 7 e 6 cm. Para o diâmetro de 14 cm, o objetivo foi de determinar o volume da base para celulose na combinação deste uso com mourões para os povoamentos 1, 2 e 3. Também, para determinar o volume de lenha até este ponto no caso do uso combinado para lenha e mourões no povoamento 4. E ainda, o diâmetro de 7 cm, para determinar o volume comercial a ser destinado para celulose e 6 cm volume para energia.

### 2.3. QUANTIFICAÇÃO DE USO ÚNICO E OBTENÇÃO DOS MULTIPRODUTOS

Para proceder a quantificação dos multiprodutos de madeira dos povoamentos estudados, considerou-se que a finalidade de uso para energia seria avaliada para os quatro povoamentos em estudo. O uso para celulose foi quantificado para os povoamentos 1, 2 e 3. E as possibilidades de uso da madeira para mourões e energia em conjunto foi avaliada para o povoamento 4, e ainda, o uso combinado da madeira para celulose e mourões foi quantificado nos povoamentos 1, 2 e 3, caracterizando os multiprodutos.

A determinação do volume de madeira para energia foi dada pela aplicação da função de afilamento melhor ajustada para estimar o volume até o diâmetro mínimo de 6 cm para cada povoamento.

Para determinar o volume da finalidade de uso para celulose considerou o diâmetro mínimo comercial de 7 cm. Sendo assim, por meio da aplicação da função de afilamento que melhor ajustou aos dados de acordo com a seleção realizada pelos critérios estatísticos, foi empregada para determinar este volume comercial.

A quantificação do número de peças de mourões por árvore foi determinada de acordo com as classes de diâmetro adotadas nesse estudo,

sendo que, em um mesmo fuste, devido ao afilamento poderia obter peças com dimensões de diâmetros diferentes. Assim, foi determinado para cada árvore amostrada no inventário florestal a altura correspondente aos diâmetros de 14, 12, 10, 8 e 6 cm. Como no procedimento de cubagem a medida mais inferior localizou-se no ponto de altura a 0,1 m do solo, este ponto foi considerado como a base da possibilidade para uso comercial da madeira.

Os limites de uso comercial para mourões foram definidos como sendo a parte do tronco das árvores correspondentes entre os pontos de altura entre os diâmetros 14 e 6 cm, respectivamente, inferior e superior (Figura 1a).

Para todos os intervalos de diâmetros de uso comercial dos mourões, o comprimento foi fixado em 2,20 m. Assim, no caso da produção conjunta de mourões e celulose ou energia (multiprodutos), o volume de madeira até o ponto no fuste onde o diâmetro fosse igual a 14 cm seria considerado para celulose ou energia, dependendo do povoamento analisado (povoamentos 1, 2 e 3 – celulose e mourões; povoamento 4 – energia e mourões).

A parte restante do tronco das árvores, acima dos pontos dos diâmetros mínimo de 7 cm (celulose) ou 6 cm (energia) seria considerada como resíduo, sem uso comercial, em todos os casos avaliados.

Depois de estabelecidas as divisões no fuste das árvores para os multiprodutos, os mourões foram quantificados inicialmente medindo seções de 2,20 m a partir do ponto em que o diâmetro foi igual ou menor do que 14 cm, dando maior peso para produção de peças com maiores bitolas (classe 12 - 14), até o ponto onde o diâmetro seria de 6 cm. A mudança de classe da peça se deu quando o valor do diâmetro na parte superior da peça foi menor do que o intervalo da classe superior. Exemplo: considerando-se uma árvore com *DAP* = 17,5 cm e que apresentasse as seguintes medidas ao longo do tronco: ponto A (d = 14 cm; h = 3 m); ponto B (d = 12 cm; h = 8 m); e ponto C (d = 10 cm; h = 10 m). Pode-se observar que, a partir do ponto A até o B, seria possível produzir 2 peças de mourões na classe 12 - 14, até a altura 7,4 m. A partir deste ponto, a próxima peça teria fim na altura 9,6 m, estaria no intervalo 10 - 12 e pertenceria a esta classe. E esse procedimento seguiria até o ponto em que o diâmetro fosse igual a 6 cm (Figura 1b).

Isso garantiu que as classes de maior bitola apresentassem maior número de peças, em povoamentos com maior proporção de árvores com

maiores classes de diâmetro, e assim, por terem maior valor comercial, maximizassem as receitas financeiras.

Assim, foi quantificada nos quatro povoamentos a possibilidade de produção de uso único da madeira para energia (lenha). E ainda, foi avaliado o uso único de madeira para celulose nos povoamentos 1, 2 e 3. Além disso, foram quantificados usos para multiprodutos nos quatro povoamentos com as seguintes combinações: mourões e energia para o povoamento de 40 meses, e celulose e mourões para os povoamentos de 77, 72 e 53 meses.

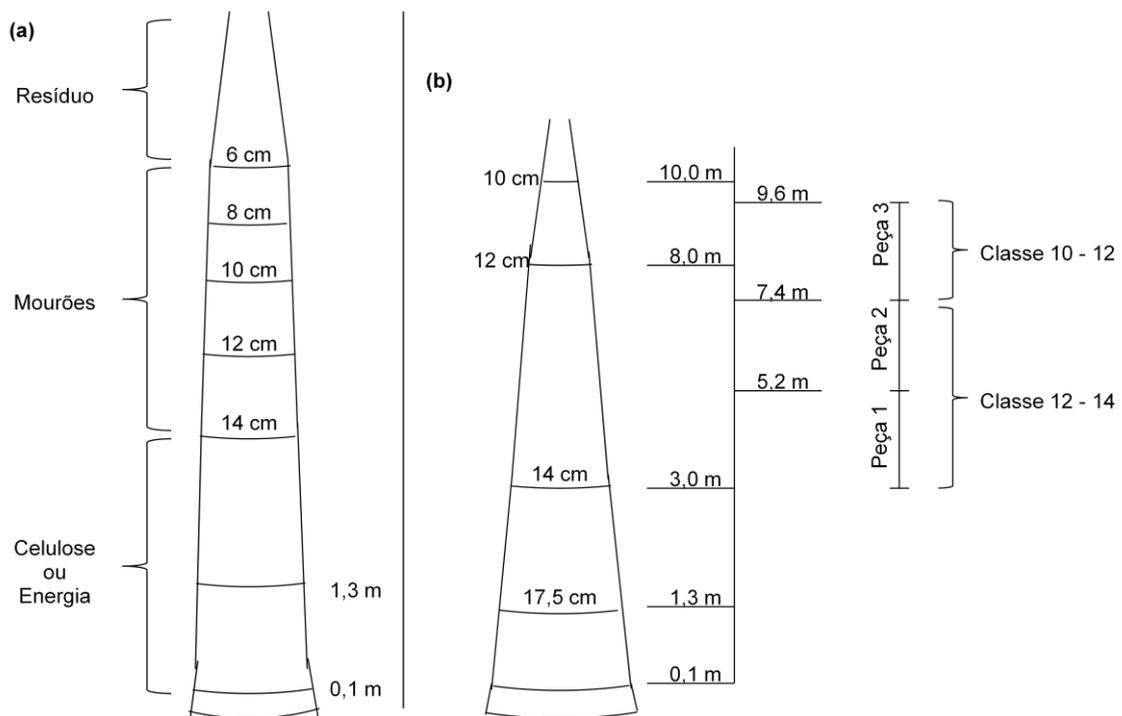


Figura 1 – Subdivisões das partes do tronco destinado a multiprodutos (a) e mostra da mudança de classe na obtenção de mourões (b).

Em seguida, todas as produções foram estimadas para sua respectiva unidade por hectare, sendo a madeira para celulose em m<sup>3</sup>/ha, para energia em m<sup>3</sup>/ha e para mourões em número de peças (unidades/ha).

A determinação das produções para uso único e multiprodutos dos povoamentos foi realizada com base em funções de planilha do Microsoft Office Excel<sup>®</sup>.

Ressalta-se que este estudo não levou em consideração as propriedades referentes à qualidade da madeira para as finalidades de uso nas diferentes idades, mas, apenas a finalidade de quantificar as produções em

seus diferentes usos. Também não foi objetivo deste estudo avaliar o melhor aproveitamento do fuste para uma determinada finalidade de uso ou outra.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O resultado dos ajustes dos quatro modelos de afilamento para cada povoamento é mostrado na Tabela 1, considerando sua forma de ajuste original e os dados dos respectivos povoamentos. Pode-se observar que os modelos ajustaram-se bem aos dados, com base no erro-padrão das estimativas ( $S_{yx}\%$ ) e no coeficiente de determinação ajustado ( $R^2_{aj.}$ ).

Nos ajustes do povoamento 1, os erros-padrão ficaram abaixo de 3%, e coeficientes de determinação foram altos (acima de 93%). Já, no povoamento 2, os coeficientes de determinação foram maiores que 92% e o erro-padrão entre 8 e 11%. Para o povoamento 3 os valores de erro-padrão dos ajustes foram maiores quando comparados com os demais (12 a 14%), e o coeficiente de determinação superior a 88%. Para o povoamento 4, os erros-padrão situaram-se entre 7 e 10%, com coeficientes de determinação acima de 92%. Neste último, ocorreu o único caso de um dos modelos apresentar um de seus coeficientes não-significativo. Foi o caso do modelo de Demaerschalk, que mesmo assim, ajustou-se bem aos dados.

Estes resultados indicam que os ajustes tiveram precisão satisfatória para os quatro povoamentos avaliados. Contudo, considerando a forma de ajuste original dos modelos e as estatísticas avaliadas, o resultado não indica a ordem de preferência dos modelos para estimar altura ou volume.

#### 3.1. SELEÇÃO DE MODELOS DE AFILAMENTO PARA ESTIMATIVA DA ALTURA COMERCIAL

A seleção dos modelos deu-se, principalmente, pelo resultado do *ranking* entre as estatísticas: viés ( $V$ ), médias diferenças absolutas ( $MD$ ) e desvio padrão das diferenças ( $DPD$ ). As análises gráficas mostrando a distribuição dos resíduos estão mostradas nos Anexos deste capítulo.

Tabela 1 – Estatísticas dos ajustes dos modelos de afilamento, em sua forma original, avaliados para os povoamentos de 77, 72, 53 e 40 meses

Modelos	Povoamento 1							
	$\beta_0$	$\beta_1$	$\beta_2$	$\beta_3$	$\beta_4$	$\beta_5$	$S_{yx}$ (%)	$R^2_{ai}$ (%)
Kozak	1,2082*	-2,0137*	0,8012*	-	-	-	2,92	96,73
Demaerschalk	0,2563*	1,0136*	-0,9291*	0,7543*	-	-	2,81	96,97
Ormerod	-	0,7119*	-	-	-	-	2,91	93,94
Schöepfer	1,1939*	-4,1737*	21,9488*	-56,8580*	63,4330*	-25,7377*	2,40	95,88
Modelos	Povoamento 2							
	$\beta_0$	$\beta_1$	$\beta_2$	$\beta_3$	$\beta_4$	$\beta_5$	$S_{yx}$ (%)	$R^2_{ai}$ (%)
Kozak	1,2050*	-1,6245*	0,4386*	-	-	-	10,12	92,73
Demaerschalk	0,1350*	0,8756*	-0,5439*	0,5817*	-	-	9,85	93,10
Ormerod	-	0,5386*	-	-	-	-	10,85	97,17
Schöepfer	1,1921*	-3,8820*	19,4388*	-45,2804*	44,5117*	-15,7420*	8,91	98,09
Modelos	Povoamento 3							
	$\beta_0$	$\beta_1$	$\beta_2$	$\beta_3$	$\beta_4$	$\beta_5$	$S_{yx}$ (%)	$R^2_{ai}$ (%)
Kozak	1,2530*	-3,0948*	2,1936*	-	-	-	13,21	88,83
Demaerschalk	0,2674*	0,9490*	-1,1881*	1,0588*	-	-	13,53	88,29
Ormerod	-	1,0411*	-	-	-	-	13,79	95,71
Schöepfer	1,1678*	-3,3721*	17,3027*	-56,3765*	79,1210*	-38,8145*	12,88	96,17
Modelos	Povoamento 4							
	$\beta_0$	$\beta_1$	$\beta_2$	$\beta_3$	$\beta_4$	$\beta_5$	$S_{yx}$ (%)	$R^2_{ai}$ (%)
Kozak	1,2580*	-3,0232*	2,0992*	-	-	-	8,56	93,29
Demaerschalk	0,0977 <sup>ns</sup>	0,9787*	-1,1048*	1,0823*	-	-	8,87	92,78
Ormerod	-	1,0135*	-	-	-	-	9,30	98,25
Schöepfer	1,1943*	-4,3433*	26,4329*	-88,4635*	127,9592*	-65,9491*	7,97	98,71

No caso do povoamento 1, os modelos de Kozak e de Demaerschalk foram superiores aos demais para estimar a altura no diâmetro de 14 cm (Tabela 2). Apesar do modelo de Demaerschalk ter menor tendência dos resíduos, o modelo de Kozak obteve melhor desempenho nas demais estatísticas, maior homogeneidade e menor amplitude entre os valores residuais (Figura 2) e, por isso, este último foi selecionado para estimar a altura neste ponto do fuste. Para os diâmetros 12, 10, 8, 7 e 6 cm, o modelo que melhor estimou as alturas, segundo as estatísticas avaliadas foi o de Demaerschalk. Este foi o melhor classificado nas estatísticas para os diâmetros 12 e 10 cm, porém com maior viés dos resíduos nos diâmetros 8, 7 e 6 cm, em relação aos demais modelos.

Comparando-se os polinômios de 2<sup>o</sup> e 5<sup>o</sup> Grau (modelos de Kozak e Schöepfer, respectivamente), verificou-se que o primeiro obteve melhor ajuste em todos os diâmetros avaliados, exceto para as estimativas de altura nos diâmetros 10 e 6 cm (Tabela 2).

O modelo de Schöepfer foi o que gerou menor homogeneidade dos valores residuais, exceto para estimar a altura no diâmetro de 10 cm. Quanto ao modelo de Ormerod, melhores foram as estimativas das alturas nos diâmetros menores (8, 7 e 6 cm) em relação aos maiores (14, 12 e 10 cm).

Para todos os diâmetros avaliados, observou-se que as árvores com *DAP* superior a 20 cm tiveram valores melhor estimados, com um menor erro de estimativa (Figuras 2, 3 e 4).

Para o povoamento 2, assim como no povoamento 1, o modelo de Kozak foi o que melhor estimou a altura no diâmetro de 14 cm. Este foi superior em todos os quesitos avaliados comparando-se com os demais. Nos diâmetros 12, 10 e 7 cm, o modelo de Demaerschalk mostrou desempenho melhor para estimar a altura, enquanto nos diâmetros 8 e 6 cm, o modelo de Ormerod foi o selecionado devido ao melhor ajuste (Tabela 3).

Quanto à distribuição dos resíduos, observa-se que erros com maior amplitude para árvores com *DAP* menor que 16 cm nas estimativas para altura no diâmetro de 14 cm, além de certa tendência para os modelos de Demaerschalk, Ormerod e Schöepfer (Figura 5). Nas estimativas de altura no diâmetro de 12 cm observa-se uma tendência dos resíduos para árvores com *DAP* até 18 cm e, notavelmente, foi menor para o modelo de Demaerschalk (Figura 5).

Também foi possível notar as estimativas de altura com menores valores de *MD* à medida que ocorre a redução do diâmetro ao longo do fuste, neste caso, a partir do diâmetro de 12 cm, para todos os modelos avaliados. Isso mostrou que as estimativas de altura nos diâmetros menores foram mais precisas (Tabela 3). A comprovação das estimativas pode ser observada na distribuição dos resíduos em que os mesmos têm menores amplitudes para estimativas de altura nos diâmetros menores (Figuras 5, 6 e 7).

Tabela 2 – Valores de viés ( $v$ ), média das diferenças absolutas ( $MD$ ) e desvio padrão das diferenças ( $DPD$ ), e o *ranking* para as estimativas de altura comercial nos diâmetros de 14, 12, 10, 8, 7 e 6 cm, para o povoamento 1 (77 meses)

<b>d = 14 cm</b>							
Modelos	$V$	Nota	$MD$	Nota	$DPD$	Nota	Total
Kozak	0,34836	2	1,72411	1	2,17630	1	4
Demaerschalk	0,15308	1	1,73060	2	2,19514	2	5
Ormerod	0,43275	3	1,75474	3	2,20757	3	9
Schöpfer	0,47236	4	1,94538	4	2,59261	4	12
<b>d = 12 cm</b>							
Modelos	$V$	Nota	$MD$	Nota	$DPD$	Nota	Total
Kozak	0,36969	3	1,98376	2	2,54588	2	7
Demaerschalk	0,17463	1	1,90457	1	2,45371	1	3
Ormerod	0,34828	2	2,00101	4	2,55233	3	9
Schöpfer	0,36996	4	1,98017	3	2,64791	4	11
<b>d = 10 cm</b>							
Modelos	$V$	Nota	$MD$	Nota	$DPD$	Nota	Total
Kozak	0,41369	4	2,09848	4	2,65184	4	12
Demaerschalk	0,15297	1	1,84936	1	2,47493	1	3
Ormerod	0,34558	2	2,08804	3	2,61990	2	7
Schöpfer	0,39744	3	2,04993	2	2,62332	3	8
<b>d = 8 cm</b>							
Modelos	$V$	Nota	$MD$	Nota	$DPD$	Nota	Total
Kozak	-0,24590	1	1,88340	3	2,51964	3	7
Demaerschalk	-0,35540	4	1,71339	1	2,37418	1	6
Ormerod	-0,31048	3	1,83016	2	2,43024	2	7
Schöpfer	-0,25778	2	1,90868	4	2,60033	4	10
<b>d = 7 cm</b>							
Modelos	$V$	Nota	$MD$	Nota	$DPD$	Nota	Total
Kozak	-0,37735	2	1,77563	3	2,32598	3	8
Demaerschalk	-0,42502	4	1,52128	1	2,14998	1	6
Ormerod	-0,42205	3	1,67718	2	2,21739	2	7
Schöpfer	-0,37637	1	1,80452	4	2,45145	4	9
<b>d = 6 cm</b>							
Modelos	$V$	Nota	$MD$	Nota	$DPD$	Nota	Total
Kozak	-0,72738	2	1,63899	4	2,20889	3	9
Demaerschalk	-0,73297	3	1,44125	1	2,05316	1	5
Ormerod	-0,74558	4	1,54175	2	2,09718	2	8
Schöpfer	-0,66473	1	1,62100	3	2,32921	4	8

Tabela 3 – Valores de viés ( $v$ ), média das diferenças absolutas ( $MD$ ) e desvio padrão das diferenças ( $DPD$ ), e o *ranking* para as estimativas de altura comercial nos diâmetros de 14, 12, 10, 8, 7 e 6 cm, para o povoamento 2 (72 meses)

<b>d = 14 cm</b>							
Modelos	$V$	Nota	$MD$	Nota	$DPD$	Nota	Total
Kozak	0,13184	1	0,90496	1	1,20339	1	3
Demaerschalk	-0,16758	2	0,96237	2	1,27832	2	6
Ormerod	0,65199	4	1,10763	3	1,33916	3	10
Schöepfer	0,25425	3	1,49084	4	2,08096	4	11
<b>d = 12 cm</b>							
Modelos	$V$	Nota	$MD$	Nota	$DPD$	Nota	Total
Kozak	1,48808	3	2,06539	3	2,41565	2	8
Demaerschalk	1,07336	1	1,66251	1	2,12691	1	3
Ormerod	1,67313	4	2,34855	4	2,64589	3	11
Schöepfer	1,42791	2	2,01778	2	2,80395	4	8
<b>d = 10 cm</b>							
Modelos	$V$	Nota	$MD$	Nota	$DPD$	Nota	Total
Kozak	0,72513	3	1,78148	3	2,20247	4	10
Demaerschalk	0,31632	1	1,59131	1	2,02396	2	4
Ormerod	0,68988	2	1,79425	4	2,19370	3	9
Schöepfer	0,78615	4	1,64014	2	2,00452	1	7
<b>d = 8 cm</b>							
Modelos	$V$	Nota	$MD$	Nota	$DPD$	Nota	Total
Kozak	-0,27569	2	1,35656	2	1,76616	2	6
Demaerschalk	-0,52935	4	1,46567	4	1,77518	3	11
Ormerod	-0,35240	3	1,33856	1	1,66461	1	5
Schöepfer	-0,18256	1	1,42117	3	1,97276	4	8
<b>d = 7 cm</b>							
Modelos	$V$	Nota	$MD$	Nota	$DPD$	Nota	Total
Kozak	0,13916	4	1,44222	3	1,76091	3	10
Demaerschalk	-0,03190	1	1,13783	1	1,54127	1	3
Ormerod	0,09888	2	1,34504	2	1,61684	2	6
Schöepfer	0,11153	3	1,54845	4	2,07928	4	11
<b>d = 6 cm</b>							
Modelos	$V$	Nota	$MD$	Nota	$DPD$	Nota	Total
Kozak	-0,49666	2	1,28567	3	1,57610	3	8
Demaerschalk	-0,53370	3	1,22628	2	1,48722	2	7
Ormerod	-0,47256	1	1,20748	1	1,44383	1	3
Schöepfer	-0,72509	4	1,72642	4	2,07381	4	12

No povoamento 3, o modelo de Demaerschalk conferiu as melhores estimativas de altura, com exceção do diâmetro de 8 cm. Para este diâmetro, o modelo de Ormerod foi selecionado, pois se revelou com menor viés e maior homogeneidade na distribuição dos resíduos (Tabela 4).

