

**CRESCIMENTO, PRODUÇÃO E ANÁLISE  
ECONÔMICA DE POVOAMENTOS CLONAIIS  
DE *Eucalyptus* sp EM SISTEMAS  
AGROFLORESTAIS**

**ÁLVARO NOGUEIRA DE SOUZA**

**2005**

**ÁLVARO NOGUEIRA DE SOUZA**

**CRESCIMENTO, PRODUÇÃO E ANÁLISE ECONÔMICA DE  
POVOAMENTOS CLONAIIS DE *Eucalyptus* sp  
EM SISTEMAS AGROFLORESTAIS**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Curso de Doutorado em Engenharia Florestal, área de concentração em Florestas de Produção, para obtenção do título de “Doutor”.

Orientador

Prof. Antônio Donizette de Oliveira

**LAVRAS  
MINAS GERAIS - BRASIL  
2005**

**Ficha Catalográfica Preparada pela Divisão de Processos Técnicos da  
Biblioteca Central da UFLA**

Souza, Álvaro Nogueira de  
Crescimento, produção e análise econômica de povoamentos clonais de  
*Eucalyptus* sp em sistemas agroflorestais / Álvaro Nogueira de Souza. -- Lavras :  
UFLA, 2005.  
203p. : il.

Orientador: Antônio Donizette de Oliveira  
Tese (Doutorado) – UFLA.  
Bibliografia.

1. Sistemas agroflorestais. 2. Rendimento de serraria. 3. Função de afilamento. 4.  
Análise econômica. 5. Eucalipto. 6. Desdobro de toras. 7. Economia florestal 8.  
Prognose da produção. 9. Distribuição diamétrica. I. Universidade Federal de  
Lavras. II. Título.

CDD-634.99

**ÁLVARO NOGUEIRA DE SOUZA**

**CRESCIMENTO, PRODUÇÃO E ANÁLISE ECONÔMICA DE  
POVOAMENTOS CLONAIIS DE *Eucalyptus* sp  
EM SISTEMAS AGROFLORESTAIS**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Curso de Doutorado em Engenharia Florestal, área de concentração em Florestas de Produção, para obtenção do título de “Doutor”.

Aprovada em 28 de fevereiro de 2005.

Prof. José Roberto Soares Scolforo - UFLA  
Prof. Natalino Calegário - UFLA  
Prof. Sebastião do Amaral Machado - UFPR  
Prof. José Luiz Pereira de Rezende - UFLA  
Prof. Ruben Delly Veiga - UFLA

Prof. Antônio Donizette de Oliveira - UFLA  
(Orientador)

**LAVRAS  
MINAS GERAIS – BRASIL**

## **DEDICO**

À minha família: Maria Auxiliadora de Souza, minha mãe; Jair Nogueira de Souza, meu pai; meus irmãos Sandro, Juliano e Junior; Minha esposa Ellen e minha filha Júlia, certeza de futuro e lição de amor.

**À Memória de Minha Querida Vó Ester, grande incentivadora!**

**OFEREÇO**

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus, por me conceder a oportunidade da vida!

Ao professor Antônio Donizette de Oliveira, pela orientação, pelos ensinamentos, por sua amizade e presença durante o período de desenvolvimento da tese, e principalmente por ter acreditado em mim desde a graduação até o doutorado!

Ao professor José Roberto Soares Scolforo, pela orientação, pela confiança, pelos conselhos pessoais e profissionais, pelo exemplo profissional e pelas sugestões na tese.

Ao professor Natalino Calegário, pela convivência e pela orientação e pela convivência durante a realização deste trabalho.

Ao professor José Luiz Pereira de Rezende, pela convivência durante o doutorado, pela grande participação na minha formação acadêmica e pessoal, pelas orientações de sempre e pelas sugestões na tese.

Ao professor e quarto zagueiro Sebastião do Amaral Machado, pela simpatia e amizade durante o período que passou entre nós na Universidade Federal de Lavras e pelas sugestões na tese.

A professor Ruben Delly Veiga pela participação na banca de defesa de tese e pelas sugestões na correção.

Ao professor José Tarcísio Lima, pelas sugestões durante a fase de coleta de dados na serraria.

Ao amigo Prof. José Márcio Rocha Faria pela ajuda com os Abstracts da tese e pela convivência de tantos anos.

A CAPES, pela concessão da bolsa de estudos.

À Companhia Mineira de Metais – Unidade Agroflorestral, nas pessoas do Dr. Luciano Lage Magalhães e do Dr. Vicente de Paula Silveira, pelo apoio à pesquisa durante a fase de coletas de dados na área da empresa.

Aos colegas Cláudio Thiersch e Maria Zélia, pelas contribuições no estudo de funções de afilamento.

Ao colega Fred pela ajuda no estudo das funções de sítio.

Ao Flávio, pela paciência na programação, pela torcida nos momentos decisivos e pelas conversas entre uma e outra etapa.

À colega Adriana, por dividir os momentos difíceis de quem passou pela experiência de trabalhar e fazer doutorado ao mesmo tempo.

Ao professor e colega Paulo Eduardo Dalanesi, pela colaboração nos trabalhos de campo.

Aos colegas de Pós-graduação do DCF/UFLA, Edmilson, Murilo e Celso, pelo apoio na coleta de dados.

Aos alunos de graduação da UFLA João e Marcelo, e aos alunos de graduação da FIMES Wesly, Vergínio, Éder Miguel e Maísa, pelo auxílio de campo e de escritório.

Aos funcionários Gláucia, Joseli, Grande, Samuel, Charles, Rosinha, Chica, Roseane e Franciolle pela convivência, pela simpatia e pela presteza de sempre!

E, especialmente, aos meus familiares, pelo incondicional apoio, pela paciência e por entenderem que minha ausência, por várias vezes sentida, retornou na forma de mais uma vitória, vitória que é de toda a família. Amo vocês!

## SUMÁRIO

	<b>Página</b>
LISTA DE TABELAS .....	i
LISTA DE FIGURAS .....	vi
Resumo Geral .....	viii
General Abstract .....	ix
CAPÍTULO 1 .....	001
1 Introdução .....	002
2 Referencial Teórico .....	005
2.1 Os sistemas agroflorestais.....	005
2.1.1 Benefícios dos sistemas agroflorestais ao solo .....	005
2.1.2 O uso do eucalipto nos sistemas agroflorestais .....	010
2.2 O uso das funções probabilísticas .....	011
2.3 A forma do fuste das árvores .....	013
2.4 Desbastes .....	017
2.5 Poda ou desrama .....	022
2.6 Predição presente e futura do crescimento e da produção florestal a partir da modelagem dos atributos do povoamento.....	025
2.6.1 Modelos para árvores individuais .....	027
2.7 Processamento de madeira em serraria .....	029
2.7.1 Rendimento do desdobro de toras .....	030
2.7.2 Relação entre as dimensões da árvore ou da tora com o rendimento na serraria .....	032
2.7.3 Utilização de modelagem na estimativa do rendimento do desdobro de toras .....	033
2.7.4 O desdobro de toras de eucalipto para a produção de serrados .....	038
2.8 Qualidade e valorização da madeira serrada .....	040
2.8.1 Normas para a classificação de madeiras serradas .....	040
2.8.2 Normas brasileiras para a classificação de madeiras serradas.....	041
2.8.3 Métodos de classificação .....	042
2.8.4 Normas para a classificação de madeira serrada de eucalipto .....	043
2.8.5 Principais defeitos encontrados na madeira serrada de eucalipto .....	045
2.8.6 Madeira de eucalipto de alta qualidade .....	047
2.9 Custo do processamento da madeira .....	048
2.10 Critérios de avaliação econômica de projetos .....	050
2.10.1 A análise econômica dos sistemas agroflorestais .....	052
2.10.2 A análise econômica dos sistemas agroflorestais com o uso do eucalipto .....	055
2.11 Agregação de valor aos produtos agroflorestais .....	057
3 Referências Bibliográficas .....	058