Tabela 4 – Valores de viés ( $v$ ), média das diferenças absolutas ( $MD$ ), desvio padrão das diferenças ( $DPD$ ) e o *ranking* para as estimativas de altura comercial nos diâmetros de 14, 12, 10, 8, 7 e 6 cm, para o povoamento 3 (53 meses)

<b>d = 14 cm</b>							
Modelos	$v$	Nota	$MD$	Nota	$DPD$	Nota	Total
Kozak	0,82691	4	1,52693	2	1,95986	2	8
Demaerschalk	0,67996	2	1,49840	1	2,03119	3	6
Ormerod	0,69600	3	1,56943	4	1,87562	1	8
Schöepfer	0,67307	1	1,55454	3	2,33741	4	8
<b>d = 12 cm</b>							
Modelos	$v$	Nota	$MD$	Nota	$DPD$	Nota	Total
Kozak	0,60292	4	1,59402	2	2,15984	2	8
Demaerschalk	0,27971	1	1,53744	1	2,19676	3	5
Ormerod	0,39883	2	1,65097	4	2,11428	1	7
Schöepfer	0,57976	3	1,62231	3	2,31222	4	10
<b>d = 10 cm</b>							
Modelos	$v$	Nota	$MD$	Nota	$DPD$	Nota	Total
Kozak	0,68733	4	2,07259	4	2,47713	3	11
Demaerschalk	0,25099	1	1,86480	1	2,38906	1	3
Ormerod	0,39457	2	2,00959	3	2,40743	2	7
Schöepfer	0,68347	3	1,97049	2	2,49925	4	9
<b>d = 8 cm</b>							
Modelos	$v$	Nota	$MD$	Nota	$DPD$	Nota	Total
Kozak	-0,21015	2	2,21287	3	2,79194	3	8
Demaerschalk	-0,31585	3	1,81499	1	2,32015	2	6
Ormerod	-0,17397	1	1,83730	2	2,27237	1	4
Schöepfer	-0,45816	4	2,55229	4	3,50321	4	12
<b>d = 7 cm</b>							
Modelos	$v$	Nota	$MD$	Nota	$DPD$	Nota	Total
Kozak	0,01702	1	2,31245	3	3,01139	3	7
Demaerschalk	0,10072	2	1,64619	1	2,29258	1	4
Ormerod	0,26008	3	1,79213	2	2,30823	2	7
Schöepfer	-0,76017	4	2,90582	4	4,05109	4	12
<b>d = 6 cm</b>							
Modelos	$v$	Nota	$MD$	Nota	$DPD$	Nota	Total
Kozak	-0,22728	2	1,73460	3	2,47416	3	8
Demaerschalk	-0,29803	3	1,53341	1	2,17383	1	5
Ormerod	-0,13297	1	1,56481	2	2,18033	2	5
Schöepfer	-1,21484	4	2,59529	4	3,65485	4	12

Os modelos de Kozak e Schöepfer tiveram o pior desempenho em todos os ajustes, com tendenciosa distribuição de resíduos e com os valores residuais distribuídos em maior amplitude (Figuras 8, 9 e 10).

Com base nas estatísticas avaliadas, para o diâmetro de 6 cm, as estimativas de altura foram melhor explicadas pelos modelos de Demaerschalk e Ormerod (Tabela 4). Contudo, observando suas respectivas distribuições de resíduos é possível notar que o modelo de Demaerschalk gera valores de erro mais homogêneos em relação ao modelo de Ormerod, sendo então o modelo selecionado para este caso (Figura 10).

Para o povoamento 4, o modelo selecionado para estimar altura nos diâmetros 14, 10 e 8 cm foi o de Kozak, e nos diâmetros 12 e 6 cm, o de Demaerschalk (Tabela 5). No caso do diâmetro de 14 cm, os modelos de Kozak e Demaerschalk foram superiores nas estimativas da altura nesse ponto, em relação aos de Ormerod e Schöepfer. No entanto, o modelo de Kozak gerou menor viés e maior homogeneidade, apesar de ter seus erros mais afastados do nível zero ao ser comparado ao modelo de Demaerschalk e, portanto, selecionado como melhor neste caso (Tabela 5 e Figura 11).

Resultado semelhante ao anterior ocorreu para o diâmetro de 10 cm. Neste, os modelos de Kozak e Ormerod tiveram o somatório das notas iguais. Com base nos resíduos e nas estatísticas avaliadas, o modelo de Kozak foi o melhor, pois obteve menores valores de resíduos (*MD*) e menor valor de viés (Tabela 5 e Figura 12).

Considerando todos os casos avaliados, percebeu-se que o modelo de Schöepfer não foi selecionado em nenhum deles para estimar a altura nos diâmetros pré-estabelecidos. O modelo de Ormerod apenas apresentou bons ajustes na estimação de altura em alguns casos dos diâmetros menores. Já, o modelo de Kozak ajustou-se melhor para as estimativas no ponto em que o diâmetro pré-estabelecido era de 14 cm, exceto para o povoamento 3. Enquanto que o modelo de Demaerschalk foi o que melhor estimou a altura para os diâmetros intermediários.

Tabela 5 – Valores de viés ( $v$ ), média das diferenças absolutas ( $MD$ ) e desvio padrão das diferenças ( $DPD$ ), e o *ranking* para as estimativas de altura comercial nos diâmetros de 14, 12, 10, 8 e 6 cm, para o povoamento 4 (40 meses)

<b>d = 14 cm</b>							
Modelos	$v$	Nota	$MD$	Nota	$DPD$	Nota	Total
Kozak	0,05407	1	0,76299	4	1,14655	2	7
Demaerschalk	0,08845	2	0,68811	2	1,19409	3	7
Ormerod	0,68811	4	0,73945	3	0,80534	1	8
Schöepfer	0,36919	3	0,68322	1	1,75540	4	8
<b>d = 12 cm</b>							
Modelos	$v$	Nota	$MD$	Nota	$DPD$	Nota	Total
Kozak	0,75847	2	1,28402	3	1,76387	2	7
Demaerschalk	0,60355	1	1,22778	1	1,81767	3	5
Ormerod	0,98926	4	1,33830	4	1,58931	1	9
Schöepfer	0,83594	3	1,28080	2	1,95651	4	9
<b>d = 10 cm</b>							
Modelos	$v$	Nota	$MD$	Nota	$DPD$	Nota	Total
Kozak	0,00920	1	1,41641	1	1,81417	3	5
Demaerschalk	-0,27100	4	1,45933	3	1,81067	2	9
Ormerod	-0,08600	2	1,42669	2	1,81046	1	5
Schöepfer	-0,27095	3	1,46186	4	1,81792	4	11
<b>d = 8 cm</b>							
Modelos	$v$	Nota	$MD$	Nota	$DPD$	Nota	Total
Kozak	-0,19826	2	0,91368	1	1,26150	2	5
Demaerschalk	-0,39728	4	1,00160	3	1,25292	1	8
Ormerod	-0,34036	3	1,00953	4	1,30847	4	11
Schöepfer	-0,16566	1	0,98289	2	1,30538	3	6
<b>d = 6 cm</b>							
Modelos	$v$	Nota	$MD$	Nota	$DPD$	Nota	Total
Kozak	-0,90416	3	1,28236	3	1,57540	3	9
Demaerschalk	-0,52938	1	0,92317	1	1,13280	1	3
Ormerod	-0,59514	2	0,94557	2	1,18570	2	6
Schöepfer	-0,91186	4	1,36384	4	1,64346	4	12

Diversos autores realizaram estudos de avaliação de modelos de afilamento baseando-se nas estatísticas empregadas neste trabalho, para selecionar os melhores modelos.

Mendonça et al. (2007) analisaram modelos de afilamento para determinar altura comercial nos diâmetros 28 e 7 cm em trabalho com eucalipto e obtiveram o modelo de Schöepfer com maior precisão para tais estimativas. Enquanto no presente estudo, considerando as análises realizadas para os diâmetros avaliados, em nenhum dos quatro povoamentos analisados, o modelo de Schöepfer obteve precisão superior aos demais modelos avaliados, sendo sempre o de menor precisão (Tabelas 2, 3 e 4). Nos povoamentos 1, 2 e 3, o modelo de Demaerschalk foi o que obteve maior precisão nas estimativas de altura no diâmetro de 7 cm.

Em trabalho realizado por SOUZA et al. (2008b), o melhor modelo para estimar altura comercial no diâmetro 28 cm foi o modelo de Biging, com base em árvores de eucalipto.

Em trabalho realizado com o gênero *Pinus*, Figueiredo Filho et al. (1996) obtiveram como resultados que o modelo de Kozak com precisão satisfatória para estimar alturas acima de 30% da altura total e viés considerável para estimativas na parte inferior do tronco. Esse comportamento apresentado neste estudo é perceptível também no presente trabalho, pois no povoamento 1, por exemplo, o modelo de Kozak foi o melhor para estimar altura no diâmetro 14 cm e, acima desse ponto até 6 cm, foi modelo de Demaerschalk com melhor precisão. Os demais povoamentos tiveram maior variação quanto à seleção de modelos para estimar altura ao longo do fuste, podendo citar o povoamento 2 em que alternou entre os modelos de Kozak, Demaerschalk e Ormerod.

Com relação aos valores das estatísticas neste estudo, os valores de viés foram menores em relação ao encontrado por Mendonça et al. (2007), porém os valores de *DPD* foram maiores comparando-se com os resultados obtidos por esses autores.

### 3.2. SELEÇÃO DE MODELOS DE AFILAMENTO PARA ESTIMATIVA DO VOLUME COMERCIAL

Assim como para os modelos de altura, a seleção foi baseada nos resultados do *ranking* entre as estatísticas: viés (*V*), médias diferenças

absolutas (*MD*) e desvio padrão das diferenças (*DPD*). As distribuições gráficas dos resíduos estão mostradas nos Anexos deste capítulo.

No povoamento 1, os modelos de Kozak e Demaerschalk foram os mais precisos para estimar o volume comercial no diâmetro 14 cm, por ter se mostrado mais eficiente que os demais modelos de acordo com a combinação das estatísticas avaliados (Tabela 6). Contudo, foi selecionado o modelo de Kozak, pois no somatório das notas o *ranking* indicou este como superior nas estatísticas, apesar de haver uma tendência em subestimar valores para árvores com DAP menor que 15 cm (Figuras 14).

Quanto às estimativas de volume nos diâmetros 7 e 6 cm, assim, como o outro diâmetro avaliado, os modelos de Kozak e Demaerschalk foram superiores nas estimativas em relação aos Ormerod e Schöpfer. Neste caso, optou-se pelo modelo de Demaerschalk, pois gerou menor viés e menor amplitude entre os valores residuais (Tabela 6). Outro fato, é que os resíduos do modelo de Kozak apontam maior subestimação em relação ao modelo de Demaerschalk nas árvores com DAP inferior a 15 cm (Figura 15).

No povoamento 2, o modelo de Demaerschalk foi o que melhor se ajustou aos dados para estimar o volume comercial até o ponto de todos os diâmetros mínimos avaliados, tomando-se como base o resultado do *ranking* das estatísticas analisadas (Tabela 7). Observa-se nas distribuições dos resíduos que o modelo de Ormerod foi o que se mostrou com maior viés nas estimativas e ainda com maior subestimação dos volumes comerciais (Figuras 16 e 17). Já os modelos de Kozak e de Schöpfer tiveram desempenho intermediário, sendo que o primeiro obteve maior homogeneidade dos valores residuais, entretanto, com a amplitude destes mais acentuada (Tabela 7).

Os resultados indicaram o modelo de Schöpfer com os melhores ajustes para estimar o volume no diâmetro de 14 cm no povoamento 3 (Tabela 8), com menores tendências e amplitude dos resíduos nas distribuições (Figura 18). O modelo de Kozak foi o segundo melhor nas estatísticas analisadas (Tabela 9), enquanto Demaerschalk e Ormerod foram os modelos com as maiores tendências dos valores residuais e, ainda, mais afastados do nível zero (Figura 18).

Para o mesmo povoamento 3, observou-se que, para os demais diâmetros mínimos, o modelo de Demaerschalk foi o que melhor estimou o

volume comercial. Em todos os casos foi o de menor valor de *MD*, mostrando que seus resíduos tendem a ter menor amplitude (Tabela 8 e Figura 19).

Tabela 6 – Valores de viés (*v*), média das diferenças absolutas (*MD*) e desvio padrão das diferenças (*DPD*), e o *ranking* para as estimativas de volume comercial até os diâmetros de 14, 7 e 6 cm, para o povoamento 1 (77 meses)

<b>d = 14 cm</b>							
Modelos	<i>V</i>	Nota	<i>MD</i>	Nota	<i>DPD</i>	Nota	Total
Kozak	0,00526	1	0,02270	2	0,03410	1	4
Demaerschalk	0,00669	2	0,02366	3	0,03622	3	8
Ormerod	0,02287	4	0,02923	4	0,03702	4	12
Schöpfer	0,00946	3	0,02260	1	0,03482	2	6
<b>d = 7 cm</b>							
Modelos	<i>V</i>	Nota	<i>MD</i>	Nota	<i>DPD</i>	Nota	Total
Kozak	0,00529	2	0,03275	2	0,04563	2	6
Demaerschalk	0,00413	1	0,03186	1	0,04683	4	6
Ormerod	0,02033	4	0,03643	4	0,04561	1	9
Schöpfer	0,00788	3	0,03298	3	0,04658	3	9
<b>d = 6 cm</b>							
Modelos	<i>V</i>	Nota	<i>MD</i>	Nota	<i>DPD</i>	Nota	Total
Kozak	0,00469	2	0,03358	2	0,04668	2	6
Demaerschalk	0,00345	1	0,03258	1	0,04783	4	6
Ormerod	0,01969	4	0,03704	4	0,04650	1	9
Schöpfer	0,00722	3	0,03382	3	0,04767	3	9

Tabela 7 – Valores de viés ( $v$ ), média das diferenças absolutas ( $MD$ ) e desvio padrão das diferenças ( $DPD$ ), e o *ranking* para as estimativas de volume comercial até os diâmetros de 14, 7 e 6 cm, para o povoamento 2 (72 meses)

<b>d = 14 cm</b>							
Modelos	$V$	Nota	$MD$	Nota	$DPD$	Nota	Total
Kozak	-0,00428	3	0,00867	2	0,01463	3	8
Demaerschalk	-0,00026	1	0,00885	3	0,01296	1	5
Ormerod	0,00918	4	0,01129	4	0,01312	2	10
Schöpfer	-0,00072	2	0,00837	1	0,01564	4	7
<b>d = 7 cm</b>							
Modelos	$V$	Nota	$MD$	Nota	$DPD$	Nota	Total
Kozak	0,00032	1	0,01448	3	0,02153	3	7
Demaerschalk	-0,00076	2	0,01302	1	0,01801	1	4
Ormerod	0,01102	4	0,01463	4	0,01920	2	10
Schöpfer	0,00196	3	0,01405	2	0,02199	4	9
<b>d = 6 cm</b>							
Modelos	$V$	Nota	$MD$	Nota	$DPD$	Nota	Total
Kozak	0,00008	1	0,01471	4	0,02192	3	8
Demaerschalk	-0,00105	2	0,01319	1	0,01832	1	4
Ormerod	0,01050	4	0,01454	3	0,01950	2	9
Schöpfer	0,00168	3	0,01420	2	0,02229	4	9

Para os diâmetros 7 e 6 cm, o modelo de Ormerod foi o segundo melhor nos ajustes, com menores valores de  $DPD$  em relação aos demais, indicando ser mais homogênea a distribuição de seus resíduos (Tabela 8). Já os modelos de Kozak e Schöpfer tiveram os piores ajustes, com maior amplitude dos valores residuais e menos homogêneos, respectivamente (Figura 19).

E para o povoamento 4, o modelo de Kozak foi o que obteve melhores estimativas para o volume comercial nos diâmetros avaliados. Em ambos os diâmetros (14 e 6 cm) foi o que gerou menor amplitude entre os resíduos (menor valor de  $MD$ ) (Tabela 9).

Ao se considerar o modelo de Ormerod, analisando as situações avaliadas para o povoamento 4, nota-se maior tendência à subestimação dos valores (Figura 20). O modelo de Schöpfer, na maioria dos casos, representou menor homogeneidade nas distribuições (Tabela 9).

Tabela 8 – Valores de viés ( $v$ ), média das diferenças absolutas ( $MD$ ) e desvio padrão das diferenças ( $DPD$ ), e o *ranking* para as estimativas de volume comercial até os diâmetros de 14, 7 e 6 cm, para o povoamento 3 (53 meses)

<b>d = 14 cm</b>							
Modelos	$v$	Nota	$MD$	Nota	$DPD$	Nota	Total
Kozak	0,00338	2	0,00692	2	0,01105	3	7
Demaerschalk	0,00616	3	0,00756	3	0,01079	2	8
Ormerod	0,00692	4	0,00828	4	0,01032	1	9
Schöpfer	0,00296	1	0,00655	1	0,01143	4	6
<b>d = 7 cm</b>							
Modelos	$v$	Nota	$MD$	Nota	$DPD$	Nota	Total
Kozak	0,00532	3	0,01352	4	0,02040	3	10
Demaerschalk	0,00422	1	0,01195	1	0,01995	2	4
Ormerod	0,00631	4	0,01311	2	0,01986	1	7
Schöpfer	0,00442	2	0,01330	3	0,02127	4	9
<b>d = 6 cm</b>							
Modelos	$v$	Nota	$MD$	Nota	$DPD$	Nota	Total
Kozak	0,00501	3	0,01430	4	0,02122	3	10
Demaerschalk	0,00387	1	0,01284	1	0,02110	2	4
Ormerod	0,00611	4	0,01400	2	0,02101	1	7
Schöpfer	0,00407	2	0,01414	3	0,02220	4	9

Tabela 9 – Valores de viés ( $v$ ), média das diferenças absolutas ( $MD$ ) e desvio padrão das diferenças ( $DPD$ ), e o *ranking* para as estimativas de volume comercial até os diâmetros de 14 e 6 cm, para o povoamento 4 (40 meses)

<b>d = 14 cm</b>							
Modelos	$V$	Nota	$MD$	Nota	$DPD$	Nota	Total
Kozak	0,00023	2	0,00147	1	0,00270	2	5
Demaerschalk	0,00084	3	0,00164	3	0,00269	1	7
Ormerod	0,00293	4	0,00331	4	0,00387	4	12
Schöpfer	0,00007	1	0,00153	2	0,00338	3	6
<b>d = 6 cm</b>							
Modelos	$v$	Nota	$MD$	Nota	$DPD$	Nota	Total
Kozak	0,00042	3	0,00544	1	0,00912	1	5
Demaerschalk	-0,00028	2	0,00578	4	0,00955	3	9
Ormerod	0,00264	4	0,00558	3	0,00930	2	9
Schöpfer	-0,00014	1	0,00549	2	0,00966	4	7

Mendonça et al. (2007) buscaram selecionar modelos para estimar volume comercial no diâmetros 28 e 7 cm com dados de eucalipto e os

resultados apontaram que o modelo de Hradetzky foi o melhor para estimar no diâmetro 28 cm e Ormerod no diâmetro 7 cm. Já no presente estudo, o modelo de Demaerschalk foi selecionado nos povoamentos 1, 2 e 3 para estimar o volume comercial no diâmetro 7 cm.

Em estudo realizado com *Pinus taeda* por Assis et al. (2002), o modelo de Schöepfer não gerou boa precisão, sendo portanto, não recomendado para aquela condição. Enquanto no presente trabalho, esse modelo proporcionou melhores estimativas para estimar o volume comercial no diâmetro 14 cm do povoamento 3. Nos demais casos, os resultados foram comuns aos obtidos pelos autores do trabalho com *Pinus taeda*.

Outro trabalho com o gênero *Pinus*, testando cinco modelos de afilamento, mostrou que o modelo de Clark foi o mais viável para estimar o volume ao longo do fuste das árvores (FIGUEIREDO FILHO et al., 1996).

Assim como para estimação da altura comercial, o modelo de Biging também foi o melhor para estimar o volume comercial em estudo realizado por Souza et al. (2008b) com eucalipto, sendo este o modelo com maior estabilidade para o volume ao longo do fuste.

Analisando os valores das estatísticas  $V$ ,  $MD$  e  $DPD$  para os resultados das estimativas de volume comercial, observa-se que estes foram baixos, mostrando haver boa precisão dessas estimativas para os diâmetros avaliados. Esses valores, em geral, foram menores do que aqueles encontrados em Mendonça et al. (2007) e Souza et al. (2008b).

Uma observação importante refere-se ao que está exposto na Tabela 10. Observa-se que, para alguns diâmetros mínimos de alguns povoamentos em estudo, diferentes modelos foram selecionados para estimar volume e altura nestes pontos. É o caso do diâmetro 14 cm nos povoamentos 2 e 3, e ainda, o diâmetro 6 cm nos povoamentos 2 e 3. Apenas no povoamento 1 um mesmo modelo foi o selecionado para estimar altura e volume em todos os diâmetros avaliados (14, 7 e 6 cm).

De acordo com Campos e Leite (2009), a forma descrita pelo perfil do fuste de cada espécie é um dos fatores determinantes na eficiência de uma função de afilamento. Assim, neste estudo, por se tratar de povoamentos com diferentes materiais genéticos, isso pode ter ocasionado diferentes resultados

de ajuste dos modelos, demonstrando essa variação no perfil do fuste em cada povoamento.

Ferreira (1999) afirma que em avaliação de modelos de afilamento é que alguns se destacam um pouco em relação aos demais, considerando o comportamento diferenciado no crescimento de cada espécie.

Tabela 10 – Resultados dos ajustes mostrando os modelos selecionados para estimar altura e/ou volume comercial nos diâmetros pré-estabelecidos para os povoamentos avaliados

<b>Povoamento 1</b>			<b>Povoamento 2</b>		
d (cm)	Altura	Volume	d (cm)	Altura	Volume
14	Kozak	Kozak	14	Kozak	Demaerschalk
12	Demaerschalk	-	12	Demaerschalk	-
10	Demaerschalk	-	10	Demaerschalk	-
8	Demaerschalk	-	8	Ormerod	-
7	Demaerschalk	Demaerschalk	7	Demaerschalk	Demaerschalk
6	Demaerschalk	Demaerschalk	6	Ormerod	Demaerschalk
<b>Povoamento 3</b>			<b>Povoamento 4</b>		
d (cm)	Altura	Volume	d (cm)	Altura	Volume
14	Demaerschalk	Schöpfer	14	Kozak	Kozak
12	Demaerschalk	-	12	Demaerschalk	-
10	Demaerschalk	-	10	Kozak	-
8	Ormerod	-	8	Kozak	-
7	Demaerschalk	Demaerschalk	7	-	-
6	Demaerschalk	Demaerschalk	6	Demaerschalk	Kozak

### 3.3. QUANTIFICAÇÃO DE MULTIPROPÓSITOS NOS POVOAMENTOS

A partir dos resultados dos ajustes dos modelos de afilamento, para estimar altura e volume comerciais ao longo do fuste das árvores em diâmetros pré-estabelecidos, foi possível quantificar as produções das finalidades de uso da madeira, tanto para uso único como para multiprodutos para cada povoamento.

Os resultados estão nas Tabelas 11, 12 e 13. Observa-se que para o uso único, o povoamento 1 compreende maiores valores quanto ao aproveitamento da madeira, restando baixa proporção de resíduos (0,96 e 2,34% para energia e celulose, respectivamente). Enquanto que o povoamento 2, apesar de ter idade próxima ao primeiro, os rendimentos proporcionais foram

mais baixos entre todos os povoamentos avaliados, considerando as finalidades de uso estudadas, ficando abaixo de 90%, tanto para energia quanto para celulose com 86,24 e 80,32%, respectivamente. Consequentemente, gerou maior proporção de resíduos (Tabela 11).

Com relação às produções registradas no povoamento 3, observa-se que os valores foram intermediários entre os povoamentos 1 e 2.

Pelo fato de se tratarem de materiais genéticos diferentes e por apresentarem idades diferentes, estes povoamentos nas situações em que se encontram possuem forma do tronco distinta, conforme foi observado nos resultados dos ajustes de modelos de afilamento, principalmente quanto à estimação da altura. Isso porque analisando a estimação do volume comercial, um mesmo modelo (Demaerschalk) foi selecionado para estimar nos pontos de diâmetro igual a 7 e 6 cm (Tabelas 6, 7 e 8) nos povoamentos 1, 2 e 3.