CAPÍTULO 2: Modelagem do rendimento do desdobro de toras de eucalipto cultivado em sistema agroflorestal .....	072
1 Resumo .....	073
2 Abstract .....	074
3 Introdução .....	075
4 Material e Métodos .....	077
4.1 Localização e caracterização da área de estudo .....	077
4.2 Ajuste de modelos para estimar o rendimento do processamento de toras na serraria em função de variáveis dendrométricas.....	078
4.2.1 Caracterização da serraria.....	078
4.2.2 Rendimento no desdobro de toras da serraria em função de variáveis dendrométricas .....	079
4.2.3 Rendimento de costaneiras .....	082
4.2.4 Modelagem do rendimento percentual do processamento de toras na serraria.....	083
4.2.5 Modelagem da produção de tábuas .....	083
4.2.6 Modelagem do tempo gasto para processar as toras .....	084
5 Resultados e discussão .....	085
5.1 Rendimento do desdobro de toras .....	085
5.2 Modelagem .....	086
5.2.1 Modelagem do rendimento percentual do desdobro de toras na serraria – produto 1 .....	086
5.2.2 Modelagem da produção de tábuas – produto 1 .....	090
5.2.3 Modelagem do tempo gasto para processar as toras – produto 1 .....	092
5.2.4 Modelagem do rendimento percentual do processamento de toras na serraria – produto 1 .....	094
5.2.5 Modelagem da produção de tábuas – produto 2 .....	097
5.2.6 Modelagem do tempo gasto para processar as toras – produto 2 .....	099
5.2.7 Modelagem do rendimento percentual do processamento de toras na serraria – produtos 1 e 2 processados conjuntamente .....	101
5.2.8 Modelagem da produção de tábuas – produtos 1 e 2 processados conjuntamente .....	103
5.2.9 Modelagem do tempo gasto para processar as toras – produtos 1 e 2 processados conjuntamente .....	105
6 Conclusões .....	107
7 Referências bibliográficas .....	108
CAPÍTULO 3: Seleção de funções polinomiais de afilamento para clone de eucalipto cultivado em sistema agroflorestal .....	110
1 Resumo .....	111
2 Abstract .....	112
3 Introdução .....	113
4 Material e Métodos .....	115

4.1 Localização e caracterização da área de estudo .....	115
4.2 O levantamento de campo .....	116
4.2.1 Coleta de dados e quantificação dos volumes das árvores da amostra .....	116
4.3 Funções de afilamento .....	117
4.3.1 Modelos polinomiais segmentados .....	117
4.3.2 Modelos polinomiais não-segmentados .....	122
5 Resultados e discussão .....	125
5.1 Performance dos modelos ajustados .....	125
5.1.2 Ajuste .....	125
5.1.2.1 Acurácia dos modelos na estimativa dos diâmetros ao longo do fuste .....	128
5.1.2.2 Acurácia dos modelos na estimativa dos volumes ao longo do fuste .....	137
6 Conclusões .....	143
7 Referências bibliográficas .....	144
CAPÍTULO 4: Prognose da produção presente e futura de povoamentos de eucalipto cultivados em sistema agroflorestal.....	146
1 Resumo .....	147
2 Abstract .....	148
3 Introdução .....	149
4 Material e Métodos .....	151
4.1 Localização e caracterização da área de estudo .....	151
4.2 Descrição do sistema agroflorestal .....	151
4.3 O levantamento de campo .....	152
4.3.1 Tamanho das parcelas e variáveis mensuradas no povoamento florestal .....	153
4.4 Classificação de sítios florestais .....	153
4.5 Modelagem dos atributos do povoamento .....	154
4.6 Ajuste da distribuição diamétrica $S_b$ .....	155
4.7 Ajuste de modelos hipsométricos .....	158
4.8 Função de afilamento .....	159
4.9 Prognose da produção .....	160
5 Resultados e discussão .....	164
5.1 Classificação de sítios florestais .....	164
5.2 Modelagem dos atributos do povoamento .....	164
5.3 Ajuste da distribuição diamétrica $S_b$ .....	167
5.4 Prognose da produção .....	171
6 Conclusões .....	173
7 Referências bibliográficas .....	174
CAPÍTULO 5: Análise econômica de um sistema agroflorestal com eucalipto.....	176

1 Resumo .....	177
2 Abstract .....	178
3 Introdução .....	179
4 Material e Métodos .....	180
4.1 Localização e caracterização da área de estudo .....	180
4.2 Descrição do sistema agroflorestal .....	181
4.3 Estrutura de custos.....	182
4.4 Estrutura de receitas .....	184
4.5 Determinação da rotação econômica para o eucalipto .....	185
4.6 Análise de sensibilidade .....	187
5 Resultados e discussão .....	188
5.1 Determinação da rotação econômica ótima .....	188
5.2 Viabilidade econômica do SAF .....	194
5.3 Análise de sensibilidade .....	196
5.3.1 Variações na quantidade de madeira aproveitada para carvão e para serraria .....	196
5.3.2 Variações em produtividade dos produtos do SAF .....	197
5.3.3 Variações nos preços dos produtos do SAF .....	198
5.3.4 Variações na taxa de juros .....	200
6 Conclusões .....	201
7 Referências bibliográficas .....	202

## LISTA DE TABELAS

		<b>Página</b>
TABELA 1.1	Modelos utilizados para estimativa de tempo e rendimento nas atividades da serraria .....	037
TABELA 1.2	Nome e dimensões (mm) das peças de madeira serrada.....	045
TABELA 2.1	Limites inferiores e superiores de cada uma das cinco classes diamétricas com casca, nas quais as toras foram separadas.....	080
TABELA 2.2	Equações de rendimento do desdobro de toras em serraria, em função de variáveis dendrométricas, para o produto 1 e respectivas medidas de precisão.....	086
TABELA 2.3	Equações de rendimento do desdobro de toras em serraria em função de variáveis dendrométricas, para o produto 1 e respectivas medidas de precisão após a retirada dos valores estranhos.....	088
TABELA 2.4	Coefficientes para o rendimento do volume de tábuas estimado para o produto 1.....	090
TABELA 2.5	Equações de rendimento do volume de tábuas em serraria, em função de variáveis dendrométricas, para o produto 1, respectivas medidas de precisão e significância das variáveis independentes após a retirada dos valores estranhos.....	091
TABELA 2.6	Equações de estimativa do tempo (min.) gasto no processamento das toras para o produto 1, respectivas medidas de precisão e significância das variáveis independentes.....	093
TABELA 2.7	Equações de rendimento do desdobro de toras em serraria em função de variáveis dendrométricas, para o produto 2, respectivas medidas de precisão e grau de significância das variáveis independentes, após a retirada dos valores estranhos.....	095
TABELA 2.8	Equações de rendimento do volume de tábuas em serraria, em função de variáveis dendrométricas, para o produto 2, respectivas medidas de precisão e	

	significância das variáveis independentes, após a retirada dos valores estranhos.....	097
TABELA 2.9	Equações de estimativa do tempo (min.) gasto no processamento das toras para o produto 2, respectivas medidas de precisão e significância das variáveis independentes.....	099
TABELA 2.10	Equações de rendimento do desdobro de toras em serraria em função de variáveis dendrométricas, para os produtos 1 e 2 simultaneamente, respectivas medidas de precisão, e grau de significância das variáveis independentes, após a retirada dos valores estranhos.....	101
TABELA 2.11	Equações de rendimento do volume de tábuas em serraria, em função de variáveis dendrométricas, para os produtos 1 e 2 simultaneamente, respectivas medidas de precisão e significância das variáveis independentes, após a retirada dos valores estranhos.....	103
TABELA 2.12	Equações de estimativa do tempo (min.) gasto no processamento das toras para os produtos 1 e 2, simultaneamente, respectivas medidas de precisão e significância das variáveis independentes.....	105
TABELA 3.1	Parâmetros estimados e medidas de precisão para os modelos segmentados e para os modelos não-segmentados.....	127
TABELA 3.2	Parâmetros estimados e medidas de precisão da equação de Schumacher e Hall .....	128
TABELA 3.3	Estatísticas dos modelos polinomiais segmentados (1,2 e 3) e não segmentados (4,5 e 6) para a estimativa dos diâmetros ao longo do fuste das árvores do clone sob regime de sistema agroflorestal.....	129
TABELA 3.4	Exemplo de atribuição das notas de 1 a 6, para os 6 modelos testados, em função do valor das estatísticas RP, DESV, SSRR, DP, para o caso da altura absoluta de 15 metros.....	132
TABELA 3.5	Melhores estimativas do diâmetro ao longo do fuste das árvores do clone pelas equações segmentadas e	

	não-segmentadas, suas respectivas posições no ranking e quantidade de vezes (%) que a equação esteve em primeiro lugar.....	133
TABELA 3.6	Estatísticas dos modelos polinomiais segmentados (1,2 e 3) e não segmentados (4,5 e 6) para a estimativa dos volumes ao longo do fuste das árvores do clone sob regime de sistema agroflorestal.....	138
TABELA 3.7	Melhores estimativas do volume ao longo do fuste das árvores, pelas equações segmentadas e não-segmentadas, suas respectivas posições no ranking e quantidade de vezes (%) que a equação esteve em primeiro lugar.....	140
TABELA 4.1	Métodos de ajuste dos parâmetros $\delta$ e $\gamma$ para a distribuição $S_b$ utilizados no estudo.....	156
TABELA 4.2	Modelos utilizados no sistema de prognose da produção para clones de eucaliptos sob regime de sistemas agroflorestais.....	163
TABELA 4.3	Equações utilizadas no sistema do prognose da produção para clones de eucaliptos sob regime de sistemas agroflorestais, estatísticas e significância das variáveis independentes.....	165
TABELA 4.4	Número de vezes que a frequência teórica foi semelhante à frequência observada, para os métodos de ajustes e percentuais do diâmetro mínimo.....	168
TABELA 4.5	Número de vezes que a frequência teórica foi semelhante à frequência observada, com a ponderação proposta e o resultado do ranking.....	170
TABELA 4.6	Volume de madeira prognosticado para 8 idades e respectivos valores de incremento médio anual (IMA) para o índice de sítio 17,5m .....	172
TABELA 4.7	Volume de madeira prognosticado para 8 idades e respectivos valores de incremento médio anual (IMA) para o índice de sítio 21,5m .....	172
TABELA 4.8	Volume de madeira prognosticado para 8 idades e respectivos valores de incremento médio anual	

	(IMA) para o índice de sítio 25,5m .....	173
TABELA 5.1	Descrição do SAF da CMM.....	181
TABELA 5.2	Custos das diversas atividades do sistema agroflorestal.....	182
TABELA 5.3	Custos da serraria.....	183
TABELA 5.4	Preços, quantidades e receitas dos produtos do SAF....	183
TABELA 5.5	Volume de madeira em tora para carvão e para serraria, volume de madeira serrada (produtos 1 e 2) e de carvão, para diversas idades de corte da floresta, no sítio 17,5m.....	184
TABELA 5.6	Volume de madeira em tora para carvão e para serraria, volume de madeira serrada (produtos 1 e 2) e de carvão, para diversas idades de corte da floresta, no sítio 21,5m.....	185
TABELA 5.7	Volume de madeira em tora para carvão e para serraria, volume de madeira serrada (produtos 1 e 2) e de carvão, para diversas idades de corte da floresta, no sítio 25,5m.....	185
TABELA 5.8	Fluxo de caixa para o SAF, considerando a venda de madeira colhida para serraria e para carvão, para o sítio 17,5m.....	188
TABELA 5.9	VPL e BPE considerando a venda de madeira em tora, de madeira serrada e de carvão, para diversas idades de corte da floresta, no índice de sítio 17,5 m.....	191
TABELA 5.10	VPL e BPE considerando a venda de madeira em tora, de madeira serrada e de carvão, para diversas idades de corte da floresta, no índice de sítio 21,5 m.....	192
TABELA 5.11	VPL e BPE considerando a venda de madeira em tora, de madeira serrada e de carvão, para diversas idades de corte da floresta, no índice de sítio 25,5 m.....	193
TABELA 5.12	VPL considerando variações nas percentagens de	196

	aproveitamento da para serraria e para carvão – venda de madeira em tora.....	
TABELA 5.13	VPL considerando variações nas percentagens de aproveitamento da madeira para serraria e para carvão – venda de madeira serrada (produto 1) e carvão.....	196
TABELA 5.14	VPL considerando variações nas percentagens de aproveitamento da madeira para serraria e para carvão – venda de madeira serrada (produto 2) e carvão.....	197
TABELA 5.15	VPL e BPE para diversos níveis de produtividade da madeira, da soja e do arroz, considerando a venda de madeira serrada (produto 2) e de carvão.....	198
TABELA 5.16	VPL e BPE para diversos preços de venda da madeira serrada (produto 2), do carvão, do boi gordo, da soja e do arroz.....	199



## LISTA DE FIGURAS

		<b>Página</b>
FIGURA 2.1	Esquema do recebimento das toras no pátio da serraria.....	081
FIGURA 2.2	Gráfico dos resíduos para o rendimento estimado no desdobro de toras para o produto 1.....	087
FIGURA 2.3	Gráfico dos resíduos para o rendimento estimado para o produto 1, após a retirada dos valores estranhos.....	089
FIGURA 2.4	Gráfico dos resíduos para o volume de tábuas estimado para o produto 1, após a retirada dos valores estranhos.....	092
FIGURA 2.5	Gráfico dos resíduos para o tempo estimado para processar as toras para obter o produto 1.....	094
FIGURA 2.6	Gráfico dos resíduos para o rendimento estimado para o produto 2, após a retirada dos valores estranhos.....	096
FIGURA 2.7	Gráfico dos resíduos para o volume de tábuas estimado para o produto 2, após a retirada dos valores estranhos.....	098
FIGURA 2.8	Gráfico dos resíduos para o tempo estimado para processar as toras para obter o produto 2.....	100
FIGURA 2.9	Gráfico dos resíduos para o rendimento estimado para os produtos 1 e 2, após a retirada dos valores estranhos.....	102
FIGURA 2.10	Gráfico dos resíduos para o volume de tábuas estimado para os produtos 1 e 2, após a retirada dos valores estranhos.....	104
FIGURA 2.11	Gráfico dos resíduos para o tempo estimado para processar as toras para se obter os produtos 1 e 2, simultaneamente, após a retirada dos valores estranhos.....	106
FIGURA 3.1	Perfis médios reais e estimados dos fustes de árvores do clone descritos pelas equações de afilamento segmentadas e não-segmentadas.....	136