Nos povoamentos 1 e 3, observou-se que o modelo de Demaerschalk foi o selecionado para estimar a altura nos pontos de diâmetro igual 7 e 6 cm (Tabelas 2 e 4), enquanto que no povoamento 2, Demaerschalk foi melhor para estimar no diâmetro de 7 cm e Ormerod para o diâmetro de 6 cm (Tabela 3), ou seja, em pontos próximos no fuste, mais de um modelo foi empregado para fazer tal estimação, mostrando haver diferença na forma do fuste.

Quanto à produção de madeira para energia, observa-se que o povoamento 4, apesar da idade mais jovem entre os povoamentos, foi o segundo maior em rendimento percentual, atrás apenas do povoamento 1 e superior aos povoamentos 2 e 3 (Tabela 11).

Tabela 11 – Produção volumétrica (m<sup>3</sup>/ha) dos povoamentos florestais 1, 2, 3 e 4 para uso único, celulose e/ou energia

Povoamento	Idade (meses)	Uso Único	Produção
1	77	Energia	263,06 m <sup>3</sup> /ha (99,04)
		Celulose	259,38 m <sup>3</sup> /ha (97,66)
2	72	Energia	222,76 m <sup>3</sup> /ha (86,24)
		Celulose	207,47 m <sup>3</sup> /ha (80,32)
3	53	Energia	150,65 m <sup>3</sup> /ha (91,35)
		Celulose	148,28 m <sup>3</sup> /ha (89,91)
4	40	Energia	84,30 m <sup>3</sup> /ha (94,00)

Os valores entre parênteses referem-se à proporção da produção para o referido uso em relação à produção total de madeira produzido em cada povoamento.

Tabela 12 – Produção dos povoamentos florestais (m<sup>3</sup>/ha) para multiprodutos

Povoamento	Idade (meses)	Mourões (nº peças/ha)				Celulose (m <sup>3</sup> /ha)	Energia (m <sup>3</sup> /ha)
		12 - 14	10 - 12	8 - 10	6 - 8		
1	77	4308	538	528	866	183,44	-
2	72	3343	1093	88	61	157,25	-
3	53	2306	242	91	119	73,09	-
4	40	303	1043	788	1626	-	15,26

Tabela 13 – Produção volumétrica dos povoamentos florestais para multiprodutos, em m<sup>3</sup>/ha

Povoamento	Idade (meses)	Mourões (m <sup>3</sup> /ha)	Celulose (m <sup>3</sup> /ha)	Energia (m <sup>3</sup> /ha)
1	77	79,62 (29,98)	183,44 (69,07)	-
2	72	65,51 (25,36)	157,25 (60,88)	-
3	53	77,56 (47,03)	73,09 (44,32)	-
4	40	69,04 (76,98)	-	15,26 (17,02)

Os valores entre parênteses referem-se à proporção da produção para o referido uso em relação à produção total de madeira produzido em cada povoamento.

Também foi avaliada a produção de madeira para multiprodutos, considerando as combinações com duas finalidades de uso para cada povoamento, em que é incluído o uso da madeira para mourões, em conjunto com celulose (povoamentos 1, 2 e 3) e com energia (povoamento 4).

Assim, avaliando somente a produção de peças de mourões de 2,20 m entre o intervalo de 14 e 6 cm ao longo do fuste, pode-se observar que cada povoamento obteve uma produção diferenciada dos demais com relação a quantidade de peças em cada uma das classes. Os povoamentos 1, 2 e 3 produziram mais peças na classe 12 - 14, enquanto o povoamento 4 na classe 6 - 8 (Tabela 12). Isso pode ser explicado pelo fato dos povoamentos mais velhos apresentarem árvores de maior porte em relação a um povoamento mais jovem, assim a distância entre estes diâmetros no fuste tendem a ser maior.

Para as demais classes, as produções de peças foram maiores nos povoamentos 2 (classe 10 - 12) e 4 (classes 8 - 10 e 6 - 8).

O povoamento 2 foi, ainda, o que apresentou menores produções das classes 8 - 10 e 6 - 8, bem como os povoamentos 3 e 4 nas classes 10 - 12 e 12 - 14, respectivamente (Tabela 12).

E com relação ao rendimento dos multiprodutos, observa-se que os povoamentos 1 e 2 tiveram maior proporção de uso do volume comercial para celulose (acima de 60%) em relação ao volume de mourões (abaixo de 30%). Já, o povoamento 3, com idade inferior a esses, teve comportamento inverso, indicando produção volumétrica superior em cerca de 3% para mourões comparado com celulose. Para o povoamento 4, o rendimento em mourões foi cerca de  $\frac{3}{4}$  do volume total das árvores e menos de 20% destinado para energia. Este povoamento por apresentar árvores de menores classes de diâmetro tende ter maior aproveitamento para mourões, pois a maior parte do fuste está dentro do intervalo de diâmetros entre 14 e 6 cm (Tabela 13).

#### 4. CONCLUSÕES

- Houve diferença quanto aos modelos selecionados para estimar a altura comercial nos diâmetros avaliados, mostrando haver diferença no perfil do fuste entre os povoamentos.
- No povoamento 1, o modelo de Kozak foi selecionado para estimar altura e volume no diâmetro de 14 cm, enquanto que para os demais avaliados, o modelo de Demaerschalk mostrou-se superior.
- Para o povoamento 2, o modelo de Demaerschalk foi que apresentou melhor desempenho para estimar o volume comercial em todos os diâmetros avaliados. Ainda, o modelo de Kozak ajustou melhor para altura no diâmetro de 14 cm, Demaerschalk em 12, 10 e 7 cm, e Ormerod em 8 e 6 cm.
- Enquanto no povoamento 3, Demaerschalk foi o melhor para estimar altura em todos os diâmetros avaliados, exceto no diâmetro de 8 cm, em que Ormerod foi superior. Quanto ao volume, Demaerschalk apresentou melhor estimativa nos diâmetros 7 e 6 cm e Shöepfer no diâmetro 14 cm.
- Para o povoamento 4, Kozak foi o selecionado como o melhor para estimar o volume comercial nos diâmetros 14 e 6 cm, e a altura comercial nos diâmetros 14, 10 e 8 cm; já Demaerschalk foi o melhor para estimar altura nos diâmetros 12 e 6 cm.
- O aproveitamento da madeira de uso único para celulose foi maior no povoamento 1 (97%), seguido do povoamento 3 (90%) e 2 (80%). Para energia, a proporção foi maior nos povoamentos 1 e 4 (99 e 94%,respectivamente) em relação ao 2 e 3 (86 e 91%,respectivamente).
- Os povoamentos mais jovens (3 e 4) apresentaram maior proporção de uso da madeira para mourões em relação à celulose e energia, no caso de produção de multiprodutos.

## 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRAF. **Anuário Estatístico da Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas (ABRAF)**: ano base 2009. Brasília: ABRAF, 2010, 140 p.

ALFENAS, A. C.; ZAUZA, E .A. V.; MAFIA, R. G.; ASSIS, T. F. **Clonagem e Doenças do Eucalipto**. Viçosa, MG: Ed. UFV, 2004. 442 p.

ANGELI, A. **Indicações para escolha de espécies de Eucalyptus**. IPEF, 2005. Disponível em: <<http://www.ipef.br/identificacao/eucalyptus/indicacoes.asp>> Acesso em: 01 maio 2010.

ASSIS, A. L. de; SCOLFORO, J. R. S.; MELLO, J. M. de; OLIVEIRA, A. D. de. Avaliação de modelos polinomiais não-segmentados na estimativa de diâmetros e volumes comerciais de *Pinus taeda*. **Ciência Florestal**, v.12, n.1, p.89- 107, 2002.

BARREIRO, S.; TOMÉ, M.; LUÍS, M. **Manuais de utilização do relascópio de espelhos de Bitterlich e telerelescópio**. Relactório Técnico do GIMREF, PT. 2/2004.

CAMPOS, J. C. C.; LEITE, H. G. **Mensuração Florestal**: perguntas e respostas. 3. ed. atualizada e ampliada. Viçosa-MG, Editora UFV, 548 p., 2009.

CHICHORRO J. F.; REZENDE, J. L. P.; LEITE, H. G. Equações de volume e de taper para quantificar multiprodutos da madeira em Floresta Atlântica. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.27, n.6, p.799-809, 2003.

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

FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nation. **Incentivos e mecanismos financeiros para o manejo florestal sustentável na Região Sul do Brasil**. In: Relatório 03: Mecanismos Financeiros. Curitiba, 2004. Disponível em: <[www.fao.org/forestry/12000-3-0.pdf](http://www.fao.org/forestry/12000-3-0.pdf)> Acesso em: 01 abr. 2010

FERREIRA, S. O. **Estudo da forma do fuste de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus cloeziana***. 1999. 112 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Lavras, Lavras.

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. 39-46, 1996.

KOZAK, A. et al. Taper functions and their application in Forest inventory. **Forestry Chronicle**, v. 45, n. 4, p. 278-283, 1969.

MENDONÇA, A. R.; SILVA, G. F.; OLIVEIRA, J. T. S.; NOGUEIRA, G. S.; ASSIS, A. L. Avaliação de funções de afilamento visando a otimização de fustes de *Eucalyptus* sp. para multiprodutos. **Revista Cerne**, Lavras-MG, v.13, n.1, p.71-82, 2007.

ORMEROD, D. W. A simples bole model. **The Forestry Chronicle**, v. 49, n. 3, p. 136-138, 1973.

SANTOS, A.R. **Zoneamento agroclimatológico para a cultura do café conilon (*Coffea canephora* L.) e arábica (*Coffea 125d125P125ca* L.) na bacia do Rio Itapemirim, ES.** 1999, 62 f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia Agrícola) – Viçosa, UFV. 1999.

SAS INSTITUTE INC SAS/STAT User's Guide versão 9.2. Cary, NC, 2008.

SIQUEIRA, J. D. P.; LISBOA, R. S.; FERREIRA, A. M.; SOUZA, M. F. R.; ARAÚJO, E.; LISBÃO JÚNIOR, L.; SIQUEIRA, M. M. Estudo ambiental para os programas de fomento florestal da Aracruz Celulose S. A. e extensão florestal do governo do estado do Espírito Santo. **Floresta**, Edição especial, nov/2004, p. 3-67.

SOARES, C. P. B.; PAULA NETO, F.; SOUZA, A. L. **Dendrometria e Inventário Florestal.** Viçosa-MG, Editora UFV, 276 p., 2007.

SOARES, T. S.; CARVALHO, R. M. M. A.; VALE A. B. Avaliação econômica de um povoamento de *Eucalyptus grandis* destinado a multiprodutos. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.27, n.5, p.689-694, 2003 (a).

SOARES, T. S.; VALE, A. B.; LEITE, H. G.; MACHADO, C. C. Otimização de multiprodutos em povoamentos florestais. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.27, n.6, p.811-820, 2003 (b).

SOARES, T. S.; LEITE, H. G.; VALE, A. B. Um modelo alternativo para a quantificação de multiprodutos em árvores individuais. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 28, n. 6, p. 875-882, 2004

SCHÖEPFER, W. **Automatisierung des Masse, Sorten und Wertberechnung stender Waldbestände Schriftenreihe Bad. [S.I]:** Wurt-Forstl.,1966. n.p.

SOUZA, C. A. M.; CHASSOT, T.; FINGER, C. A. G.; SCHNEIDER, P. R.; FLEIG, F. D. Modelos de afilamento para o sortimento do fuste de *Pinus taeda* L. **Revista Ciência Rural**, Santa Maria-RS, v.38, n.9, p.2506-2511, 2008 (a).

SOUZA, C. A. M.; SILVA, G. F.; XAVIER, A. C.; MEDONCA, A. R.; ALMEIDA, A. Q. Avaliação de modelos de afilamento não-segmentados na estimação da altura e volume comercial de *Eucalyptus* sp. **Ciência Florestal**, v. 18, p. 393-405, 2008 (b).

SOUZA, C. A. M. **Modelos de afilamento para Pinus taeda L. ajustados segundo a forma do tronco e métodos de estratificação.** 120 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, 2009.

## **ANEXOS**

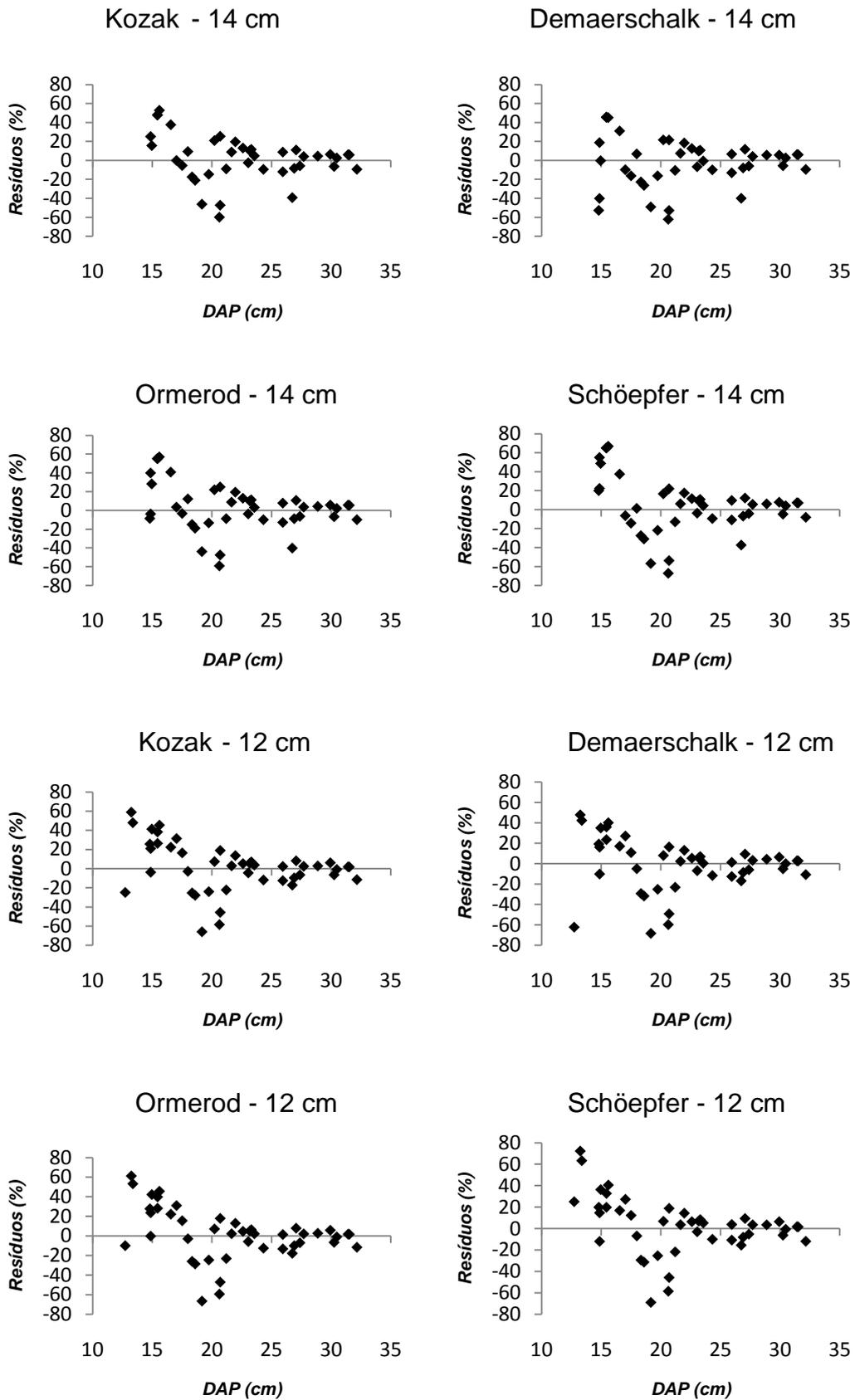
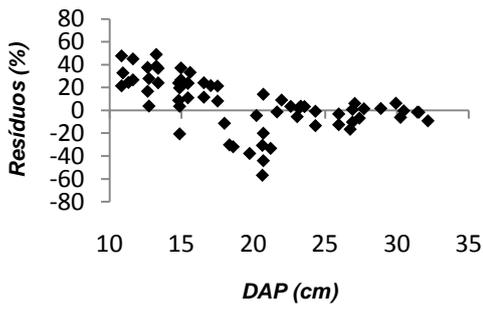
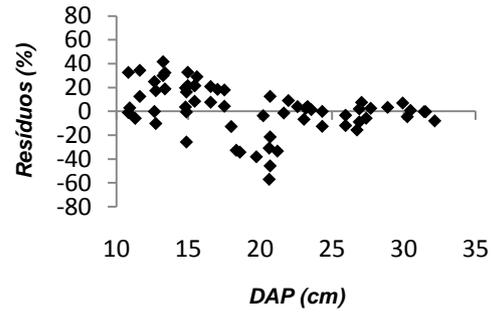


Figura 2 – Distribuição dos resíduos da altura comercial nos diâmetros 14 e 12 cm, em porcentagem, em função do DAP, para os modelos de Kozak, Demaerschalk, Ormerod e Schöpfer, para o povoamento 1 (77 meses).

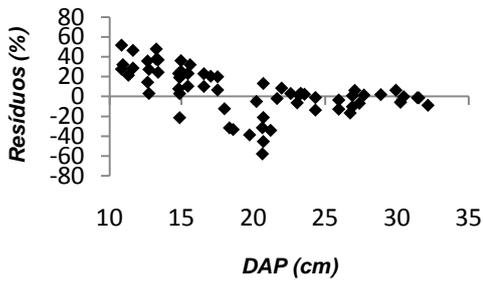
Kozak - 10 cm



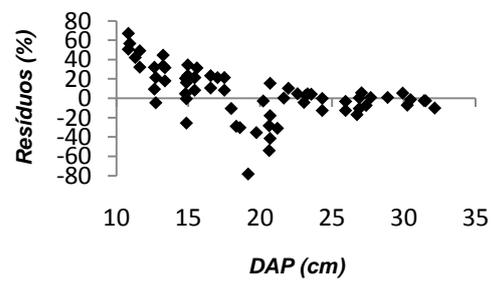
Demaerschalk - 10 cm



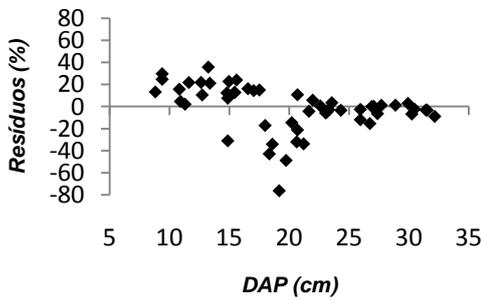
Ormerod - 10 cm



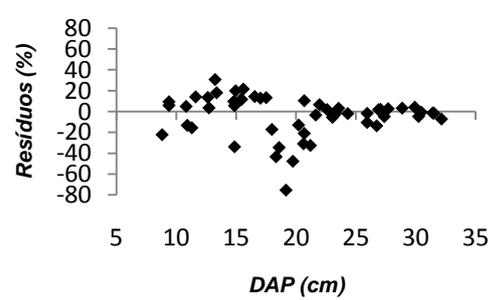
Schöpfer - 10 cm



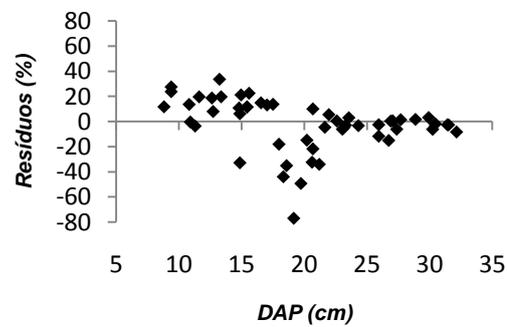
Kozak - 8 cm



Demaerschalk - 8 cm



Ormerod - 8 cm



Schöpfer - 8 cm

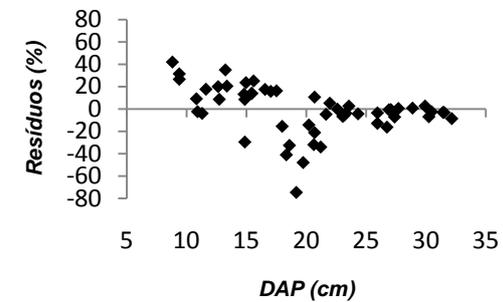
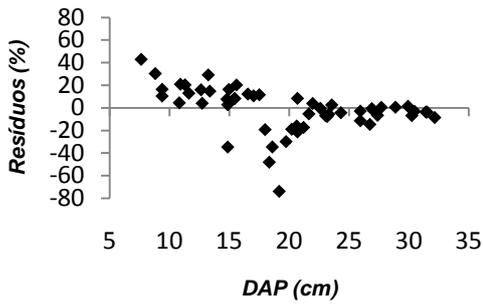
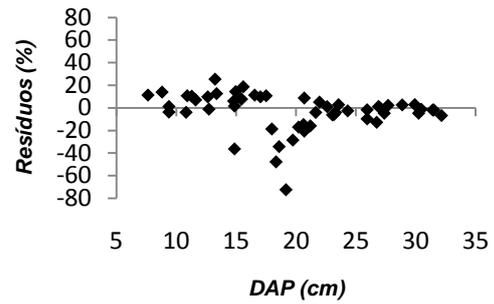


Figura 3 – Distribuição dos resíduos da altura comercial nos diâmetros 10 e 8 cm, em porcentagem, em função do DAP, para os modelos de Kozak, Demaerschalk, Ormerod e Schöpfer, para o povoamento 1 (77 meses).