FIGURA 3.2	Volumes médios reais e estimados ao longo dos fustes de árvores do clone, descritos pelas equações de afilamento segmentadas e não-segmentadas.....	142
FIGURA 5.1	VPL para as situações de venda de madeira, na idade ótima de corte, considerando o aproveitamento de 50% para serraria e 50% para energia, para os sítios em estudo.....	194
FIGURA 5.2	Agregação de valor à madeira (sítio 21,5m).....	195
FIGURA 5.1	Representação gráfica do VPL em função de variações na taxa de juros.....	200

## RESUMO GERAL

SOUZA, Álvaro Nogueira. **Crescimento, produção e análise econômica de povoamentos clonais de *Eucalyptus* sp. em sistemas agroflorestais.** 2005. 203 p. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

O presente estudo teve como objetivos ajustar modelos de rendimento para uma serraria, testar funções de afilamento utilizando modelos polinomiais segmentados e não-segmentados para estimar o perfil do fuste das árvores, prognosticar a produção presente e futura de povoamentos de eucalipto, e analisar a viabilidade econômica de um sistema agrossilvopastoril com eucalipto. As unidades de estudo foram compostas por talhões de um clone de híbridos naturais de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus camaldulensis*, plantados em consórcio com arroz, soja e pastagem, no espaçamento 4 x 10 metros, objetivando produzir madeira para serraria e para energia. O estudo de rendimento da serraria constou de testes de modelos utilizando o Método dos Mínimos Quadrados Ordinários. Para o ajuste das funções de afilamento, foram cubadas 40 árvores, rigorosamente, pelo método de Smalian. Os modelos segmentados testados foram o de Clark et al. (1991), de Max & Burkhardt (1976), de Parresol et al. (1987). Os modelos não-segmentados foram os de Schöepfer (1966), de Hradetzky (1976) e de Goulding & Murray (1976). Para estimar as classes diamétricas do povoamento, foi testada a função de densidade de probabilidade  $S_b$ . Todos os atributos foram modelados e os parâmetros de locação ( $\epsilon$ ), escala ( $\lambda$ ), assimetria ( $\gamma$ ) e curtose ( $\delta$ ) foram recuperados. A análise econômica testou a lucratividade da venda futura dos produtos de madeira e do sistema como um todo. O rendimento do desdobro de toras pode ser estimado em função de variáveis dendrométricas. O modelo Hradetzky (1976) estimou melhor os diâmetros e foi usado na prognose também para estimar o volume. A prognose da produção para clones de eucalipto submetidos aos sistemas agroflorestais apresentou subestimativa dos volumes futuros. A análise econômica mostrou que a viabilidade do sistema agroflorestal depende mais da madeira do que dos outros componentes como a soja, o arroz e a arroba do boi.

Palavras-chave: economia florestal, sistemas agroflorestais, função de afilamento, distribuição diamétrica, prognose da produção, serraria.

---

Comitê de orientação: Prof. Antônio Donizette de Oliveira - UFLA (Orientador); – Prof. José Roberto Soares Scolforo - UFLA (Co-Orientador); Prof. Natalino Calegário – UFLA (Co-Orientador).

## GENERAL ABSTRACT

SOUZA, Álvaro Nogueira. **Growth, Production and Economic Analysis of Clonal Stands of *Eucalyptus* sp. in Agroforest Systems.** 2005. 203 p. Thesis (Doctorate in Forest Engineering) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

The aims of the present study were to adjust models of productivity for a sawmill; to test taper functions using segmented and non segmented polynomial models to estimate the profile of the trees' trunk; to prognosticate the present and future production of stands of eucalypt; and to analyse the economic viability of a "agrossilvopastoril" system with eucalypt. The units of study were composed by stands of a clone of natural hybrids of *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus camaldulensis*, planting in consortium with rice, soybean and pasture at the spacing 4 x 10 meters, aiming to produce wood for sawmill and energy. The study of the productivity of the sawmill was composed by tests of models using the ordinary least squares method. For the adjustment of the taper functions, 40 trees were scaled rigorously by the Smalian method. The segmented models tested were those of Clark et al (1991); Max & Burkhart (1976); and Parresol, Hotvedt & Cao (1987). The non-segmented models were those of Schöepfer (1966); Hradetzky (1976); and Goulding & Murray (1976). To estimate the diametric classes of the stand, the density function of probability  $S_b$  of Johnson was tested. All attributes were modeled and the parameters of location ( $\epsilon$ ), scale ( $\lambda$ ), asymmetry ( $\gamma$ ) and kurtosis ( $\delta$ ), were recovered. The economic analysis tested the profitableness of the future sale of the wood goods and of the whole system. The productivity of the wood processing could be estimated in function of dendrometric parameters. The model of Hradetzky (1976) better estimated the diameters and was used in the prognosis also to estimate the volume. The prognosis of the production for clones of eucalypt subjected to the agroforest systems underestimated the future volumes. The economic analysis showed that the viability of the agroforest system depends more on the wood than the other components such as the soybean, the rice and the "arroba" (15 Kg) of the cattle.

Key-words: Forest economy, agroforest systems, taper function, diametric distribution, prognosis of the production, sawmill.

---

Guidance committee: Antônio Donizette de Oliveira – UFLA (Supervisor); José Roberto Soares Scolforo – UFLA (Co-supervisor); Natalino Calegário – UFLA (Co-supervisor).

**CAPÍTULO 1**  
**REFERENCIAL TEÓRICO**

## 1 INTRODUÇÃO

O manejo florestal moderno requer integração entre floresta, indústria e mercado, para maximizar o retorno financeiro e, ao mesmo tempo, garantir uma base sustentável do estoque de crescimento das florestas. Nesse sentido, uma importante função do manejador é desenvolver e utilizar técnicas que visam identificar as oportunidades alternativas e os valores dos diferentes produtos que as árvores podem oferecer.

O sistema silvicultural adotado será função da diversidade de produtos que se pretende produzir. A formação de madeira de qualidade vai depender de tendências que os fatores genéticos e ambientais, combinados entre si e com o manejo florestal empregado, impõem ao povoamento (Carpinelli, 2002).

A multiplicidade de produtos possíveis de serem obtidos a partir dos povoamentos de eucalipto permite à empresa florestal direcionar suas atividades para a produção de madeira serrada, laminados, aglomerados, madeira para energia, fabricação de celulose e papel e, ainda, o aproveitamento dos resíduos da madeira para a fabricação de chapas de fibra e geração de energia, entre outros vários produtos. Estes, por sua vez, têm diferentes valores de mercado, apresentando também variações em relação à demanda, ao longo dos anos (Leite, 1994).

Assim, a empresa alcançará diferentes mercados e reduzirá riscos relativos às monoculturas e ao restrito mix de produtos que se pode oferecer ao mercado. Uma alternativa antiga aos monocultivos, mas que tem ganhado força nos dias atuais, é o cultivo de sistemas agroflorestais, nos quais as espécies arbóreas são cultivadas em consórcio com culturas anuais e forrageiras, permitindo que haja uma renda alternativa para a empresa, no início do desenvolvimento do povoamento florestal.

A associação de plantios florestais com culturas anuais e forrageiras reduz substancialmente os custos de implantação e manutenção das florestas de eucalipto e aumenta a produtividade do sítio, além de reduzir a erosão e outros impactos ambientais negativos (Dube et al., 2002).

O tema uso múltiplo para madeira de eucalipto tem sido difundido no meio florestal por meio do emprego das funções de afilamento que propiciam o sortimento de produtos da floresta. O conceito de multiprodutos de árvores, quando bem aplicado, pode maximizar retornos, uma vez que a cada porção do tronco é destinado um uso mais nobre.

Associar os sistemas agroflorestais ao conceito de uso múltiplo da floresta requer novos estudos, uma vez que, nos casos retratados na literatura os espaçamentos empregados são aqueles convencionais.

Em um sistema agroflorestal, o espaçamento chega a proporcionar uma área de 40m<sup>2</sup> para que árvores se desenvolvam. Com isso, as relações de crescimento das árvores e afilamento dos fustes são diferentes daqueles casos convencionais. Além deste fato, há necessidade de se aplicar a poda para evitar que os galhos estimulados pelo espaço cresçam e inviabilizem o uso mais nobre da madeira.

Com o conhecimento das relações de crescimento das árvores e com o devido cuidado com as culturas anuais, assim como com as forrageiras, a empresa florestal poderá alcançar um mix de produtos agrícolas, agropecuários e florestais.

Partindo-se da adequação destas técnicas à realidade dos sistemas agroflorestais, podem-se utilizar técnicas de modelagem do crescimento e da produção para realizar a prognose precoce dos produtos que a floresta pode oferecer e planejar as estratégias de mercado precocemente.

Os produtos de maior valor agregado são aqueles que passam por mais de um processo de usinagem. As madeiras serradas livres de defeitos são um dos

tipos de produtos que alcançam maior valor no mercado. Assim, se a empresa dominar a técnica de estimar os produtos na serraria a partir de informações do inventário florestal, poderá programar a venda de produtos finais de maior valor agregado e prever ganhos futuros.

O objetivo geral deste trabalho foi estudar o crescimento e a produção de povoamentos de eucalipto em sistemas agroflorestais e analisar a viabilidade econômica destes sistemas.

Os objetivos específicos foram:

- ajustar modelos de rendimento para uma serraria, utilizando-se árvores plantadas em sistemas agroflorestais;
- testar funções de afilamento utilizando modelos polinomiais segmentados e não-segmentados para estimar o perfil do fuste das árvores e obter os multiprodutos a elas associados, para o caso de clones de eucalipto sob regime de sistemas agroflorestais, plantados em espaçamento 10 x 4m;
- prognosticar a produção presente e futura de povoamentos de clones de eucalipto submetidos a plantios em espaçamentos abertos em sistemas agroflorestais;
- analisar o sistema agroflorestal, sob o ponto de vista econômico.



## **2 REFERENCIAL TEÓRICO**

### **2.1 Os sistemas agroflorestais**

Os sistemas agroflorestais constituem práticas de cultivo envolvendo espécies arbóreas e culturas anuais ou perenes, como forma de buscar a otimização do uso da terra e a maximização dos retornos por unidade de área. Para Macedo (1992), eles podem ser utilizados para trabalhos de recuperação de áreas degradadas e paisagens fragmentadas pelas atividades agropecuárias, cujos fatores de produção são ineficientes para a recomposição natural de seu potencial produtivo.

Hoeflich (1995) considerou que estes sistemas são formas de utilização da terra que proporcionam rendimento sustentável, no qual, aplicando-se práticas de manejo compatíveis com os padrões culturais da população local, pode-se alcançar maior diversidade e sustentabilidade.

Para Franco (2000), os sistemas agroflorestais ajudam a controlar a erosão e a repor os nutrientes retirados do solo pelo seu uso intensivo. Essa prática, muitas vezes inviável do ponto de vista econômico, dados os preços dos fertilizantes, pode ser subsidiada pela agrofloresta com a decomposição do material que fica no solo.

#### **2.1.1 Benefícios dos sistemas agroflorestais ao solo**

Um efeito importante de um sistema agroflorestal pode ser esperado com relação à proteção e ao enriquecimento do solo. Porém, os estudos dos componentes que compõem a solução do solo em áreas cultivadas e em plantios agroflorestais nas regiões tropicais são raros. Os benefícios que o sistema pode trazer para o solo ainda são desconhecidos.

Toda espécie cultivada em monocultivos gera preocupações a respeito de seu papel no desequilíbrio ecológico. As maiores transformações vão ocorrer no solo, que tem toda sua cobertura vegetal retirada e sofre transformações químicas, físicas e biológicas.

Muitos trabalhos foram realizados com o objetivo de estudar tais mudanças e, de acordo com Lima (1996), a principal preocupação, no que se refere ao eucalipto, era verificar possíveis alterações químicas decorrentes da decomposição da serrapilheira em solos sob monoculturas. Assim, propriedades, tais como o pH, o conteúdo de nutrientes, a capacidade de troca de cátions, o tipo de húmus, etc., foram contempladas em muitos casos.

Outras duas preocupações com relação ao eucalipto, citadas por Lima (1996), são a sua influência na fertilidade e na microbiologia do solo.

Um estudo desenvolvido por Bernhard-Reversat (1998) comparou o processo de mineralização do nitrogênio no solo sob plantações de eucalipto e sob a vegetação nativa, no Senegal. Os resultados mostraram que, sob a vegetação nativa, houve maior taxa de mineralização do nitrogênio. Em uma análise final, o autor considerou que os resultados devem estar mais relacionados com as alterações microclimáticas sob a plantação de eucalipto do que com o próprio eucalipto.

A análise anterior vai de encontro ao que Cerri et al. (1985) encontraram em seu trabalho, estudando o efeito do desmatamento sobre a biomassa microbiana em Latossolo Amarelo, na Amazônia. Neste caso, constatou-se que as queimadas causaram uma redução de dois terços na biomassa microbiana original do solo. A ação do fogo destruiu toda a população de microrganismos até uma profundidade de 10 cm do solo, numa região em que essa população se restringe a uma camada de 15 cm.

De acordo com informações de Franco (2000), produtores que implantaram sistemas agroflorestais, tendo como principal cultura o café,

relataram que houve aumento de produtividade em decorrência do consórcio. Outros, porém, relataram que, embora a produção tenha caído ligeiramente, se mantém constante a cada ano, demonstrando estabilidade do sistema. Finalmente, o autor considerou que são necessários estudos aprofundados em diversos aspectos relacionados aos sistemas agroflorestais, tais como ciclagem de nutrientes, ciclo hidrológico, análise econômica, espécies potenciais, incidência de pragas e doenças e erosão.

Martins (2001), estudando a dinâmica de nutrientes na solução do solo em um sistema agroflorestal contendo mogno, cupuaçu, mandioca, milho, caupi e feijão-de-porco, concluiu que em um sistema agroflorestal a entrada de nutrientes da atmosfera não é suficiente para atender às necessidades das plantas. Além disso, a perda de nutrientes se dá mais em função da lixiviação do que por exportação da biomassa, a concentração dos elementos na solução do solo foi mais elevada no sistema agroflorestal em relação à floresta e as práticas culturais e silviculturais promovem flutuações nas concentrações de nutrientes no solo, sendo o potássio o elemento que se movimentou de forma mais rápida.