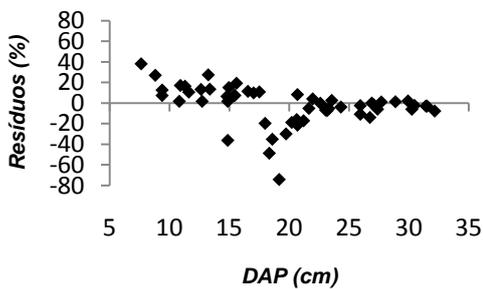
Kozak - 7 cm



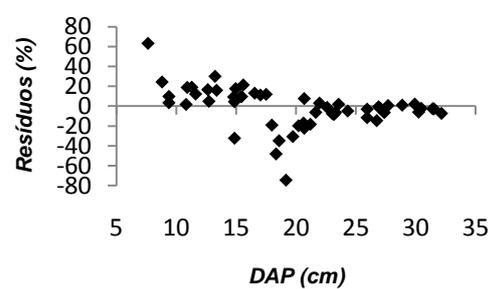
Demaerschalk - 7 cm



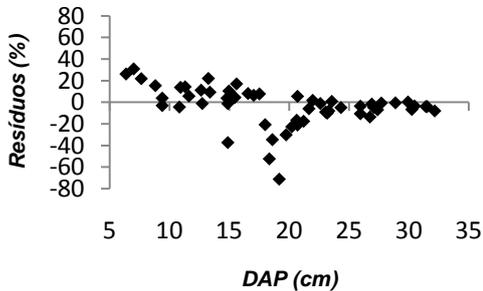
Ormerod - 7 cm



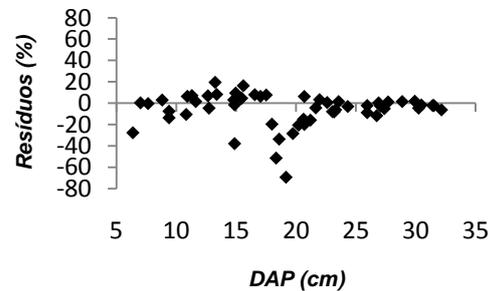
Schöpfer - 7 cm



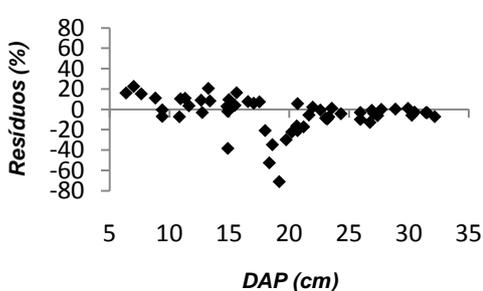
Kozak - 6 cm



Demaerschalk - 6 cm



Ormerod - 6 cm



Schöpfer - 6 cm

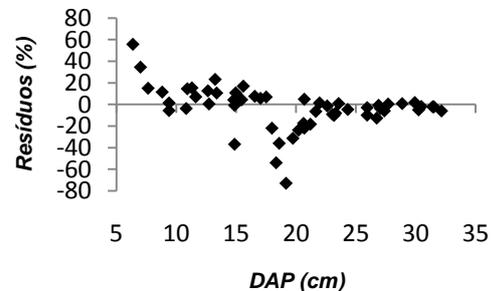
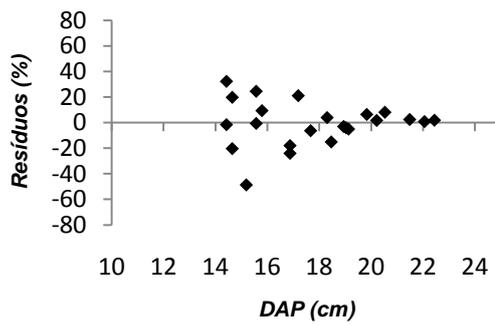
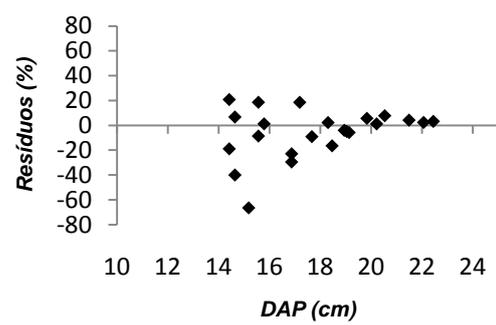


Figura 4 – Distribuição dos resíduos da altura comercial nos diâmetros 7 e 6 cm, em porcentagem, em função do DAP, para os modelos de Kozak, Demaerschalk, Ormerod e Schöpfer, para o povoamento 1 (77 meses).

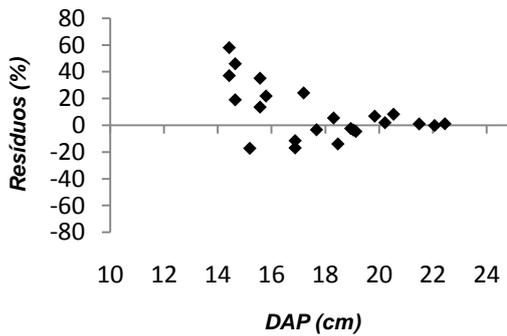
Kozak – 14 cm



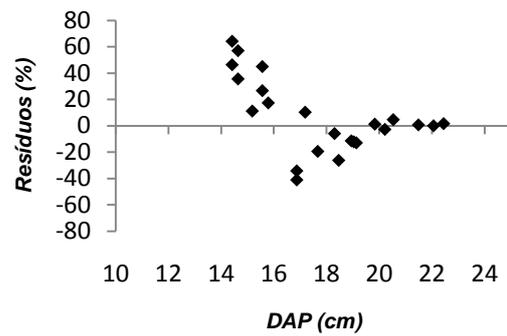
Demaerschalk – 14 cm



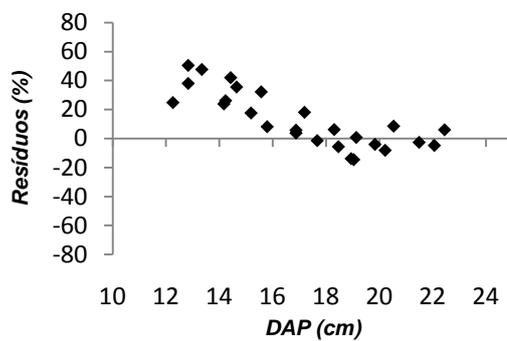
Ormerod – 14 cm



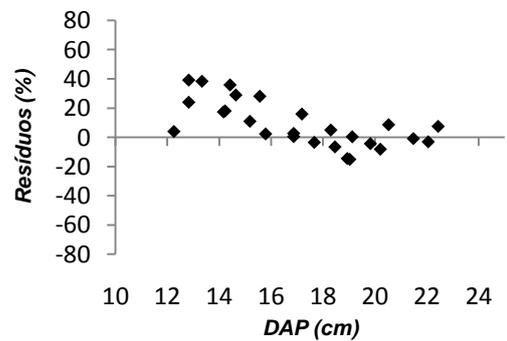
Schöpfer – 14 cm



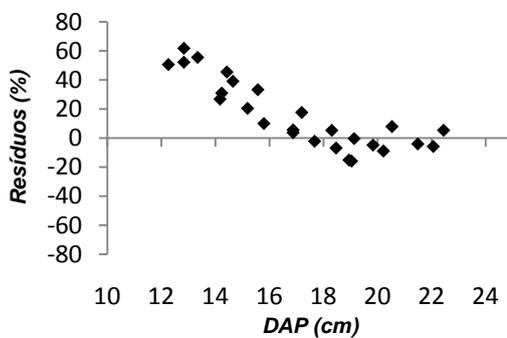
Kozak - 12 cm



Demaerschalk - 12 cm



Ormerod - 12 cm



Schöpfer - 12 cm

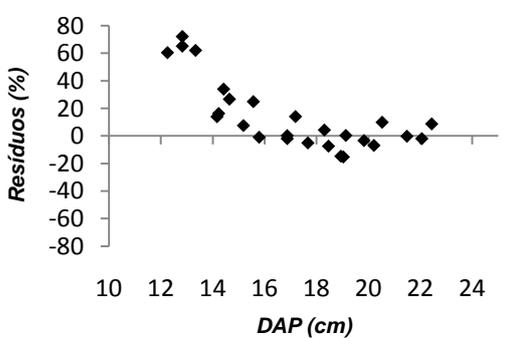
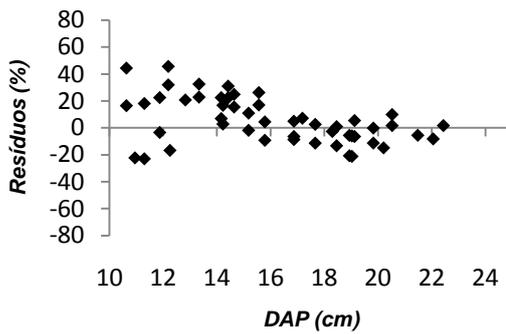
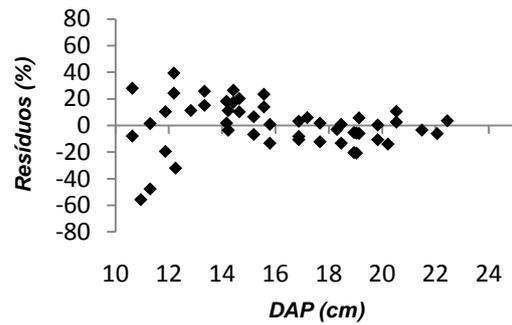


Figura 5 – Distribuição dos resíduos da altura comercial nos diâmetros 14 e 12 cm, em porcentagem, em função do DAP, para os modelos de Kozak, Demaerschalk, Ormerod e Schöpfer, para o povoamento 2 (72 meses).

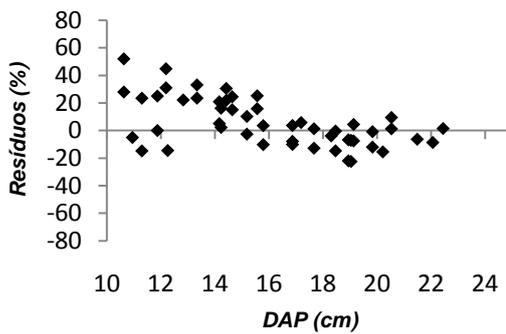
Kozak – 10 cm



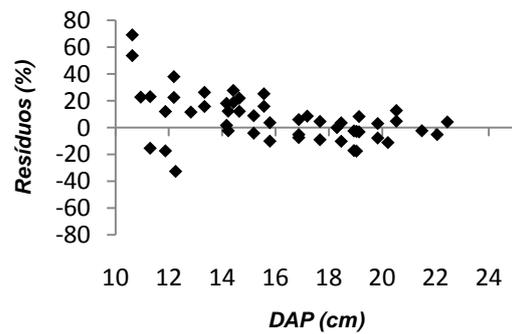
Demaerschalk – 10 cm



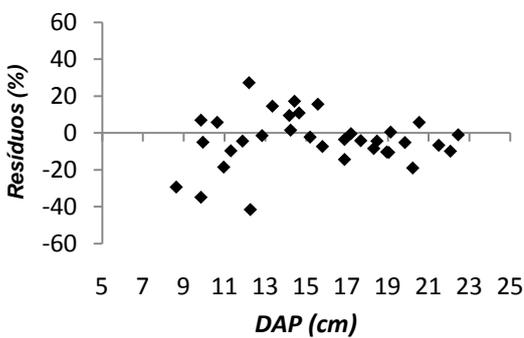
Ormerod – 10 cm



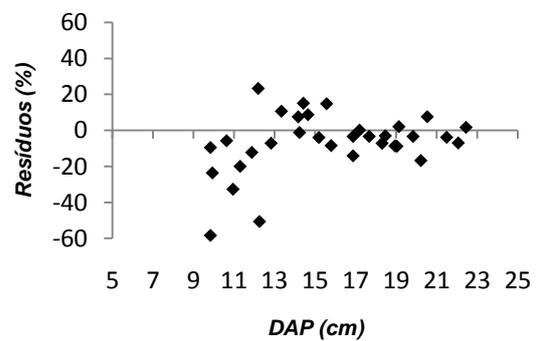
Schöpfer – 10 cm



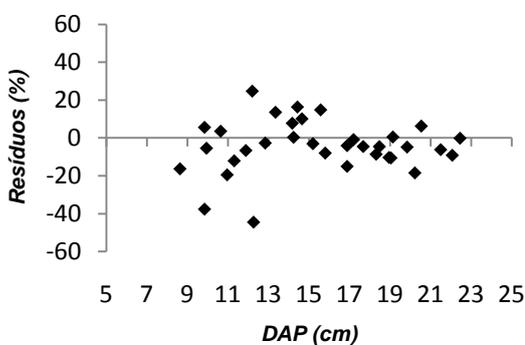
Kozak – 8 cm



Demaerschalk – 8 cm



Ormerod – 8 cm



Schöpfer – 8 cm

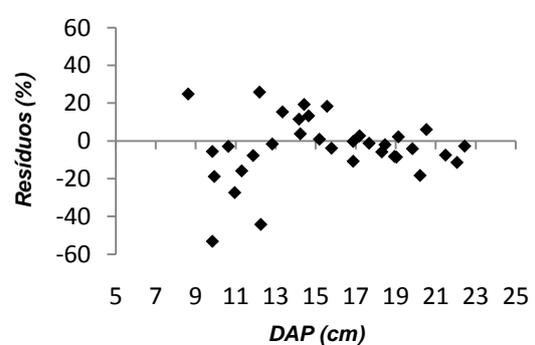
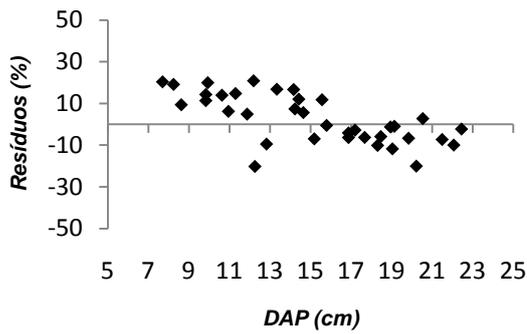
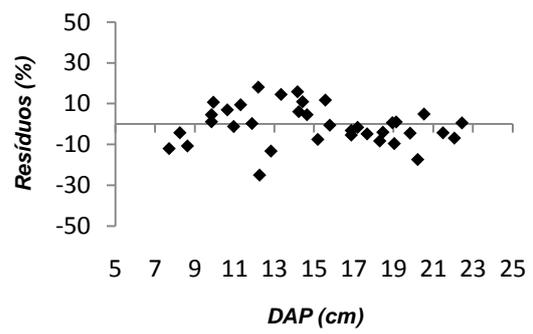


Figura 6 – Distribuição dos resíduos da altura comercial nos diâmetros 10 e 8 cm, em porcentagem, em função do DAP, para os modelos de Kozak, Demaerschalk, Ormerod e Schöpfer, para o povoamento 2 (72 meses).

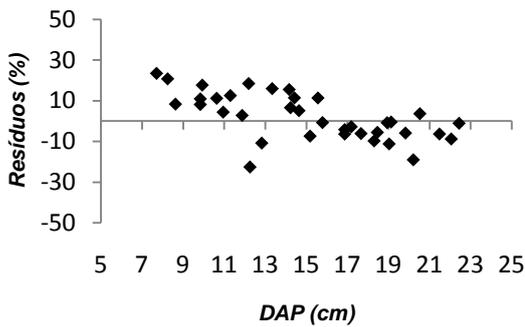
Kozak – 7 cm



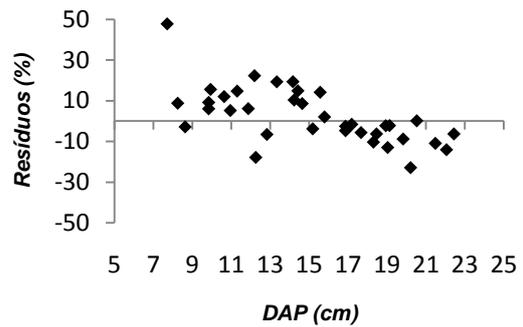
Demaerschalk – 7 cm



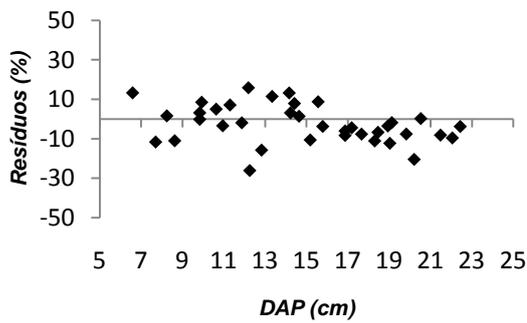
Ormerod – 7 cm



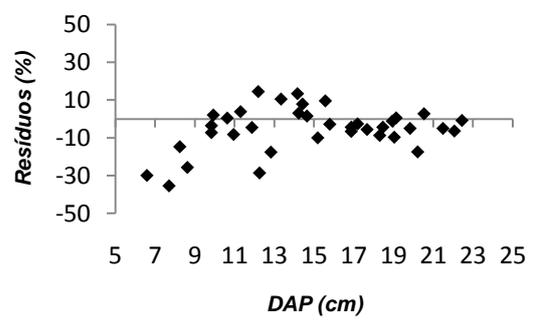
Schöpfer – 7 cm



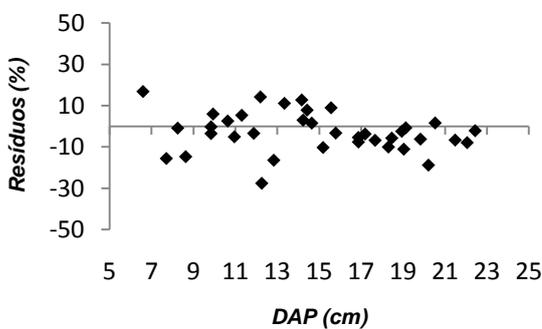
Kozak – 6 cm



Demaerschalk – 6 cm



Ormerod – 6 cm



Schöpfer – 6 cm

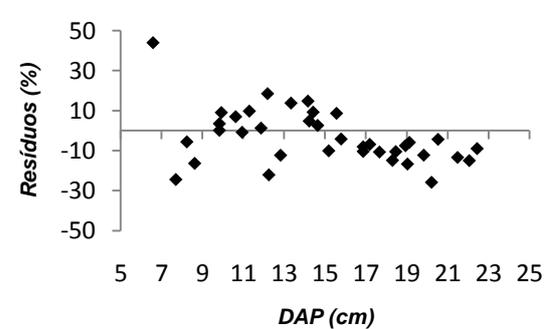
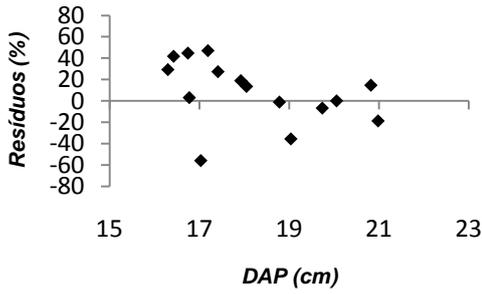
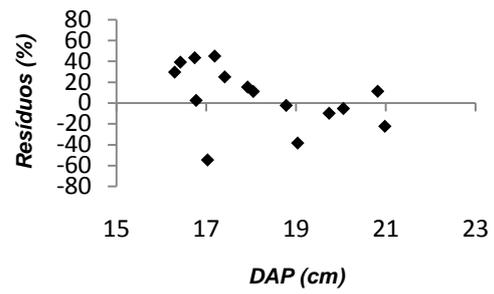


Figura 7 – Distribuição dos resíduos da altura comercial nos diâmetros 7 e 6 cm, em porcentagem, em função do DAP, para os modelos de Kozak, Demaerschalk, Ormerod e Schöpfer, para o povoamento 2 (72 meses).

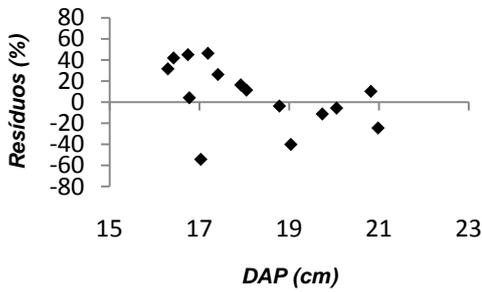
Kozak - 14 cm



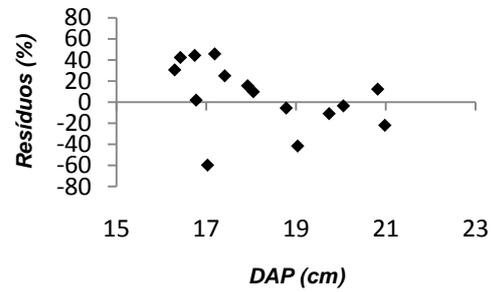
Demaerschalk - 14 cm



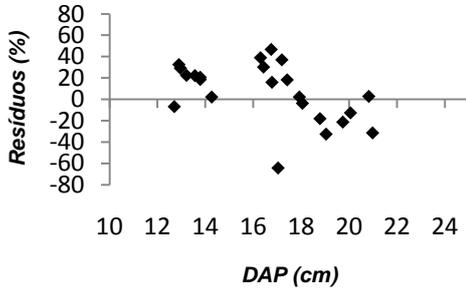
Ormerod - 14 cm



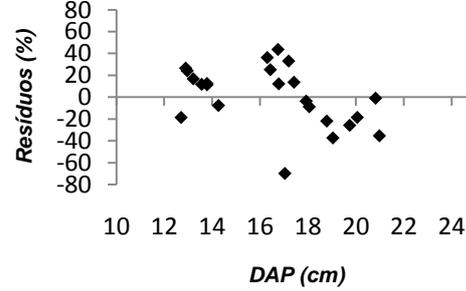
Schöpfer - 14 cm



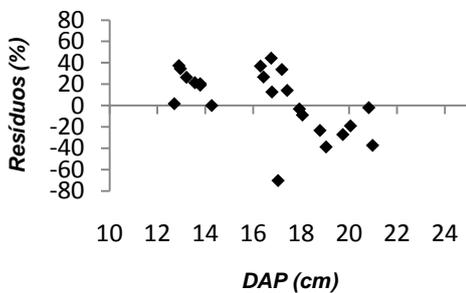
Kozak - 12 cm



Demaerschalk - 12 cm



Ormerod - 12 cm



Schöpfer - 12 cm

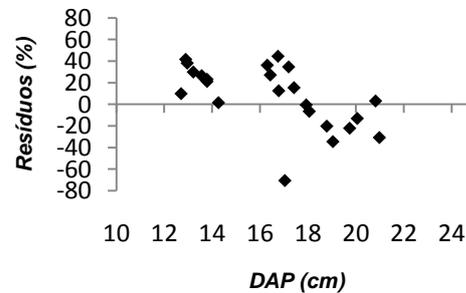
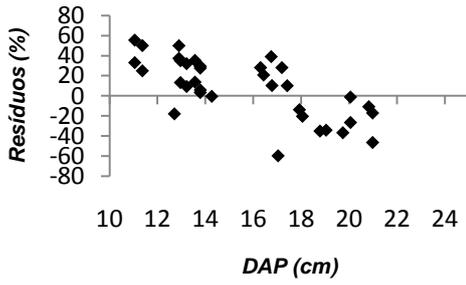
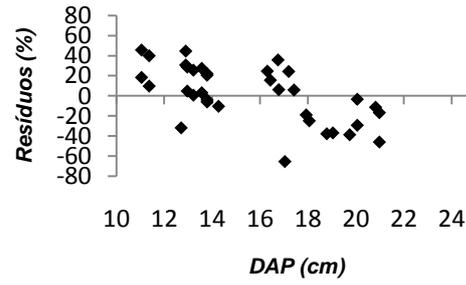


Figura 8 – Distribuição dos resíduos da altura comercial nos diâmetros 14 e 12 cm, em porcentagem, em função do DAP, para os modelos de Kozak, Demaerschalk, Ormerod e Schöpfer, para o povoamento 3 (53 meses).