A quantidade de matéria orgânica adicionada ao solo por decomposição de folhas e restos de culturas pode auxiliar na melhoria de suas propriedades. De acordo com Filho et al. (1987), essa melhoria pode ser na forma de aumento da porosidade total e da macroporosidade do solo, facilitando a movimentação do ar e da água. Ainda com relação aos benefícios, pode-se reduzir a densidade e a compactação do solo, o que vai possibilitar a facilidade de infiltração, conseqüentemente melhorando a drenagem de solos argilosos, permitindo que o sistema radicular tenha seu desenvolvimento facilitado. Com o aumento na capacidade de infiltração, o solo fica protegido contra a erosão por escoamento superficial.

A adição de matéria orgânica favorece o trabalho dos microrganismos que promovem a mineralização do nitrogênio no solo.

Espécies florestais, como *Acacia nilotica* e *Prosopis juliflora*, quando plantadas em solos sódicos, têm sido responsáveis pelo aumento da quantidade de matéria orgânica, além de proporcionarem a biodisponibilidade do nitrogênio inorgânico (Bhojvaid et al., 1996).

No sistema agroflorestal *Prosopis-Leptochloa*, o carbono orgânico do solo e a disponibilidade de nitrogênio mostraram aumentos em suas quantidades após seis anos (Singh, 1995).

Kaur et al. (2002a), em um estudo para analisar o estoque de carbono e a ciclagem de nitrogênio em um sistema silvopastoril sobre um solo sódico no Noroeste da Índia, testaram três espécies arbóreas em consórcio com duas espécies de gramíneas. Os resultados mostraram que o sistema silvopastoril foi eficiente em promover o aumento de resíduos no solo, proporcionando a ciclagem de nutrientes e o aumento da produtividade biológica e dos estoques de carbono no solo.

Kaur et al. (2002b) estudaram o melhoramento das condições de solos salinos e sódicos a partir da implantação de um sistema silvopastoril no Noroeste da Índia. O sistema foi testado com as espécies florestais *Acacia nilotica*, *Dalbergia sissoo*, e *Prosopis juliflora*, e com as gramíneas *Desmostachya bipinata* e *Sporolobus marginatus*, consideradas, em plantios solteiros, como testemunhas. Os demais tratamentos constituíram-se do plantio de cada espécie arbórea com cada espécie de gramínea. Todos os resultados indicaram que o sistema silvopastoril foi o mais interessante, obtendo ganhos, tais como: aumento significativo de carbono e nitrogênio orgânico no solo, aumento da concentração do carbono orgânico de 24% para 62% e de nitrogênio orgânico de 20% para 46% no sistema que utilizou árvores com *Desmostachya* quando comparados com as gramíneas solteiras e o pH do solo, que variava 10 a 10,2, caiu para 8,6 a 9,9, após sete anos de crescimento das árvores no sistema.

A biomassa microbiana aumentou de 35% para 95% na camada de 7,5cm de solo e de 17% para 70% na camada entre 7,5 e 15cm de solo. As principais conclusões foram: o sistema silvopastoril aumentou satisfatoriamente as características químicas, físicas e biológicas do solo em comparação com gramíneas solteiras.

#### **a) A utilização de leguminosas**

Uma das principais razões e para se utilizarem leguminosas em um sistema agroflorestal está nos benefícios oferecidos pela adubação verde. O nitrogênio atmosférico é capturado por bactérias fixadoras presentes nas raízes dessas plantas e incorporado à solução do solo (Ferreira Neto, 1994).

De acordo com Malavolta (1981), o feijão guandu é uma leguminosa capaz de fixar de 50 a 150 kg de N/ha.ano. Essa mesma constatação foi feita por Mielnickzuk (1988). Avaliando diferentes sistemas de plantio, ele observou que, quando os sistemas incluíram leguminosas, os teores de nitrogênio no solo aumentaram significativamente, com destaque para o feijão guandu que, ao final de três anos, promoveu um aumento de nitrogênio total em 900 kg/ha.

#### **b) A presença de animais**

O sistema silvopastoril é uma associação de espécies arbóreas e forrageiras, com ou sem a presença de culturas. Neste tipo de sistema, podem ser encontradas plantações comerciais com a presença de gado ou o pastoreio de animais como fator complementar a uma agricultura de subsistência.

Nas espécies arbóreas podem-se encontrar pastejos sob reflorestamentos jovens, árvores de valor madeireiro, frutíferas de interesse comercial, árvores forrageiras, árvores que servem como quebra-ventos, árvores de sombras nas

pastagens e árvores para conservação e melhoramento do solo nas pastagens (Santos, 1990).

A questão da compactação do solo em sistemas silvopastoris não pode passar despercebida. De acordo com Silva (1999), as condições físicas do solo são afetadas apenas nas camadas superficiais pelo pisoteio dos animais.

### **2.1.2 O uso do eucalipto nos sistemas agroflorestais**

Quando se trata de plantios agroflorestais com eucalipto, a proteção do solo é muito importante porque, justamente na época de maior ocorrência de precipitação, é que o solo fica exposto, devido ao preparo do solo para o plantio das culturas anuais.

O *Eucalyptus grandis* tem sido um dos mais utilizados nos sistemas agroflorestais. Os consórcios mais comuns são com espécies leguminosas como nos trabalhos de Ferreira Neto (1994), Passos (1990) e Passos et al. (1993). A associação de reflorestamentos com culturas e forragens reduz substancialmente os custos de implantação e manutenção de povoamentos com espécies do gênero *Eucalyptus*, aumenta a produtividade do sítio, além de minimizar a erosão do solo e outros impactos ambientais negativos (Dube et al., 2002).

Silva (1999) avaliou a viabilidade do consórcio de *Eucalyptus grandis* com as gramíneas *Braquiária decumbens* e *Melinis minutiflora* em terreno declivoso. Foram testados quatro espaçamentos para o eucalipto: 3x2m, 4x2m, 5x2m e 6x2m. A testemunha foi o eucalipto solteiro no espaçamento 3x2m. Os resultados mostraram redução do diâmetro com a redução da área útil por planta. O melhor tratamento foi o eucalipto, no espaçamento 3x2m, consorciado com braquiária. Tal tratamento alcançou um volume 55,2% maior do que o eucalipto solteiro. Com relação à qualidade da madeira e a quantidade de biomassa de gramínea, o melhor espaçamento foi 6x2m, que produziu menor volume, porém,

com peças com potencial para uso em serraria. A braquiária produziu 2,45 vezes mais nesse espaçamento em relação ao de 3x2m. A espécie *Melinis minutiflora* desapareceu após 2 anos, demonstrando não estar apta às condições de estudo.

## **2.2 O uso de funções probabilísticas**

A necessidade de se conhecer a estrutura de uma floresta estando ela em plantio puro ou em sistemas agroflorestais, requer o uso de ferramentas que auxiliem no conhecimento presente do povoamento para projetar a estrutura para o futuro. Uma ferramenta muito utilizada é a função probabilística.

A predição da distribuição diamétrica de povoamentos é de grande importância para o profissional de manejo florestal, para a avaliação dos recursos florestais e para o planejamento dos futuros tratamentos silviculturais (Nanos & Montero, 2002).