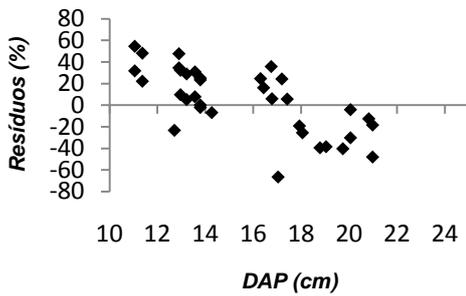
Kozak - 10 cm



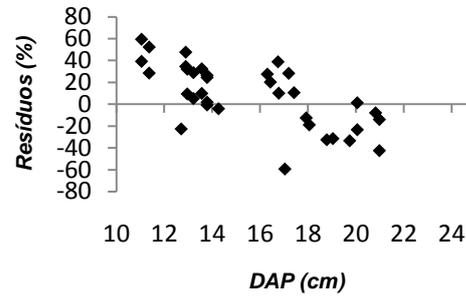
Demaerschalk - 10 cm



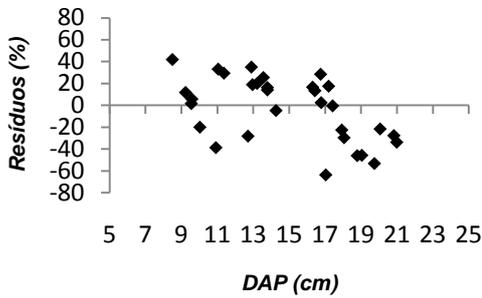
Ormerod - 10 cm



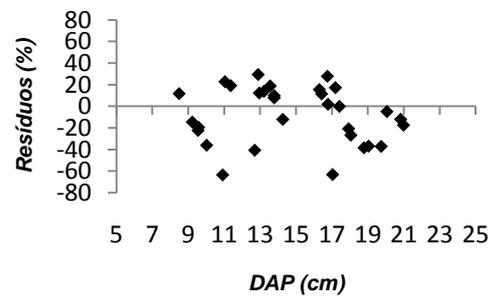
Schöpfer - 10 cm



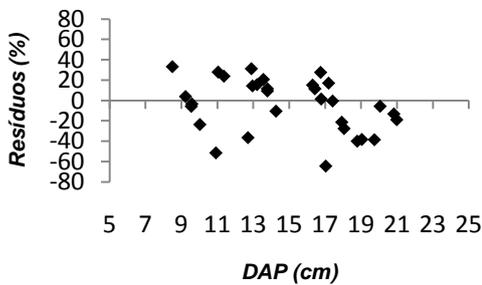
Kozak - 8 cm



Demaerschalk - 8 cm



Ormerod - 8 cm



Schöpfer - 8 cm

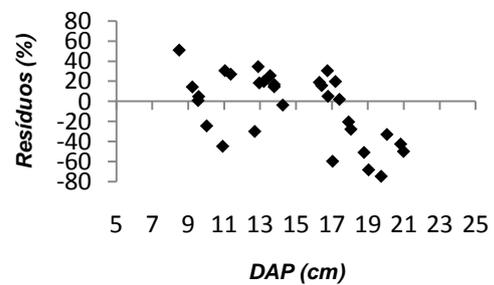
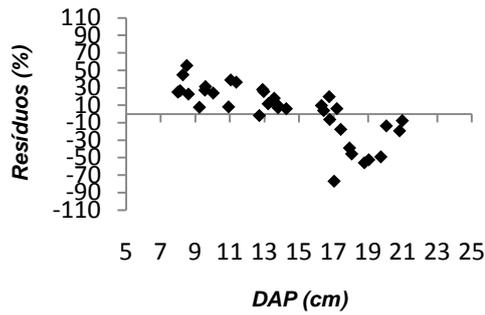
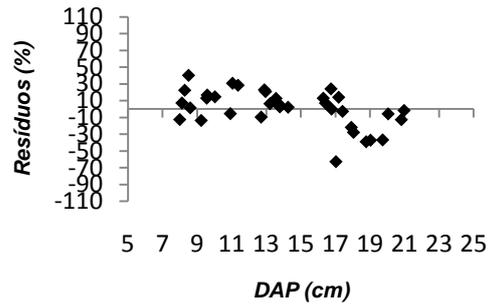


Figura 9 – Distribuição dos resíduos da altura comercial nos diâmetros 10 e 8 cm, em porcentagem, em função do DAP, para os modelos de Kozak, Demaerschalk, Ormerod e Schöpfer, para o povoamento 3 (53 meses).

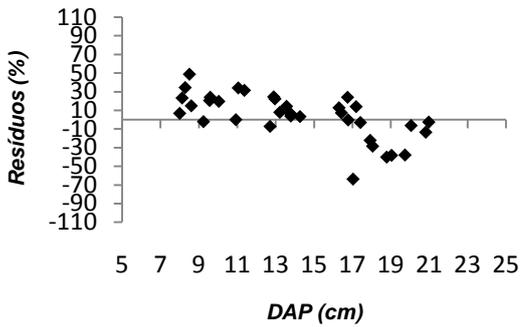
Kozak - 7 cm



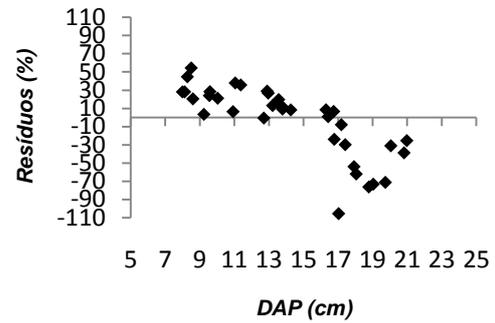
Demaerschalk - 7 cm



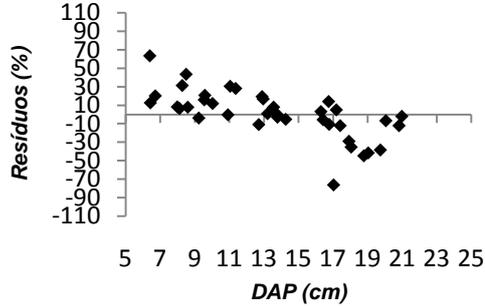
Ormerod - 7 cm



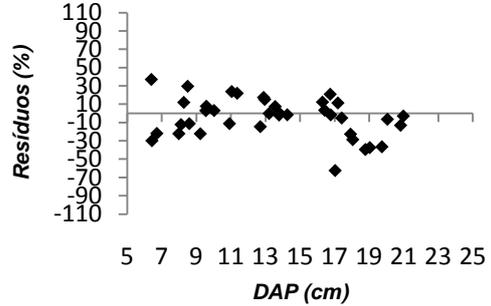
Schöpfer - 7 cm



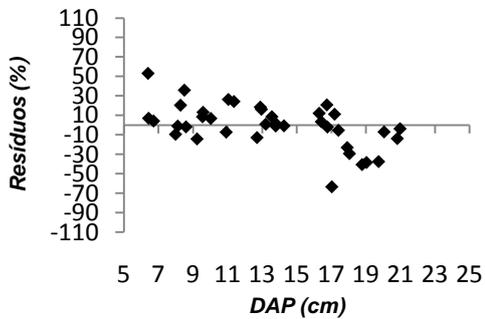
Kozak - 6 cm



Demaerschalk - 6 cm



Ormerod - 6 cm



Schöpfer - 6 cm

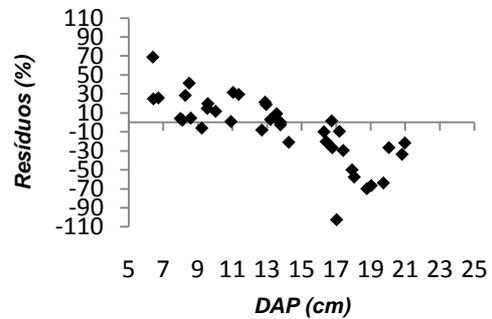
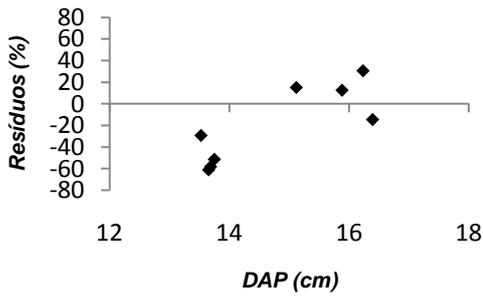
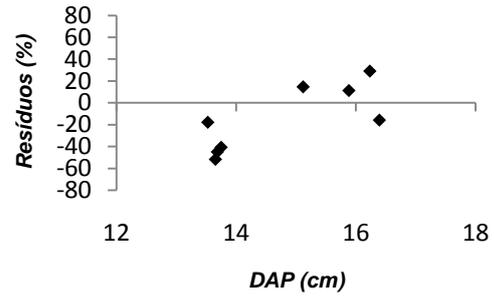


Figura 10 – Distribuição dos resíduos da altura comercial nos diâmetros 7 e 6 cm, em porcentagem, em função do DAP, para os modelos de Kozak, Demaerschalk, Ormerod e Schöpfer, para o povoamento 3 (53 meses).

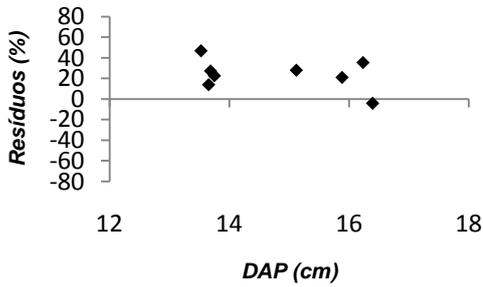
Kozak - 14 cm



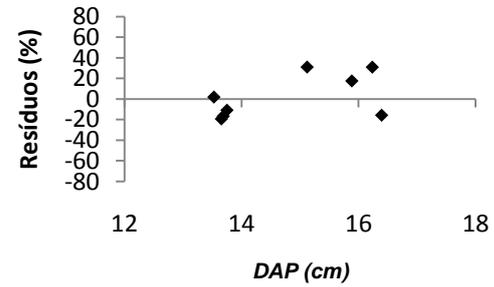
Demaerschalk - 14 cm



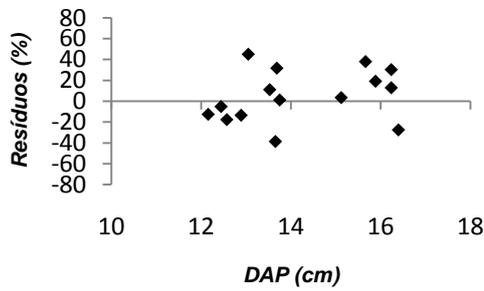
Ormerod - 14 cm



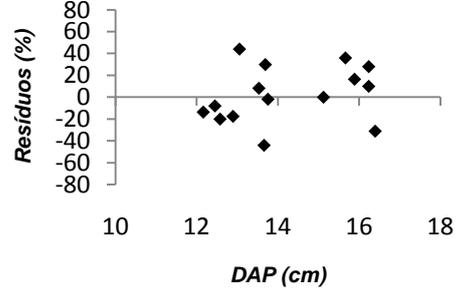
Schöpfer - 14 cm



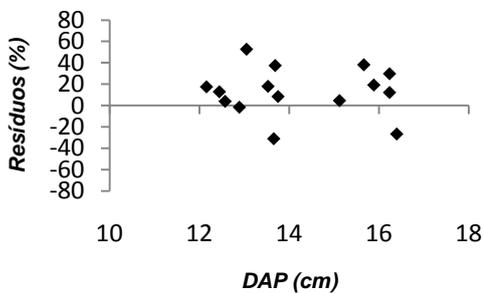
Kozak - 12 cm



Demaerschalk - 12 cm



Ormerod - 12 cm



Schöpfer - 12 cm

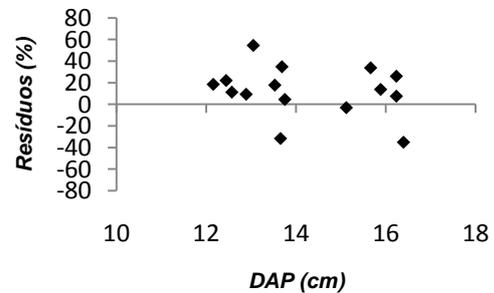
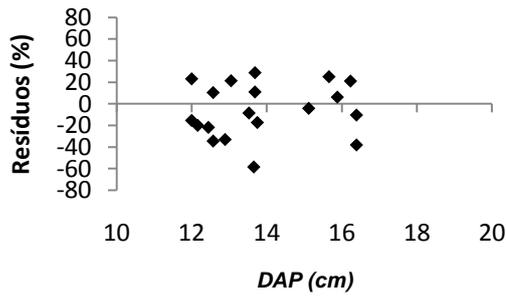
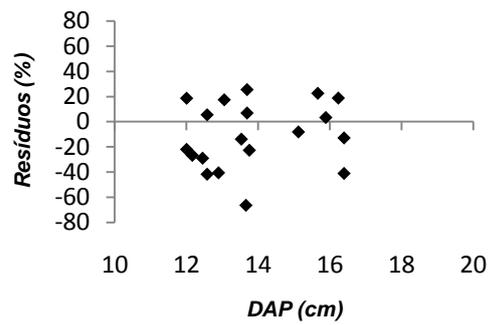


Figura 11 – Distribuição dos resíduos da altura comercial nos diâmetros 14 e 12 cm, em porcentagem, em função do DAP, para os modelos de Kozak, Demaerschalk, Ormerod e Schöpfer, para o povoamento 4 (40 meses).

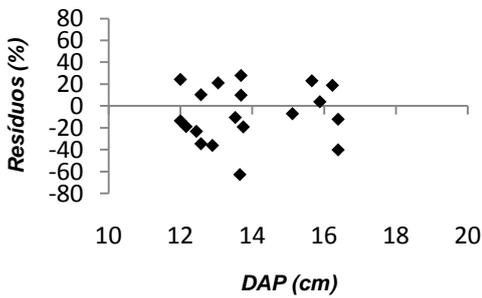
Kozak - 10 cm



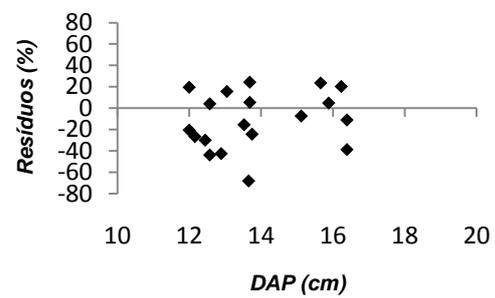
Demaerschalk - 10 cm



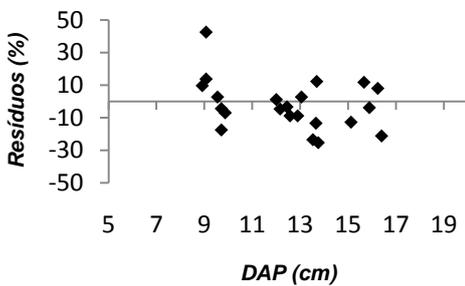
Ormerod - 10 cm



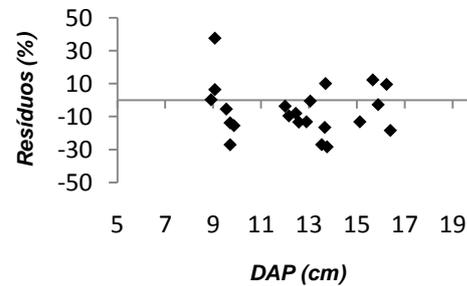
Schöpfer - 10 cm



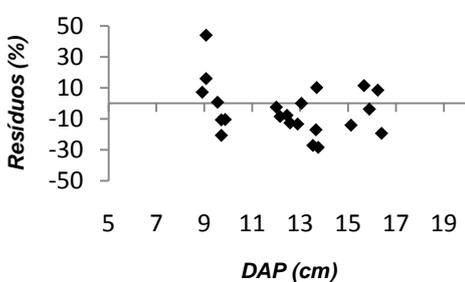
Kozak - 8 cm



Demaerschalk - 8 cm



Ormerod - 8 cm



Schöpfer - 8 cm

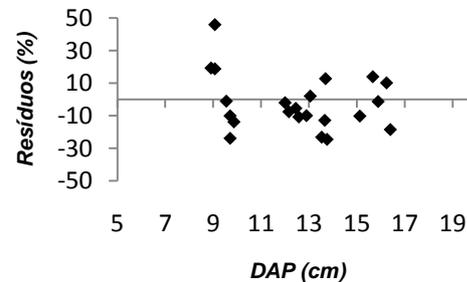
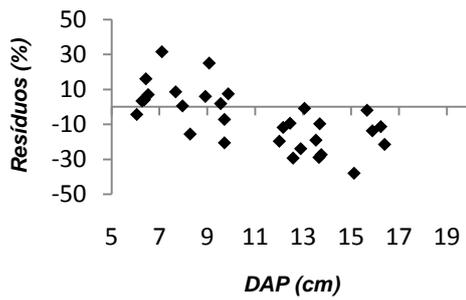
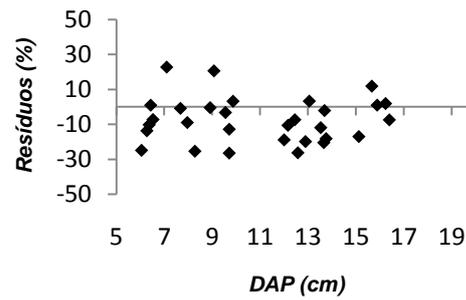


Figura 12 – Distribuição dos resíduos da altura comercial nos diâmetros 10 e 8 cm, em porcentagem, em função do DAP, para os modelos de Kozak, Demaerschalk, Ormerod e Schöpfer, para o povoamento 4 (40 meses).

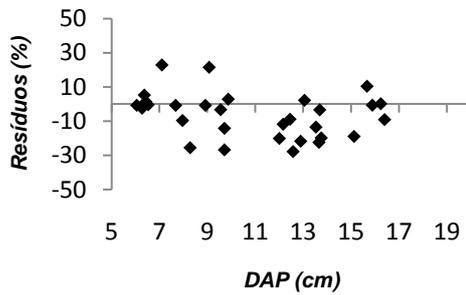
Kozak - 6 cm



Demaerschalk - 6 cm



Ormerod - 6 cm



Schöpfer - 6 cm

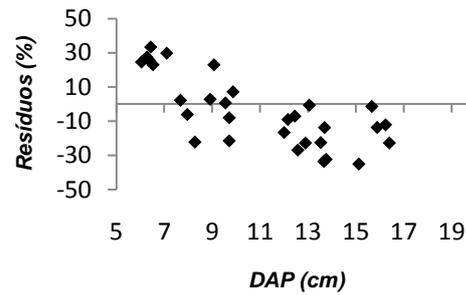
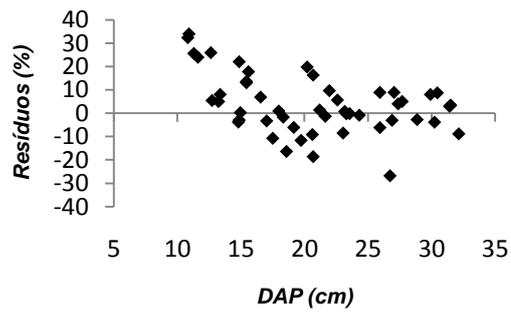
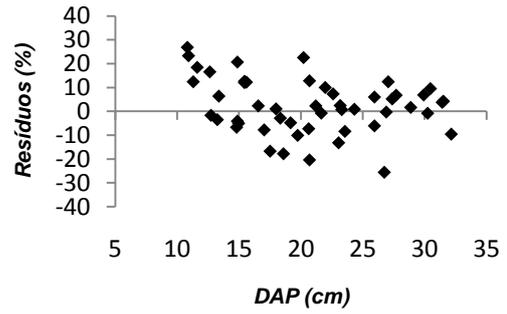


Figura 13 – Distribuição dos resíduos da altura comercial no diâmetro 6 cm, em porcentagem, em função do DAP, para os modelos de Kozak, Demaerschalk, Ormerod e Schöpfer, para o povoamento 4 (40 meses).

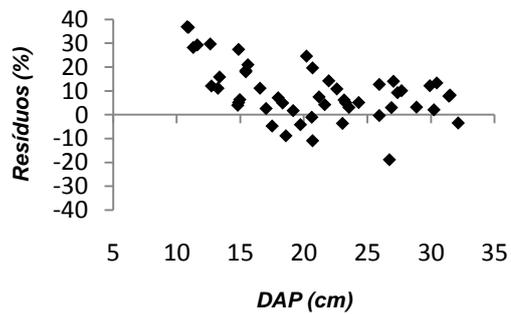
Kozak - 14 cm



Demaerschalk - 14 cm



Ormerod - 14 cm



Schöpfer - 14 cm

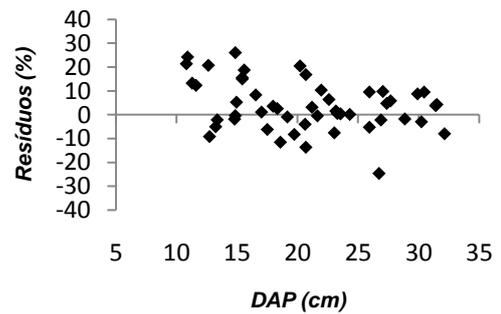
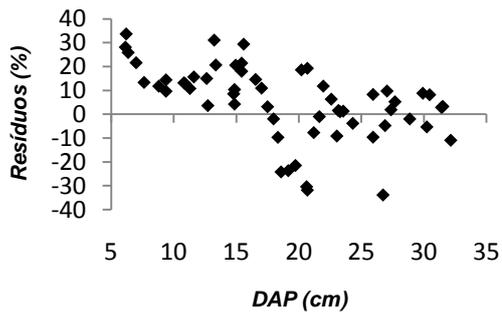
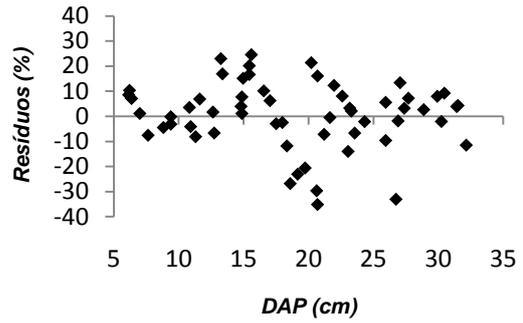


Figura 14 – Distribuição dos resíduos do volume comercial no diâmetro 14 cm, em porcentagem, em função do DAP, para os modelos de Kozak, Demaerschalk, Ormerod e Schöpfer, para o povoamento 1 (77 meses).