Segundo Scolforo (1998), a distribuição diamétrica é básica para que a predição ou a prognose da produção possam ser implementadas, no caso de florestas plantadas. Para expressar a distribuição diamétrica, utilizam-se funções probabilísticas. Com isso, podem-se descrever as alterações ocorridas na estrutura do povoamento, nas relações hipsométricas e nas taxas de mortalidade. Todas essas características podem ser analisadas de forma simultânea ao longo do tempo (Guimarães, 1994).

As funções probabilísticas utilizadas para descrever a estrutura diamétrica das populações são funções matemáticas, definidas como funções de densidade de probabilidade (fdp). As funções que mais se destacam são Weibull, Beta,  $S_B$  e  $S_{BB}$  de Johnson, Gamma, Log-normal e Normal. Para estimar os parâmetros destas distribuições, existem vários métodos, dentre os quais se destacam a máxima verossimilhança, os momentos e os percentis (Scolforo, 1998).

Muitos autores utilizaram as distribuições diamétricas em seus trabalhos. Cunha Neto (1994) utilizou a Função Weibull para a predição presente e futura por classe de diâmetro para *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus urophylla*.

Thiersch (1997) testou a eficiência das distribuições diamétricas para *Eucalyptus camaldulensis*, utilizando diferentes métodos de ajuste para as distribuições Normal, Log-Normal, Gamma, Beta, Weibull e  $S_b$ , para a estimativa do número de árvores por classe de diâmetro, para diferentes situações de sítio e idade.

Thiersch & Scolforo (1998) utilizaram a distribuição  $S_b$  para a estimativa e testes da distribuição de frequência diamétrica para *Eucalyptus camaldulensis* por diferentes métodos de ajuste. Os resultados mostraram que a distribuição testada apresentou desempenho estável na estimativa teórica, propiciando estimativa volumétrica também estável para diferentes condições de sítio e idade. O método dos momentos foi o que proporcionou melhor estimativa teórica.

Abreu (2000) modelou a prognose precoce do volume por classe diamétrica para *Eucalyptus grandis*. Os dados deste trabalho foram coletados em cinco regiões diferentes, em dois estados (Minas Gerais e São Paulo). Foram testadas pelas diversas formas de ajuste as distribuições Beta Weibull e  $S_b$ . Os resultados mostraram que a distribuição Weibull, ajustada pelo método dos momentos, mostrou-se superior aos outros métodos. Esse resultado vai ao encontro do que Campos & Turnbull (1981) relataram sobre a distribuição Weibull. De acordo com esses autores, esta função apresenta superioridade em relação às demais, devido a sua flexibilidade e à facilidade de correlacionar de forma significativa seus parâmetros com características importantes do povoamento.

Nanos & Montero (2002), estudando a predição espacial de modelos de predição diamétrica, testaram as funções de Weibull e de Chaudhry-Ahmad. Os



resultados mostraram-se favoráveis ao uso da função Weibull. Já o trabalho de Eerikäinen & Maltamo (2003) comparou a função Weibull com um modelo de rendimento simultâneo e um modelo baseado na distribuição percentil.

### **2.3 A forma do fuste das árvores**

Os fustes das árvores apresentam formas bastante variáveis, de indivíduo para indivíduo. Este fato se dá em função das condições edafoclimáticas, dos tratamentos silviculturais e da posição particular na qual cada árvore se desenvolve. A forma também varia com a idade, seja por um fenômeno evolutivo ou como resultado das várias fases de dependência relativa a seus pares, estratégia de crescimento, habitat, posição sociológica, tamanho de copa e de sapopemas, quando for o caso (Gomes, 1957; Larson, 1963; Finger et al., 1995).

A forma dos fustes de coníferas e folhosas até a base da copa pode apresentar as seguintes características:

- a base do fuste é convexa ao eixo longitudinal, com um ponto de inflexão variável em função da espécie; neste caso, assemelha-se a um sólido geométrico tipo neilóide;
- a partir desse ponto de inflexão até a base da copa que compreende a secção mediana do fuste, o perfil externo apresenta-se côncavo ao referido eixo. Em coníferas, essa porção do tronco assemelha-se a um parabolóide e, em folhosas, ela se divide em parabolóide, no início e tronco de cone até a base da copa;
- a parte terminal que vai da base da copa até o ápice em coníferas assemelha-se a um cone (Assmann, 1970).

Husch et al. (1982) salientaram que, dificilmente, o fuste de uma árvore apresentará uma dessas formas geométricas no seu comprimento total. O mais

correto seria considerar que qualquer fuste é composto por mais de um sólido geométrico. Sendo assim, consideraram que a composição do fuste no sentido base-topo se dá por uma seqüência de diferentes sólidos geométricos: cilindro, tronco de neilóide, tronco de parabolóide e cone.

Os estudos que visam à avaliação do fuste das árvores para deles se obter multiprodutos requerem uma descrição do seu perfil, ou seja, procurar conhecer o diâmetro ao longo de sua extensão. A literatura pertinente apresenta vários métodos para este fim como o quociente de forma, o fator de forma, as funções de afilamento ou “taper”, as funções Spline e as curvas de forma de Preussner (Acerbi Jr., 1995; Scolforo et al., 1998).

Dentre os métodos existentes para expressar a forma dos fustes de árvores, os quocientes de forma e os fatores de forma se caracterizam pela simplicidade e facilidade de aplicação. Os primeiros exprimem a relação entre diâmetros, enquanto os demais expressam a relação entre volumes. Porém, em modelos de otimização de multiprodutos, tem sido freqüente o uso de equações de “taper”. O sucesso na aplicação dessas equações é dependente da precisão e consistência das mesmas. Uma vez que sempre existem restrições no diâmetro mínimo das toras para os diferentes usos da madeira, a necessidade de precisão nas estimativas dos diâmetros ao longo do tronco sempre existirá (Leite, 1994).

O afilamento é o decréscimo do diâmetro de um fuste da base para o topo, ou seja, é o adelgaçamento do fuste, que pode ser expresso por uma função matemática que descreva a tendência dessa variação (Husch et al., 1982).

De acordo com Ferreira (1999), as funções de afilamento são também denominadas de funções de forma ou funções do perfil do tronco, sendo modelos matemáticos que permitem ajustar a linha externa de um fuste em toda a sua extensão ou em apenas um segmento.

O termo “taper” pode ser definido como sendo a taxa de decréscimo em diâmetro exibida ao longo dos troncos das árvores, sendo a principal causa da variação da forma e do volume das mesmas (Lima, 1986).

Essas funções são consideradas dinâmicas porque servem para estimar o diâmetro de uma dada altura e a altura a qualquer diâmetro especificado. Outra utilidade é fazer sortimento e estudar a evolução da forma da árvore ao longo de sua vida (Kozak et al., 1969).

As funções de forma são funções matemático-estatísticas que definem e descrevem o perfil vertical do fuste de uma árvore ou parte dela e, como tal, podem ser definidas de três maneiras: por uma equação, por uma tabela e por uma curva (Friedl, 1989).

Segundo Scolforo (1998), a função de forma é uma modalidade um pouco mais complexa do que as equações de volume, mas oferecem um leque maior de informações a serem obtidas, permitindo assim, encontrar, dentre outras informações, qualquer volume desejado para uma mesma árvore, com ou sem casca. Nessas estimativas, o grau de precisão vai variar com o modelo utilizado e com a forma do tronco.