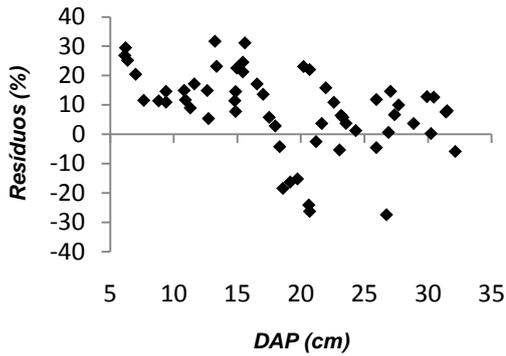
Kozak - 7 cm



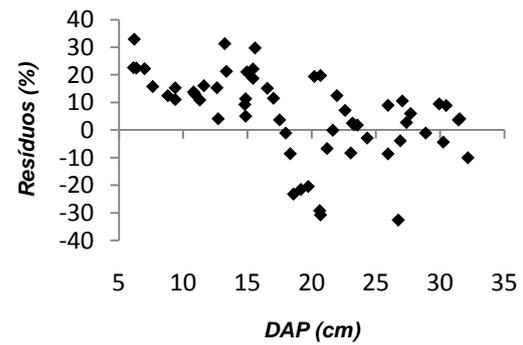
Demaerschalk - 7 cm



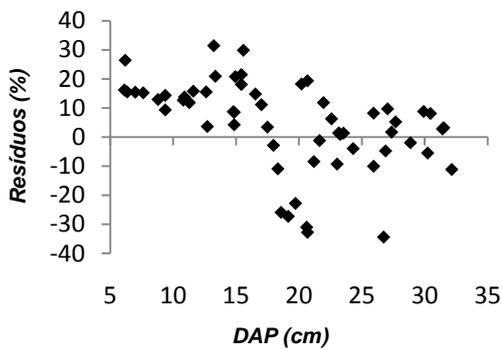
Ormerod - 7 cm



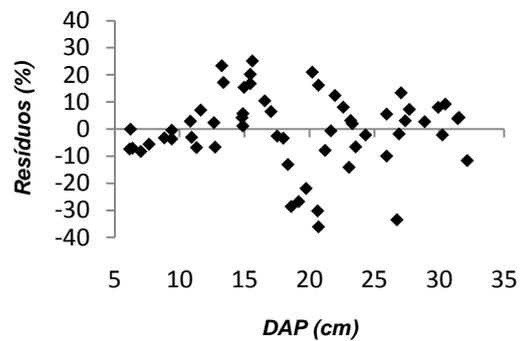
Schöpfer - 7 cm



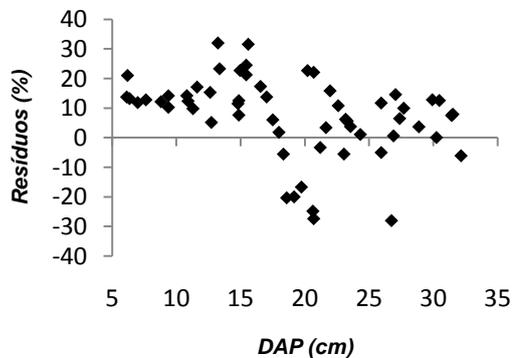
Kozak - 6 cm



Demaerschalk - 6 cm



Ormerod - 6 cm



Schöpfer - 6 cm

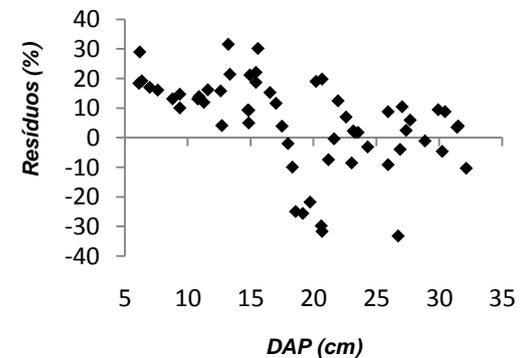
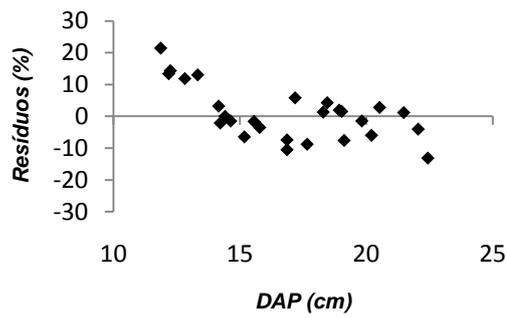
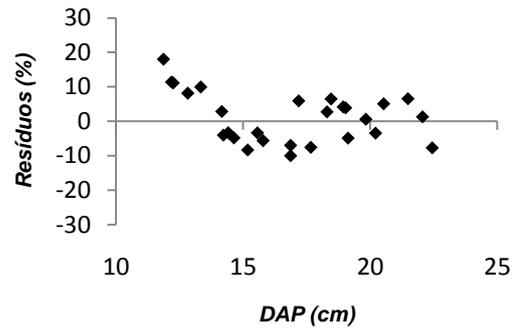


Figura 15 – Distribuição dos resíduos do volume comercial nos diâmetros 7 e 6 cm, em porcentagem, em função do DAP, para os modelos de Kozak, Demaerschalk, Ormerod e Schöpfer, para o povoamento 1 (77 meses).

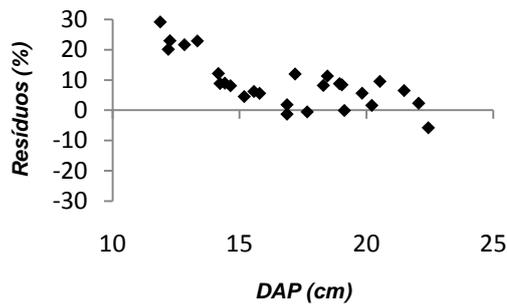
Kozak – 14 cm



Demaerschalk – 14 cm



Ormerod – 14 cm



Schöpfer – 14 cm

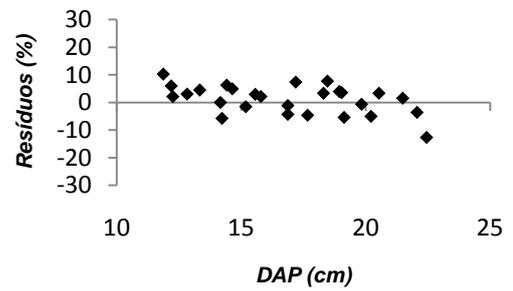
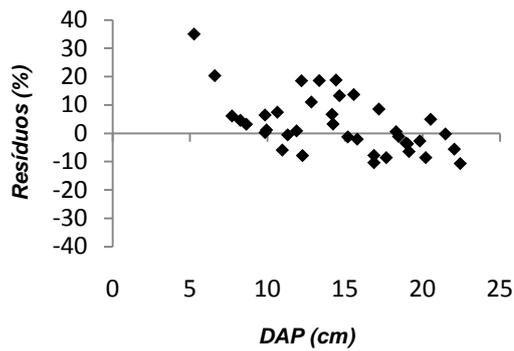
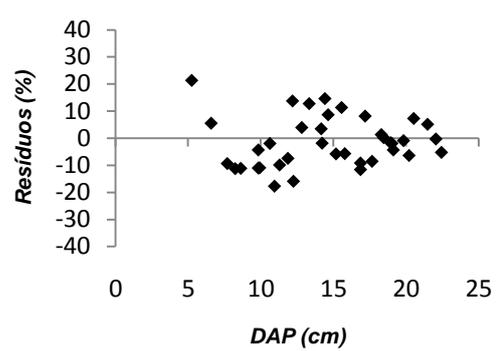


Figura 16 – Distribuição dos resíduos do volume comercial nos diâmetros 14 cm, em porcentagem, em função do DAP, para os modelos de Kozak, Demaerschalk, Ormerod e Schöpfer, para o povoamento 2 (72 meses).

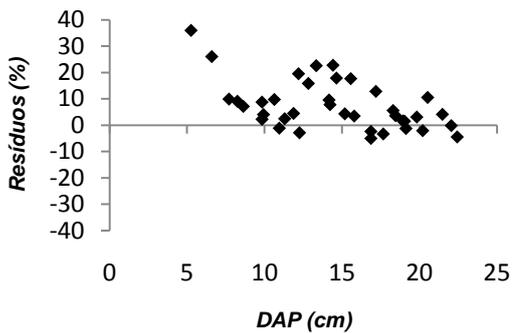
Kozak – 7 cm



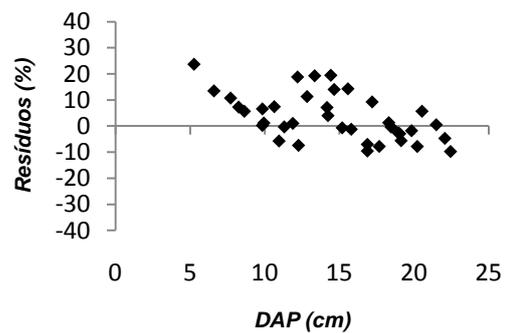
Demaerschalk – 7 cm



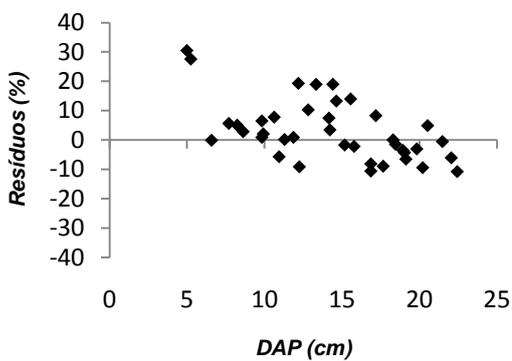
Ormerod – 7 cm



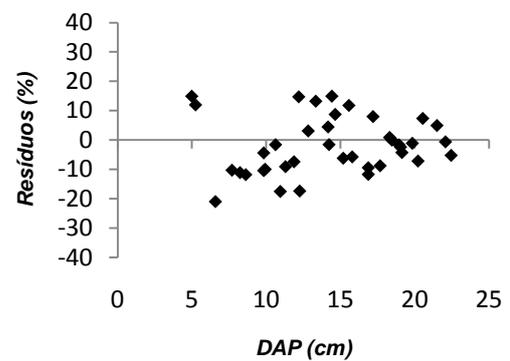
Schöpfer – 7 cm



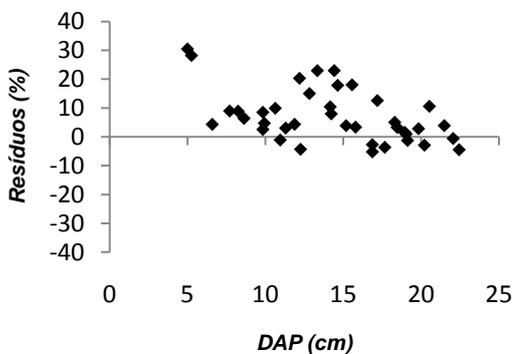
Kozak – 6 cm



Demaerschalk – 6 cm



Ormerod – 6 cm



Schöpfer – 6 cm

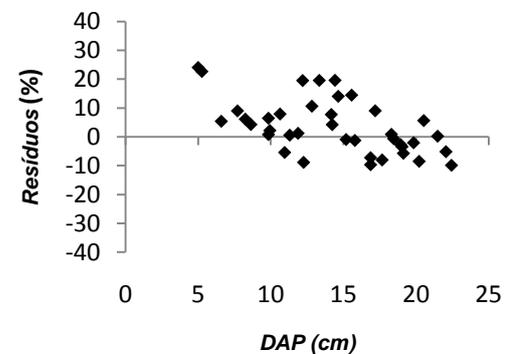
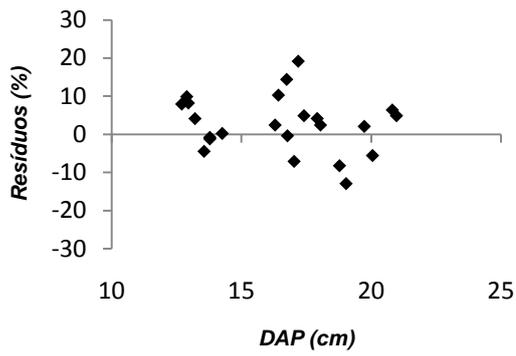
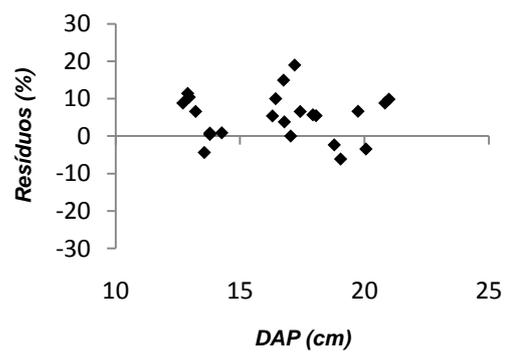


Figura 17 – Distribuição dos resíduos do volume comercial nos diâmetros 7 e 6 cm, em porcentagem, em função do DAP, para os modelos de Kozak, Demaerschalk, Ormerod e Schöpfer, para o povoamento 2 (72 meses).

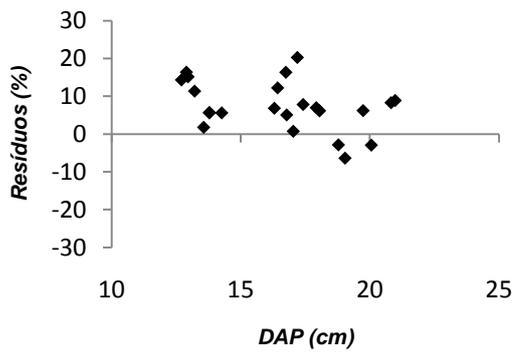
Kozak - 14 cm



Demaerschalk - 14 cm



Ormerod - 14 cm



Schöpfer - 14 cm

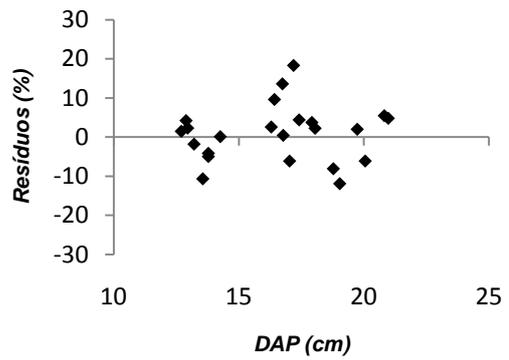
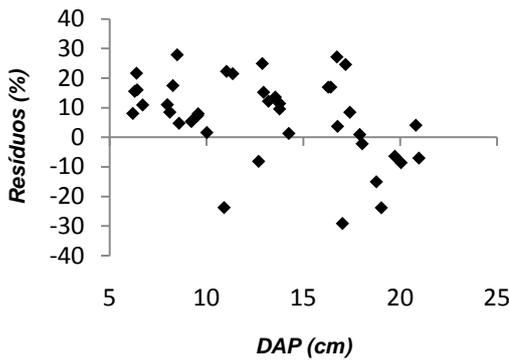
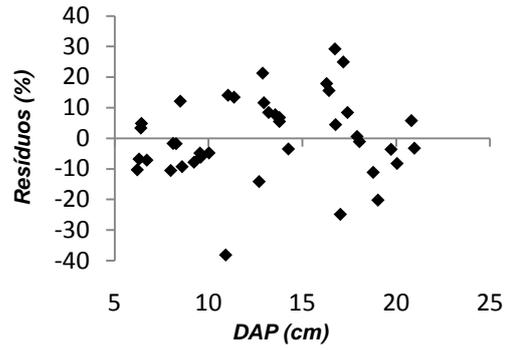


Figura 18 – Distribuição dos resíduos do volume comercial nos diâmetros 14 cm, em porcentagem, em função do DAP, para os modelos de Kozak, Demaerschalk, Ormerod e Schöpfer, para o povoamento 3 (53 meses).

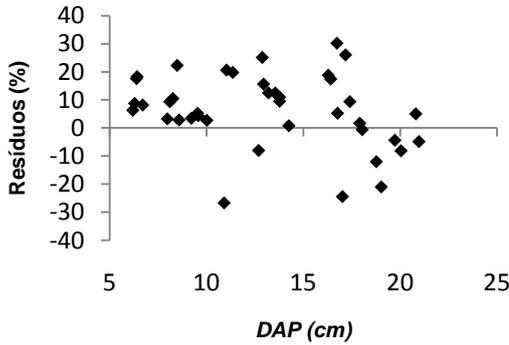
Kozak - 7 cm



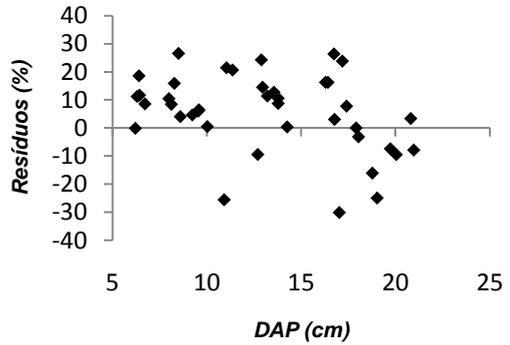
Demaerschalk - 7 cm



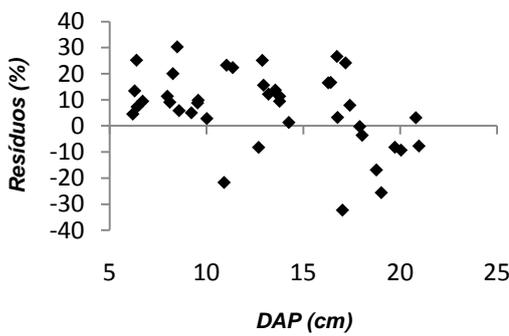
Ormerod - 7 cm



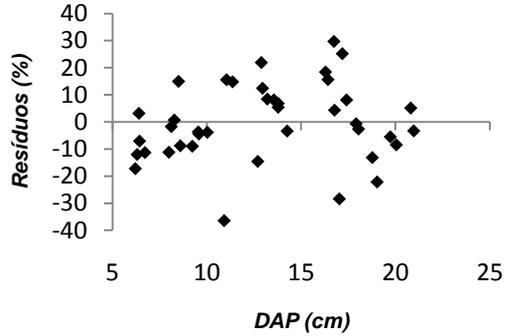
Schöpfer - 7 cm



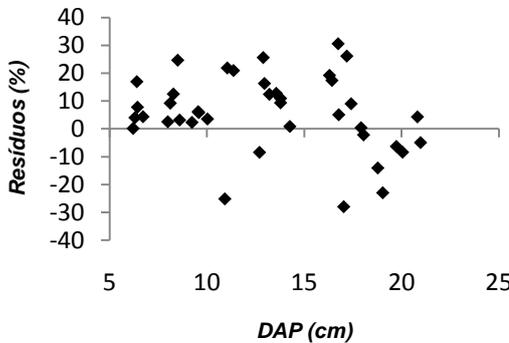
Kozak - 6 cm



Demaerschalk - 6 cm



Ormerod - 6 cm



Schöpfer - 6 cm

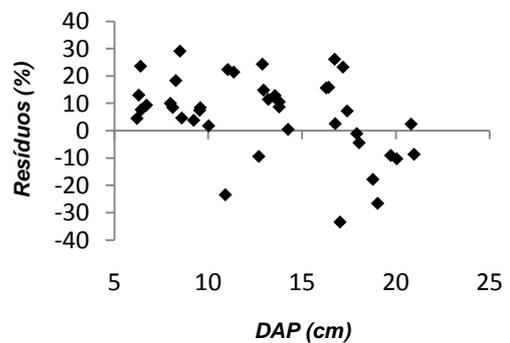
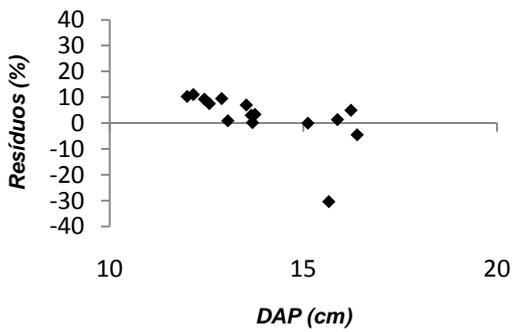
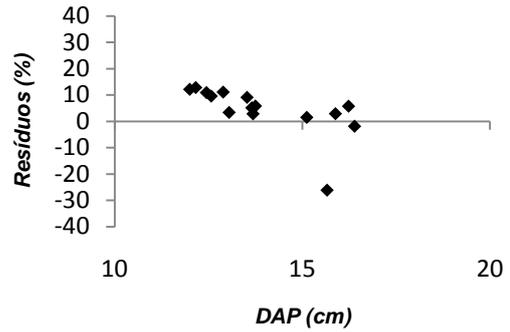


Figura 19 – Distribuição dos resíduos do volume comercial nos diâmetros 7 e 6 cm, em porcentagem, em função do DAP, para os modelos de Kozak, Demaerschalk, Ormerod e Schöpfer, para o povoamento 3 (53 meses).

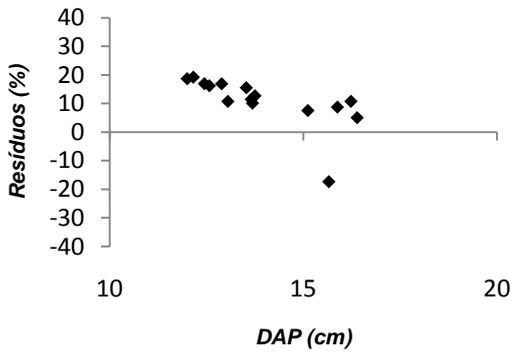
Kozak - 14 cm



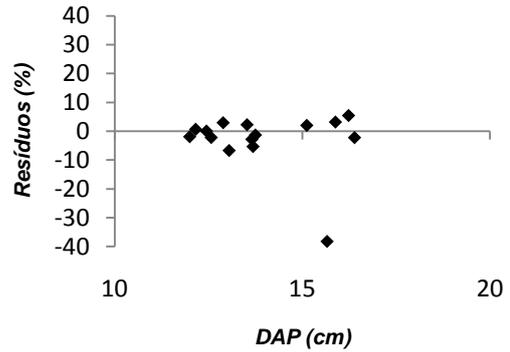
Demaerschalk - 14 cm



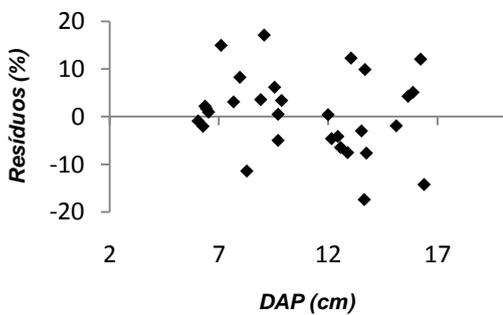
Ormerod - 14 cm



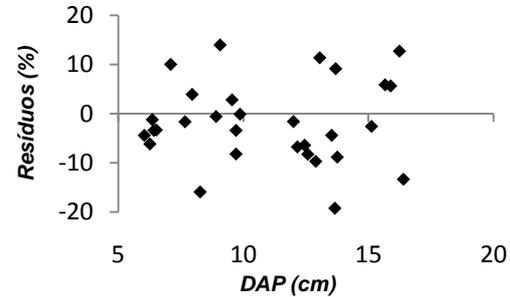
Schöpfer - 14 cm



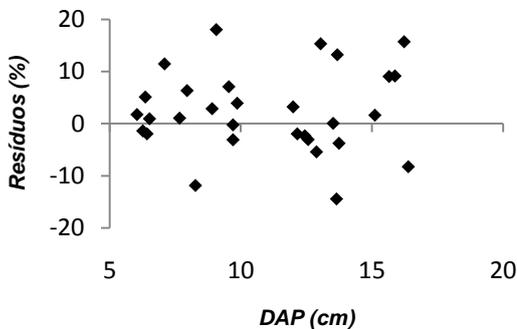
Kozak - 6 cm



Demaerschalk - 6 cm



Ormerod - 6 cm



Schöpfer - 6 cm

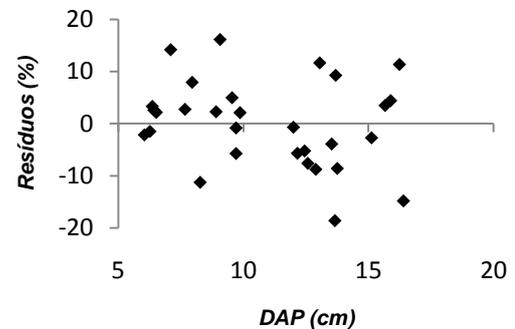


Figura 20 – Distribuição dos resíduos do volume comercial nos diâmetros 14 e 6 cm, em porcentagem, em função do DAP, para os modelos de Kozak, Demaerschalk, Ormerod e Schöpfer, para o povoamento 4 (40 meses).

## Capítulo III

### Avaliação econômica de povoamentos de eucalipto para multiprodutos

## AVALIAÇÃO ECONÔMICA DE POVOAMENTOS DE EUCALIPTO PARA MULTIPRODUTOS

**RESUMO** – Os objetivos deste estudo de caso foram: analisar a viabilidade econômica de povoamentos de eucalipto de diferentes idades para uso único e para multiprodutos e determinar a melhor alternativa de uso da madeira. Os dados foram obtidos de quatro povoamentos de clones de eucalipto, com idades de 77 (povoamento 1), 72 (povoamento 2), 53 (povoamento 3) e 40 meses (povoamento 4), localizados no município de Jerônimo Monteiro, ES. Foi realizado inventário florestal amostral com alocação aleatória de 10 parcelas de 396 m<sup>2</sup> em cada povoamento. Em seguida, foram cubadas árvores de acordo com a distribuição diamétrica de cada povoamento, sendo que a frequência foi de 3 a 5 indivíduos por classe de diâmetro. O volume das árvores foi obtido pela fórmula de *Smalian*. Com os dados de cubagem foram ajustados modelos de afilamento em sua forma original (Kozak et al. (1969), Demaerschalk (1972), Ormerod (1973) e Schöepfer (1966)), para cada povoamento para proceder a quantificação de madeira para uso único (celulose e/ou energia) e multiprodutos (celulose ou energia, com mourões), conforme descrito no capítulo II. Em seguida, foram aplicados três métodos de avaliação econômica de projetos florestais, VPL, BPE e CMP. As informações referentes aos custos de produção foram as utilizadas por PEREIRA (2010), CEDAGRO (2008) e por meio de consulta a profissionais da área florestal que atuam na região sul do Espírito Santo. Os preços de venda dos produtos analisados foram obtidos mediante consulta a profissionais e empresas especializadas que comercializam tais produtos. A alternativa de uso da madeira para energia mostrou-se inviável economicamente em todas as situações avaliadas. Já para celulose, sob uma taxa de juros baixa (6%), os povoamentos 1, 2 e 3 mostraram-se viáveis. No entanto, os povoamentos 2 e 3 foram mais sensíveis à variação de aumento na taxa de juros em relação ao povoamento 1. O uso da madeira para multiprodutos foi alternativa mais viável para todos os casos avaliados. O CMP mostrou-se flexível conforme variação na idade, taxa de juros e uso da madeira.

**Palavras-chave:** economia florestal, plantios florestais e sortimentos.

## ECONOMIC EVALUATION OF EUCALYPTUS STANDS TO MULTIPRODUCTS

**ABSTRACT** – The objectives of this case study were to assess the economic viability of *Eucalyptus* stands of different ages to use single and multiproduct and determine the best alternative use of wood. Data were collected from four stands of *Eucalyptus* clones, aged 77 (stand 1), 72 (stand 2), 53 (stand 3) and 40 months (stand 4), located in the town of Jerônimo Monteiro, ES. Forest inventory was conducted with random sampling of 10 plots of 396 m<sup>2</sup> for each stand. Then, trees were scaled according to the diameter distribution of each settlement, and the frequency was 3-5 individuals per diameter class. The volume of trees was obtained by the formula Smalian. With data from scaling were adjusted taper models in their original form ((Kozak et al. (1969), Demaerschalk (1972), Ormerod (1973) and Schöepfer (1966)) for each stand to make the quantification of wood to use single (cellulose and / or energy) and multiproduct (cellulose or energy with fencepost), as described in chapter II. Then, were applied three methods for economic evaluation of forestry projects, NPV, EPB and ACP. The information relating to the production costs were those used by Pereira (2010), CEDAGRO (2008) and through consultation with professionals working with forestry in the region south of the Espírito Santo. The sales prices of the products were obtained through consultation with professionals and specialized companies that commercialize such products. The alternative use of wood for energy has proven to be uneconomical in all situations evaluated. As for cellulose, in a low interest rate (6%), the stands 1, 2 and 3 proved to be viable. However, the stands 2 and 3 were more sensitive to variation of increase in the interest rate in relation to stand 1. The use of wood for multiproduct was more viable alternative for all cases evaluated. The ACP proved to be flexible as variation in age, interest rate and use of wood.

**Keywords:** forest economy, *Eucalyptus stands* and assortments.

## 1. INTRODUÇÃO

O planejamento da atividade florestal é fundamental para garantir sucesso dos investidores em empreendimentos desta natureza, particularmente em consideração ao horizonte dessa atividade. Para tomar decisões mais seguras e lucrativas é necessário ter conhecimentos de áreas da ciência florestal como manejo, mensuração, pesquisa operacional e economia florestal (SILVA et al., 2005). Os mesmos autores afirmam que a economia florestal é responsável pela gestão do mercado de florestas e seus produtos.

Assim, no planejamento de atividades florestais é necessário que se tenha informações mais precisas que auxiliem no processo de tomada de decisão por parte do empreendedor. Nesse sentido, o aspecto econômico condiz com essa realidade e é fundamental avaliar um projeto antes de sua execução para que se obtenha o sucesso devido com seu investimento.

A avaliação econômica de projetos florestais consiste em analisar, segundo critérios pré-estabelecidos, se um determinado projeto proporciona lucro, avaliação esta fundamentada em princípios econômicos. Estes critérios são os chamados métodos de avaliação econômica.

A aplicação dos métodos auxilia o avaliador a atestar se a implantação e execução de uma determinada atividade de mercado são viáveis ao longo de um determinado horizonte de planejamento. Considera-se que essa viabilidade pode ser do ponto de vista econômico, social, técnico, financeiro, administrativo, ambiental e político (REZENDE e OLIVEIRA, 2008), dentre outras. No entanto, é recomendado que um projeto não seja atendido por apenas parte dessas viabilidades, pois caso isso ocorra, torna-se provável que o insucesso aconteça, principalmente em decorrência das exigências da sociedade consumidora e dos objetivos do empreendedor.

A viabilidade econômica é a que mais interessa ao aplicador de recursos, pois caso contrário o projeto é insustentável desde o primeiro instante de sua implantação (CHICHORRO et al., 2010).

As variações nos retornos econômicos ocorrem em razão das diversas alternativas de aplicação dos recursos, das preferências do investidor, bem

como da margem de segurança desse investidor frente às alternativas de projetos.

Diante desses fatos, recorre-se a métodos que auxiliem na tomada de decisão, levando em consideração principalmente as atividades a serem executadas, períodos de execução e seus respectivos custos, bem como, os produtos e respectivos períodos em que serão gerados e seus preços, ou seja, o fluxo de caixa. Além desses itens, faz parte a taxa de juros relacionada à atividade ou projeto a ser avaliado.

Estas considerações são fundamentais para a análise de projetos em qualquer setor (produtivo, social ou ambiental), porém, ressalta-se que apenas auxiliam o tomador de decisão, diante das possíveis alternativas.

Tendo em vista esse contexto, os objetivos deste trabalho foram assim definidos: analisar a viabilidade econômica de povoamentos de eucalipto de diferentes idades para uso único e para multiprodutos; e determinar a melhor alternativa de uso da madeira para cada povoamento em estudo.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

A área de estudo foi conforme caracterizada na metodologia do Capítulo 1.

### 2.1. COLETA DE DADOS E PRODUÇÃO DE MADEIRA

A coleta dos dados utilizados neste trabalho está contemplada nos Capítulos 1 e 2. As informações de produção de madeira relativas à quantificação de uso único para celulose e energia, além do uso para multiprodutos, envolvendo celulose e/ou energia com mourões estão detalhados nos resultados do Capítulo 2 (Tabelas 12, 13 e 14).

### 2.2. AVALIAÇÃO ECONÔMICA

Para realizar a avaliação econômica foi necessário utilizar informações sobre custos de produção envolvendo implantação, manutenção, colheita, transporte, valor da terra e administração, além de preços dos produtos avaliados para determinar as receitas nos respectivos períodos em que se encontravam os povoamentos quando foi realizado o inventário florestal e cubagem.

Foram considerados os custos de implantação e manutenção obtidos por Pereira (2010), em estudo realizado em área declivosa na região sul do Espírito Santo.

Os custos de colheita e transporte foram obtidos mediante informações fornecidas por profissionais da área florestal que atuam na região de estudo deste trabalho (região sul do Espírito Santo).

A distância entre os povoamentos e a unidade consumidora dos produtos florestais e da madeira foi considerada fixa em 60 km, e ainda foi estabelecido que o transporte fosse realizado por um caminhão que tivesse capacidade para transportar 20 m<sup>3</sup> de madeira por viagem do local dos povoamentos ao posto de entrega. Conforme pesquisa com profissionais da área, considerou-se um custo de R\$ 1,60/km rodado pelo caminhão. Assim, o custo de transporte calculado (ida e volta) foi de R\$ 9,60/m<sup>3</sup> de madeira

transportada. Ainda, os custos de carregamento e descarregamento foram considerados manual e mecanizado, respectivamente.

O custo anual da terra foi calculado com base nos juros sobre o valor da terra, que é equivalente ao custo de oportunidade do uso desse fator de produção. O valor da terra nua utilizado neste estudo foi baseado em informações de um estudo realizado por CEDAGRO (2008).

E o custo de administração foi de 10% do custo total, o mesmo considerado por Soares (2002).

A Tabela 1 mostra como foram distribuídos os custos ao longo dos períodos de ocorrência dos respectivos projetos.

Com relação aos preços destes produtos, foi realizada consulta ao mercado por meio de profissionais de atuação na área florestal. O preço da madeira para energia (lenha) adotado foi de R\$ 50,00/m<sup>3</sup>. Para celulose, considerou-se que seria vendida por R\$ 70,98/m<sup>3</sup>.

Com relação ao preço da madeira para produção de mourões de cerca em diferentes classes de bitolas, considerou-se segundo informações de mercado, que para cada 1 mourão tratado tem-se 2 ou 3 não tratados em média. Assim, optou-se pela relação 3:1 (não tratado : tratado). E os preços adotados neste estudo foram os seguintes: 12 – 14: R\$ 4,60/peça; 10 – 12: R\$ 3,30/peça; 8 – 10: R\$ 2,23/peça; e 6 – 8: R\$ 1,70/peça. Estes valores foram determinados com base em preços adotados no mercado por uma empresa que trabalha com venda de mourões tratados (preço do mourão não tratado = 1/3 do preço do mourão tratado). A quantidade de mourões possíveis de serem obtidos em cada povoamento juntamente com o uso para celulose e/ou energia, foi determinada conforme descrito no Capítulo 2.

Para realizar a avaliação econômica das alternativas propostas de uso da madeira para cada povoamento foram adotados três métodos de avaliação econômica: o Valor Presente Líquido (VPL), o Benefício Periódico Equivalente (BPE) e o Custo Médio de Produção (CMP) (GREGORY, 1987; REZENDE e OLIVEIRA, 2008; SILVA et al., 2005). Rezende e Oliveira (2000) destacam que o critério do benefício periódico equivalente (BPE) deve ser o método preferido quando se trata de comparação de projetos com horizontes diferentes, por se tratar de aplicação direta e fácil e pela coerência nos seus resultados.

Tabela 1 – Custos (R\$/ha) de implantação, manutenção, colheita, de uso da terra e de administração envolvidos na atividade silvicultura com eucalipto na região Sul do Espírito Santo

IMPLANTAÇÃO (Ano 0)	Combate Inicial a Formigas	R\$ 12,16
	Roçada Inicial	R\$ 103,52
	Marcação e Alinhamento	R\$ 196,69
	Coveamento	R\$ 201,02
	Capina química manual / costal	R\$ 63,84
	Adubação pré-plantio	R\$ 44,86
	Preenchimento das covas	R\$ 134,57
	1º Repasse a formigas	R\$ 35,33
	Plantio efetivo	R\$ 67,18
	Replante	R\$ 11,04
	2º Repasse a formigas	R\$ 29,05
	Coroamento	R\$ 97,87
	Adubação de cobertura	R\$ 59,95
	Roçada Geral	R\$ 55,37
Capina química pós-plantio	R\$ 44,65	
MANUTENÇÃO (Ano 1)	Aplicação de Calcário	R\$ 83,00
	Adubação de 1º ano	R\$ 59,95
	Aceiros	R\$ 20,29
	Combate a Formigas	R\$ 12,16
MANUTENÇÃO (Ano 2 ao Ano n)	Aceiros	R\$ 20,29
	Combate a Formigas	R\$ 12,16
COLHEITA (Ano n)	Colheita	R\$ 18,75 / m <sup>3</sup>
	Carregamento	R\$ 4,55 / m <sup>3</sup>
	Descarregamento	R\$ 2,28 / m <sup>3</sup>
	Transporte	R\$ 9,60 / m <sup>3</sup>
Ano 0 ao Ano n	Custo da Terra	Taxa de Juros * x Valor da Terra **
Ano 0 ao Ano n	Administração	10% x Custo Total

\* Taxas de juros adotadas: 6, 9 e 12%.

\*\* Valor da terra para o município de Jerônimo Monteiro, ES: R\$ 4.779,54/ha (CEDAGRO, 2008).

Fonte: Adaptado de Pereira (2010)

As fórmulas de cálculo de VPL, BPE e CMP são mostradas a seguir:

$$VPL = \sum \frac{R_n}{(1+i)^n} - \sum \frac{C_n}{(1+i)^n}$$

$$BPE = \frac{VPL[(1+i)^t - 1]}{1 - (1+i)^{-nt}}$$

$$CMP = \frac{\sum C_n / (1+i)^n}{Q_n / (1+i)^n}$$

em que:

- $R_n$  = receita obtida no período  $n$ ;
- $C_n$  = custo ocorrido no período  $n$ ;
- $Q_n$  = quantidade produzida no período  $n$ ;
- $i$  = taxa de juros;
- $n$  = número de períodos no horizonte de planejamento; e
- $t$  = número de capitalizações entre os períodos.

As taxas de juros empregadas neste estudo (6, 9 e 12% a.a.) foram escolhidas por que abrangem os níveis mais utilizados no setor florestal (OLIVEIRA et al., 1998 e SOARES et al., 2003).

Combinada com a variação na taxa de juros, ainda foi avaliada a variação de 10% (para mais e para menos) nos preços dos produtos analisados neste estudo (energia, celulose e mourões).

Este trabalho visa apenas avaliar as alternativas de uso para os povoamentos em questão, ressaltando que não se levou em consideração a parte tecnológica da madeira. Outra questão considerada neste estudo é que todos os produtos avaliados apresentam mercado favorável e os custos desde a implantação até a colheita foram considerados que seriam assumidos pelos proprietários.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados das análises econômicas pelos métodos do VPL, BPE e CMP são mostrados nas Figuras 1, 2, 3 e 4, para os povoamentos 1, 2, 3 e 4, respectivamente.

Com relação à variação na taxa de desconto, houve maior risco à medida que esta foi aumentada. Isso é um princípio econômico básico, conseqüentemente já era esperado, e segundo Soares (2002), projetos com longo horizonte de planejamento como é o caso do setor florestal associados a altas taxas de juros favorecem o aumento do VPL em termos negativos.

Observa-se que quando os povoamentos são destinados para produção de energia, os critérios econômicos apontaram inviabilidade em todos os casos, independente das variações na taxa de juros e no preço da madeira. Este resultado é semelhante ao de Soares (2002), em que a finalidade de uso da madeira para energia também se mostrou inviável economicamente. O que pode explicar este resultado é que a condução inicial destes povoamentos fora para produção de celulose e, portanto, no espaçamento 3 x 3 m.

No caso de produção de madeira para energia (lenha), como o objetivo é maximizar a produção volumétrica, uma alternativa seria conduzir estes povoamentos em espaçamentos menores. SANQUETTA et al. (2003) confirma, em estudo realizado com Pinus, que menores espaçamentos proporcionam menor volume individual e maior volume/ha. Com isso, a condução de povoamentos com maior densidade para a finalidade de uso em questão é uma alternativa que pode reduzir os custos e viabilizar os projetos florestais. Uma alternativa para proporcionar a viabilidade da produção de lenha seria reduzir o diâmetro mínimo de uso comercial que neste caso específico foi adotado em 6 cm.

Nos povoamentos avaliados para produção única de celulose, observa-se que o povoamento 1 foi menos sensível a variação na taxa de juros em relação aos povoamentos 2 e 3. Isso porque o retorno econômico nos povoamentos 2 e 3 mostraram-se inviáveis mais rapidamente que o povoamento 1 quando houve aumento da taxa de desconto e redução do preço de venda da madeira. De qualquer forma, percebe-se que o VPL nulo ocorre quando a taxa de juros empregada está acima de 9% a.a. e entre 9 e 12 % a.a.

para os povoamentos 2 e 3 (Figuras 2 e 3). Já o povoamento 1 apresentou VPL negativo para celulose apenas com a maior taxa de juros empregado e na redução do preço da madeira em 10% (Figura 1).

Oliveira et al. (2008) aponta que pequenas variações no preço da madeira afetam diretamente a viabilidade de um projeto de produção de celulose. No presente estudo, isso foi observado para os povoamentos 2 e 3 considerando uma taxa de 9% a.a. para produção de celulose (Figuras 2 e 3), e ainda no povoamento 1 à taxa de 12% a.a., em que a redução de 10% no preço da madeira (Figura 1) conduziu à inviabilidade dos projetos.

Tomando como base os resultados de BPE, observou-se que o povoamento 1 é mais viável em relação aos povoamentos 2, 3 e 4 quando se analisa a finalidade de uso para celulose, pois o primeiro apresentou maior produção atual do que os demais avaliados para este uso. Quanto maior a idade dos povoamentos maior tende a ser o lucro do produtor até determinado ponto em que o incremento passa a não compensar os custos pela manutenção dos mesmos.

Comparando a análise realizada com o preço adotado para celulose inicialmente (R\$ 70,98/m<sup>3</sup>) e a alternativa de aumento em 10% de seu valor, independente da variação da taxa de desconto, os projetos tornam-se viáveis economicamente (Figuras 1, 2 e 3). Isso mostra que o fator preço da madeira tem papel decisivo na determinação de viabilidade dos projetos avaliados para celulose, com destaque para os povoamentos 2 e 3 sob taxa de juros de 12% a.a (Figuras 2 e 3).

Uma consideração importante refere-se aos custos adotados neste estudo os quais são referentes ao ano de 2010 e obtidos de operações feitas em área diferente daquela em que foi realizado este trabalho, apesar de também ser montanhosa e se localizar na região sul do estado do Espírito Santo e, principalmente, junto à empresa fomentadora. Na respectiva época de implantação desses povoamentos os custos das atividades e dos insumos, provavelmente, teriam outros valores e, portanto isso pode ter proporcionado o baixo valor de VPL, principalmente no caso de celulose, que foi o objetivo de implantação desses povoamentos.

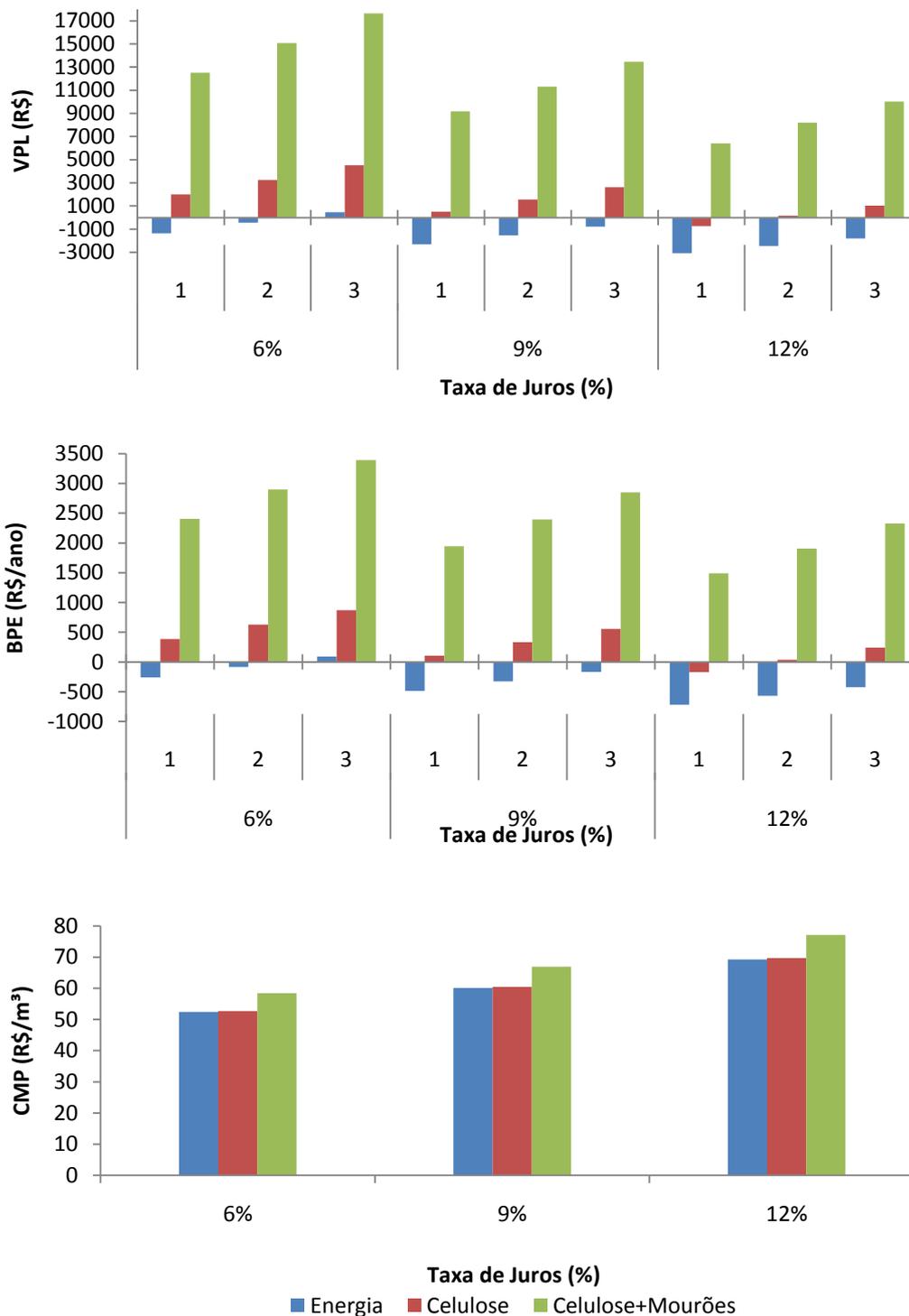


Figura 1 – Resultados das avaliações econômicas pelos métodos do VPL, BPE e CMP, considerando as taxas de juros de 6, 9 e 12%, e com cenários de redução e acréscimo nos preços de venda dos produtos em 10%, dos usos para energia, celulose e mourões no povoamento 1 (77 meses). (1 – Valores calculados com base na redução do preço de venda dos produtos em 10%; 2 – Valores calculados com base no preço de mercado de venda dos produtos; 3 – Valores calculados com base no acréscimo do preço de venda dos produtos em 10%).

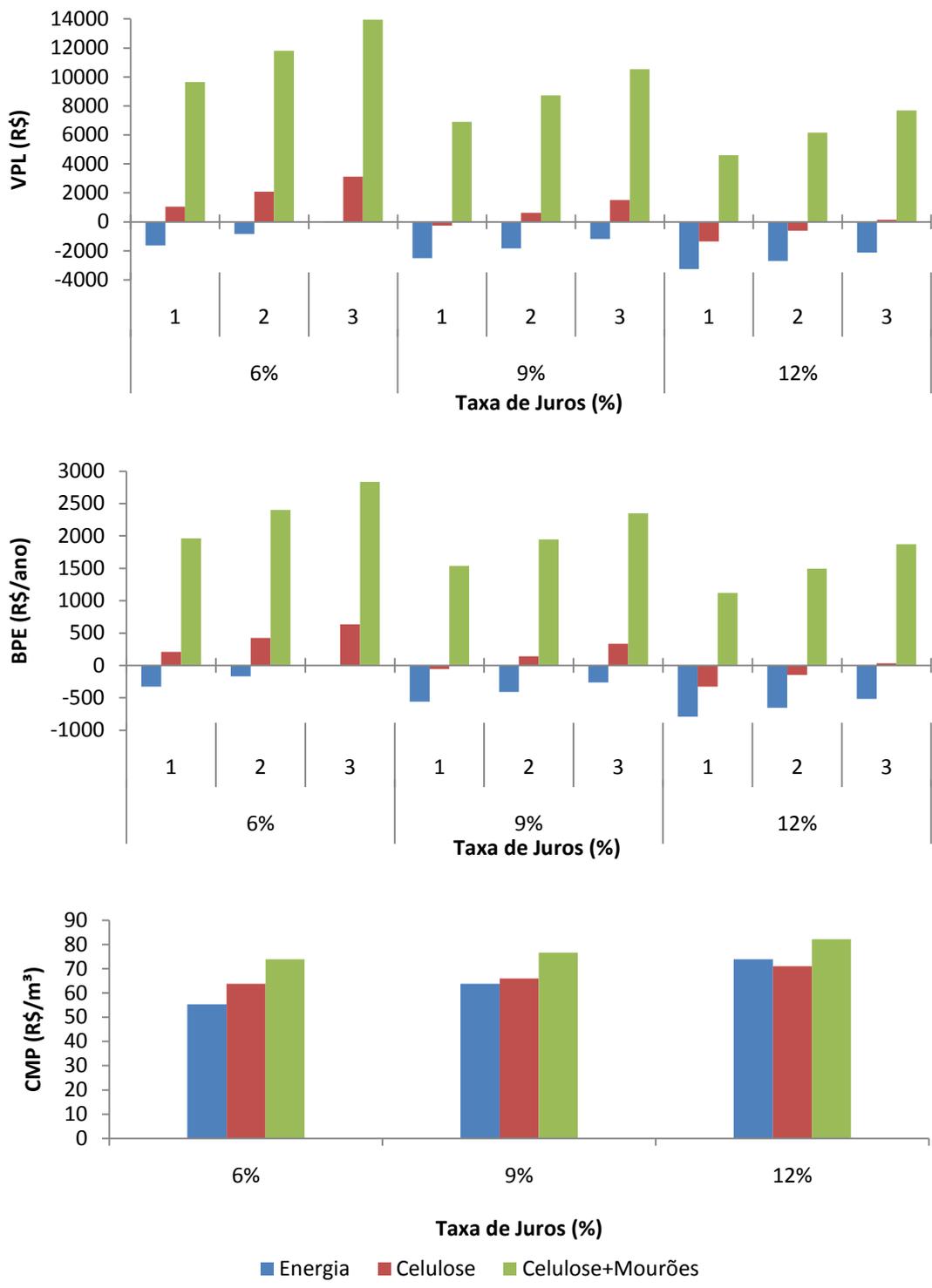


Figura 2 – Resultados das avaliações econômicas pelos métodos do VPL, BPE e CMP, considerando as taxas de juros de 6, 9 e 12%, e com cenários de redução e acréscimo nos preços de venda dos produtos em 10%, dos usos para energia, celulose e mourões no povoamento 2 (72 meses). (1 – Valores calculados com base na redução do preço de venda dos produtos em 10%; 2 – Valores calculados com base no preço de mercado de venda dos produtos; 3 – Valores calculados com base no acréscimo do preço de venda dos produtos em 10%).

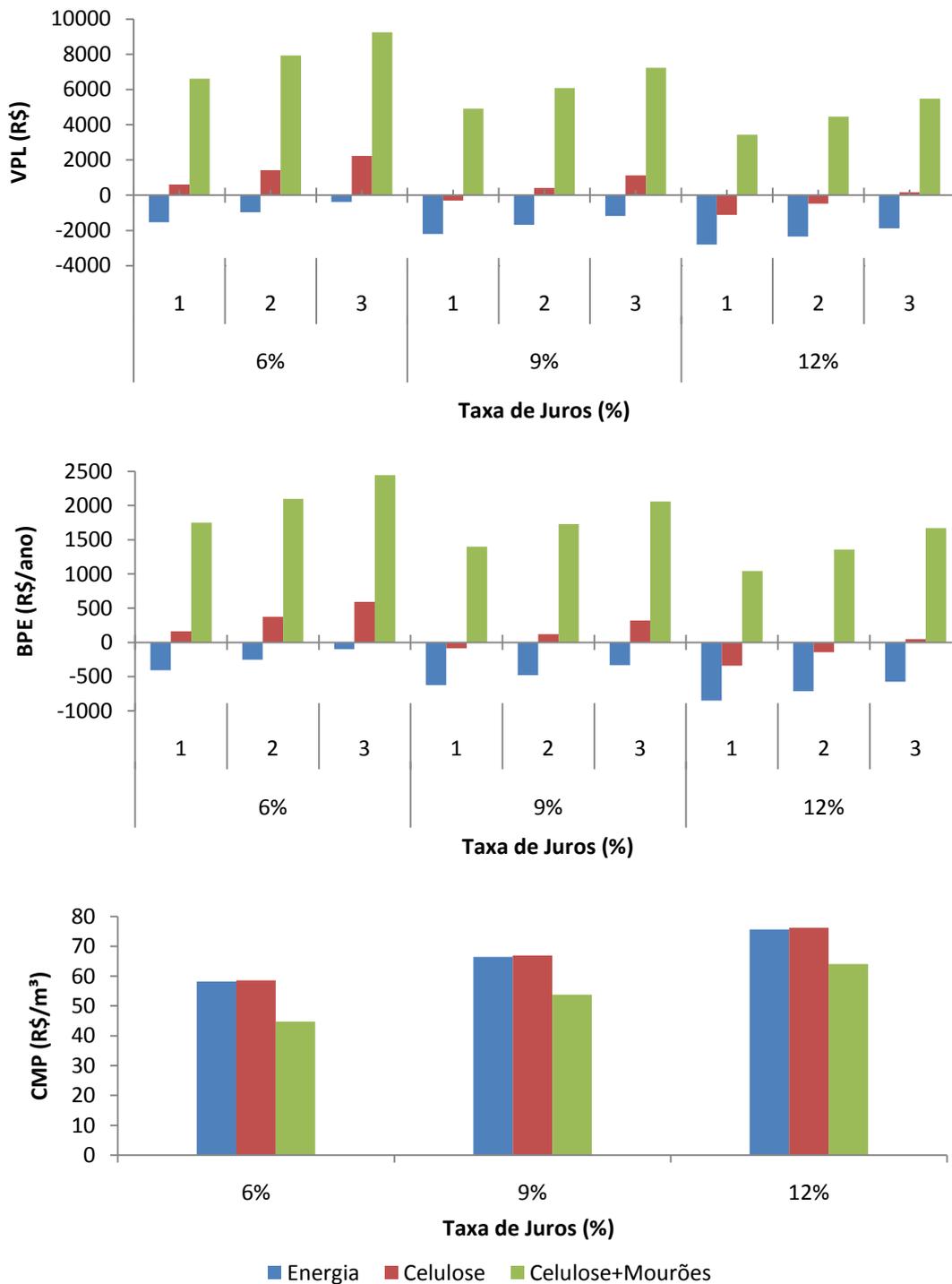


Figura 3 – Resultados das avaliações econômicas pelos métodos do VPL, BPE e CMP, considerando as taxas de juros de 6, 9 e 12%, e com cenários de redução e acréscimo nos preços de venda dos produtos em 10%, dos usos para energia, celulose e mourões no povoamento 3 (53 meses). (1 – Valores calculados com base na redução do preço de venda dos produtos em 10%; 2 – Valores calculados com base no preço de mercado de venda dos produtos; 3 – Valores calculados com base no acréscimo do preço de venda dos produtos em 10%).

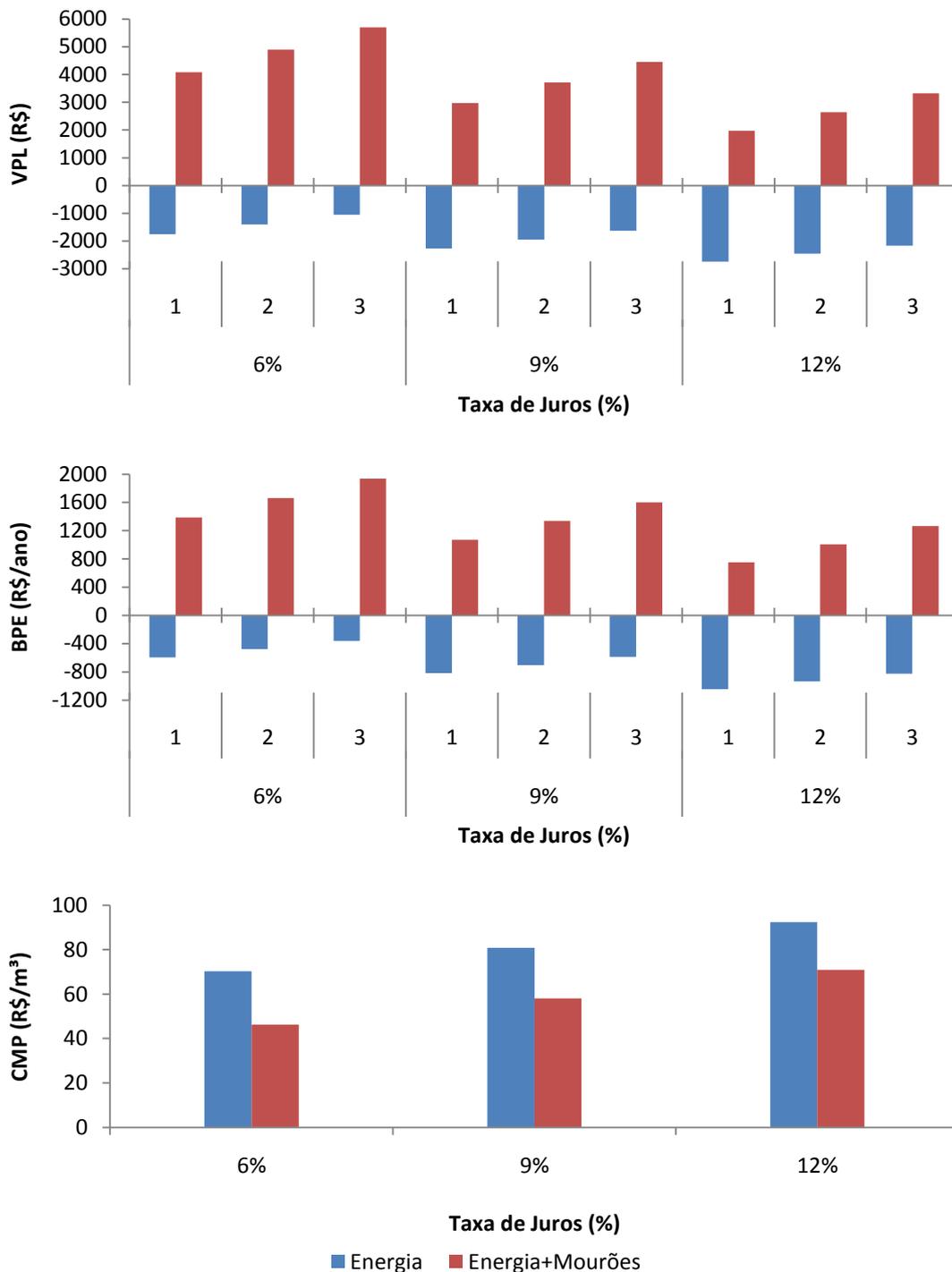


Figura 4 – Resultados das avaliações econômicas pelos métodos do VPL, BPE e CMP, considerando as taxas de juros de 6, 9 e 12%, e com cenários de redução e acréscimo nos preços de venda dos produtos em 10%, dos usos para energia, celulose e mourões no povoamento 4 (40 meses). (1 – Valores calculados com base na redução do preço de venda dos produtos em 10%; 2 – Valores calculados com base no preço de mercado de venda dos produtos; 3 – Valores calculados com base no acréscimo do preço de venda dos produtos em 10%).

Outra consideração, ainda, pode ser devido à variação genética de cada povoamento, pois se sabe que cada clone responde de maneira diferenciada aos tratamentos culturais e devem ser conduzidos de forma que favoreça sua maior produtividade. Assim, cada um desses povoamentos, plantados em épocas diferentes, com um material genético diferenciado, e ainda, sob condições de manejo distintas, há possibilidade de terem comportamento de crescimento diferenciado.

A alternativa de uso da madeira para multiprodutos mostrou-se mais viável em relação ao de uso único nos quatro povoamentos avaliados e em todas as condições de preço da madeira, bem como de taxa de juros pelos métodos do VPL e BPE (Figuras 1, 2, 3, e 4). Soares et al. (2003) combinando uso para celulose e serraria também chegaram a resultados deste tipo, mostrando que agregar valor aos produtos ou conseguir comercializar a madeira para uma finalidade de uso mais nobre podem torná-los diferenciados no mercado. E este estudo de caso mostra que a venda de madeira para produção de mourões combinada com celulose é uma alternativa que traz maior retorno ao investidor no presente estudo de caso, observando as restrições de mercado nos povoamentos 1, 2 e 3.

Outra observação importante refere-se ao aumento do preço do produto, em que este torna viável todas as possibilidades de uso para celulose e/ou mourões (povoamentos 1, 2 e 3) e energia e mourões (povoamento 4) (Figuras 1, 2, 3 e 4).

Quanto ao CMP, observou-se que este, em média, foi maior em povoamentos com menor idade. No caso do povoamento 1, o CMP para energia e celulose foram iguais e inferiores ao uso para multiprodutos (Figura 1). No entanto, mesmo apresentando maior CMP, o uso para multiprodutos mostrou-se com maior viabilidade, conforme apresentado pelos outros métodos.

De maneira geral, observou-se que os povoamentos mais velhos (povoamentos 1 e 2) resultaram em maior custo médio de produção para multiprodutos em relação aos povoamentos mais jovens (Figuras 1, 2, 3 e 4). Isso se deve à diferença de produção entre esses grupos de povoamentos, pois quanto maior a produção, maior será o custo para produzir determinada quantidade de produtos diversificados que agregam maior valor à madeira.

E ainda, observou-se o efeito da taxa de juros sobre o CMP, mostrando que este aumenta à medida que a taxa de juros é alterada positivamente.

Comparando-se os CMP para celulose e energia no povoamento 2, observa-se que em menor valor de taxa de juros (6% a.a.) há maior viabilidade para energia, enquanto que à 12% a.a., a madeira para celulose foi mais viável.

#### 4. CONCLUSÕES

- O uso da madeira de eucalipto para energia mostrou-se inviável economicamente em todas as situações avaliadas.
- Para celulose, sob uma taxa de juros baixa (6%), os povoamentos 1, 2 e 3 mostraram-se viáveis em termos econômicos. No entanto, os povoamentos 2 e 3 foram mais sensíveis à variação de aumento na taxa de juros em relação ao povoamento 1.
- A variação no preço da madeira provocou impacto considerável na viabilidade econômica dos povoamentos.
- O uso da madeira para multiprodutos foi à alternativa mais viável para os quatro povoamentos, sendo que quanto maior a idade maior foi o retorno financeiro e, portanto, a alternativa proposta para finalidade de uso de cada um dos povoamentos nas respectivas idades em que se encontram.
- O custo médio de produção mostrou-se variável nas diferentes condições de idade dos povoamentos, uso da madeira e taxa de juros empregada.

## 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CEDAGRO – CENTRO DE DESENVOLVIMENTO AGROPECUÁRIO. **Pesquisa sobre valores de terra nua no estado do Espírito Santo - Documento Síntese**. Vitória – ES. Fevereiro/2008.

Disponível em: <[www.cedagro.org.br](http://www.cedagro.org.br)> Acesso em: 30 nov. 2009.

CHICHORRO, J. F.; BAUER, M. O.; ANDRADE, W. S. P.; SILVA, G. F.; SANTOS, F. R.; SILVA, J. L.; NOGUEIRA, M. A. Avaliação econômica de projetos florestais. In: CHICHORRO, J. F.; BAUER, M. O.; GARCIA, G. O.; CALDEIRA, M. V. W. **Tópicos especiais em ciências florestais**. 1 ed. Visconde do Rio Branco: Suprema, 2010, v. 1, p. 231-260.

GREGORY, G.R. **Resource economics for foresters**. New York: John Willey & Sons, 1987. 477 p.

OLIVEIRA, A. D.; FERREIRA T. C.; SCOLFORO, J. R. S.; MELLO, J. M.; REZENDE, J. L. P. Avaliação econômica de plantios de *Eucalyptus grandis* para a produção de celulose. **Revista Cerne**, Lavras-MG, v.14, n.1, p.82-91, 2008.

OLIVEIRA, A. D.; LEITE, A. P. ; BOTELHO, S. A. ; SCOLFORO, J. R. S. Avaliação econômica da vegetação de cerrado submetida a diferentes regimes de manejo e de povoamentos de eucalipto plantado em monocultivo. **Revista Cerne**. Lavras, MG, v. 4, n. 1, p. 34-56, 1998.

PEREIRA, D. P. **Análise técnica e de custos de povoamento de eucalipto sob preparo manual e mecanizado do solo em área declivosa no sul do espírito santo**. 112 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Espírito Santo, 2010.

REZENDE, J.L.P.; OLIVEIRA, A.D. **Análise econômica e social de projetos florestais**. 2. ed., Viçosa-MG: Editora UFV, 386 p., 2008.

REZENDE, J. L. P.; OLIVEIRA, A. D. Problemas com o horizonte de planejamento na avaliação de projetos florestais. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v. 24, n. 2, p. 134-127, 2000.

SANQUETTA, C. R.; MORA, A. L.; BORSATO R.; VIDAL, M. A. S.; PEIXOTO, A. M.; CHIARANDA, R. Efeito do espaçamento de plantio em reflorestamentos II. *Pinus taeda* L. em Jaguariaíva. **Revista Acadêmica: Ciências Agrárias e Ambientais**, Curitiba, v.1, n.1, p. 55-61, jan./mar. 2003.

SANTOS, A.R. **Zoneamento agroclimatológico para a cultura do café conilon (*Coffea canephora* L.) e arábica (*Coffea 125d125P125ca* L.) na bacia do Rio Itapemirim, ES**. 1999, 62 f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia Agrícola) – Viçosa, UFV. 1999.

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

SIQUEIRA, J. D. P.; LISBOA, R. S.; FERREIRA, A. M.; SOUZA, M. F. R.; ARAÚJO, E.; LISBÃO JÚNIOR, L.; SIQUEIRA, M. M. Estudo ambiental para os programas de fomento florestal da Aracruz Celulose S. A. e extensão florestal do governo do estado do Espírito Santo. **Floresta**, Edição especial, nov/2004, p. 3-67.

SOARES, T. S.; CARVALHO, R. M. M. A.; VALE A. B. Avaliação econômica de um povoamento de *Eucalyptus grandis* destinado a multiprodutos. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.27, n.5, p.689-694, 2003.

SOARES, T. S. **Otimização do uso da madeira em povoamentos de eucalipto**. Viçosa-MG, 49 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa. 2002.

## 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com a execução deste trabalho foi possível obter informações quanto à produção de povoamentos florestais de diferentes idades na região sul do Espírito Santo. Isso foi importante, já que o acompanhamento do crescimento desses povoamentos é desconhecido, pois muitas vezes os produtores adquirem materiais genéticos clonais aptos para uma determinada região que não apresenta as características da região de estudo. Isso muitas vezes pode levar ao insucesso na atividade florestal.

A avaliação de modelos de afilamento para determinar altura e volume em diâmetros comerciais pré-estabelecidos ao longo do fuste foi importante para detalhar melhor o perfil do tronco das árvores de eucalipto. Isso também garantiu uma precisão considerável na estimação das produtividades para uso único e multiprodutos analisados.

Na região sul do Espírito Santo, a área plantada com florestas comerciais de eucalipto restringe-se a pequenos produtores rurais, e principalmente por incentivo de empresa de fomento com vistas à produção de celulose. Contudo, sabe-se que nestes programas o produtor recebe o incentivo inicial, reduzindo o custo total de implantação, favorecendo a obtenção de sua receita no final da rotação florestal.

Caso este produtor tenha interesse em investir por conta própria na atividade de silvicultura, é fundamental que este atente aos custos de produção na região e ainda analise as condições de mercado de produtos florestais, ou seja, para que defina com maior precisão o objetivo de seu investimento por meio de um planejamento adequado.

Este trabalho foi importante por fornecer informações referentes à produtividade, bem como avaliação econômica de alternativas de uso da madeira de povoamentos florestais de eucalipto na região sul do Espírito Santo. Assim, foi possível dar suporte a futuras decisões para interessados em desenvolver projetos de silvicultura na região.

Com isso, devido às grandes variações de mercado que pode ocorrer em projetos de longo prazo, como o caso do setor florestal, é importante analisar alternativas de uso da madeira como o emprego do uso para multiprodutos.