Diversos autores têm procurado estudar as funções de afilamento, como: Ahrens & Holbert (1981), Assis (1998), Assis et al. (2002), Ferreira (1999), Figueiredo Filho et al. (1996), Finger et al. (1995), Fischer (1997), Johnson (1911), Kirchner et al. (1989), Kozak et al. (1969), Leite et al. (1995), Prodan (1968), Rosot (1989), Scolforo et al. (1998) entre outros.

Ferreira (1999), estudando a forma do fuste de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus cloeziana*, concluiu que entre, vários modelos testados, o de Clark et al. (1991) foi o que apresentou estimativas mais acuradas do diâmetro ao longo de todo o perfil do fuste, com ou sem o controle das classes diamétricas.

Eerikäinen et al. (1999) estudaram métodos alternativos para estimativas de “taper” para *Eucalyptus cloeziana*. Foram testados três métodos: equação

“taper” de Schumacher, método de predição do diâmetro e curva “taper” polinomial. Os autores justificaram o uso de cada um dos métodos alegando que o primeiro é comumente usado, o segundo é o método que tem sido desenvolvido na África do Sul para a mesma espécie florestal usada e o terceiro método tem dado bons resultados nos trabalhos em que é utilizado. As melhores estimativas foram alcançadas com o uso da função polinomial.

Assis et al. (2002) estudaram a avaliação de modelos polinomiais não-segmentados na estimativa de diâmetros e volumes comerciais de *Pinus taeda*. Foram testadas potências de grandezas fracionárias, unitárias e dezenas para representar a ponta, a porção média e a base da árvore, respectivamente. Os modelos polinomiais testados foram três: o modelo de Schöepfer, o de hradetzky e o de Gouling e Murray, tendo sido este último o que melhor estimou os diâmetros ao longo do fuste para ajustes por classe diamétrica.

Lee et al. (2003), estudando a modelagem do perfil do tronco de *Pinus densiflora* na Coréia, apresentaram uma nova metodologia, chamada Equação de Lee, que é dada pela seguinte expressão:

$$d = K_1 dbh^{k_2} (1 - Z)^{r_1 Z^2 + r_2 Z + r_3}$$

A equação de Lee foi comparada com as equações de Kozak e de Max e Burkhart. Os resultados mostraram que os três modelos tiveram bom comportamento até altura de 70% da árvore, onde, segundo o autor, a deformação em virtude da copa prejudicou as performances dos modelos.

Os fatores que influenciam as diferentes formas dos sólidos ao longo do fuste são: o sítio, a densidade do povoamento, a intensidade do vento que age sobre as copas das árvores e as intervenções silviculturais aplicadas aos povoamentos como os desbastes e as podas (Schneider, 1993). Com relação às

intervenções silviculturais, é preciso conhecer melhor seus conceitos e sua influência sobre a árvore e seus atributos.

## **2.4 Desbaste**

Dentre os objetivos principais de uma empresa florestal está a produção de sua matéria-prima, que é a madeira. Para alcançar esta produção, o desbaste se constitui em uma das operações mais importantes. Esta prática exige objetivos bem determinados em relação ao produto final e vai exercer influência em toda a história do povoamento, tanto no aspecto econômico quanto no aspecto qualitativo.

Vale et al. (1984) definiram desbaste como cortes culturais executados nos povoamentos ou núcleos imaturos, com os objetivos de melhorar o crescimento e a forma das árvores remanescentes, a fim de se obter, ao longo da rotação, madeira, sem, contudo, provocar aberturas permanentes na copa. Desbastes são cortes feitos em povoamentos jovens para estimular o crescimento de árvores remanescentes e incrementar a produção total de madeira comercializável.

Simões (1981) argumentou que há um consenso a respeito das operações de desbaste que devem ser realizadas para remover as árvores excedentes, para que se possa concentrar o potencial produtivo do povoamento em um número limitado de árvores selecionadas.

De acordo com este autor, as árvores a serem eliminadas devem ser as mortas, as dominadas e as defeituosas. As árvores remanescentes serão escolhidas de acordo com algumas características prévias em função do destino final da produção. A distribuição uniforme das árvores na área deve ser primada, mesmo que se tenha que eliminar alguns indivíduos promissores e deixar alguns indivíduos defeituosos.

Scolforo (1998) afirmou que o desbaste tem as seguintes finalidades: produção intermediária ao longo da vida da floresta; melhorar o padrão da floresta remanescente pela retirada de árvores de menor porte e defeituosas; promover a abertura de espaços entre as árvores, diminuindo a competição e, assim, possibilitando a retomada do crescimento; diminuir o estresse das árvores, como forma de proteção ao ataque de pragas e doenças e evitar a ocorrência de mortalidade.

Independente do conceito utilizado, é importante conhecer, isoladamente, a fisiologia da árvore e a interação dela com o ambiente. De acordo com Smith et al. (1997), o crescimento de milhares de árvores em povoamentos florestais ou de árvores ornamentais nas ruas das cidades requer um melhor conhecimento de como elas se desenvolvem individualmente.

Dentre os atributos das árvores que podem ser regulados estão o tamanho, a forma e a estrutura de seus fustes, bem como as suas características de ramificação. É preciso estudar o uso de desbaste para governar o aumento do crescimento do espaço de alocação para as árvores. Se uma árvore saudável ganhou mais espaço de crescimento pela eliminação de alguma de suas vizinhas (desbaste), as árvores remanescentes crescerão rapidamente, porém, serão mais cônicas e ramificadas. Se um dos lados das árvores é comprimido, os ramos mais baixos morrerão e, embora as árvores crescerão mais lentamente em diâmetro, os fustes serão menos cônicos. Os mesmos efeitos podem ser produzidos artificialmente, por podas de ramos vivos.

As árvores, como todas as plantas, capturam energia da luz solar e, por meio da fotossíntese, produzem carboidratos. Parte da energia produzida é usada para a respiração reunir os metabólicos básicos necessários para a vida das células. A energia remanescente é usada para o crescimento. Os silvicultores tentam influenciar o tamanho e a forma de cada árvore para alcançar o povoamento desejado, em estrutura e valor.

O total de carboidratos produzidos por uma árvore depende principalmente, do tamanho da sua copa ou da superfície foliar e da habilidade das raízes em suprir a folhagem. Quando uma árvore é liberada pelo corte de uma árvore competidora, qualquer aceleração imediata de crescimento é devido a um acréscimo de água e nutrientes fornecidos pelas raízes.

O total de folhagem não aumenta até que a copa tenha tempo para alargar-se. Nem toda superfície foliar é igualmente eficiente na fotossíntese. As folhas que são severamente expostas ao sol e vento produzem um pouco menos do que aquelas levemente protegidas. As folhas totalmente sombreadas fazem um pouco mais do que suprir elas mesmas. A parte da copa acima do ponto de fechamento horizontal, especialmente a porção média superior, produz muito mais do que qualquer outra parte e muito mais do que a folhagem muito próxima do topo da árvore.

As raízes estendem-se horizontalmente mais rapidamente do que a copa. Desde que elas não tenham que suportar ramos aéreos, a sua extensão não é limitada por necessidades estruturais. Elas podem estender-se por todo o solo plano se este meio estiver misturado ou em torno do sistema radicular de outras árvores.

O sistema radicular de uma árvore saudável é muito mais extenso do que a copa. Muitas espécies formam enxertos de raízes intra-específicos. Dessa maneira, é possível, para uma árvore, incorporar parte do sistema radicular de uma árvore adjacente que foi cortada.

Em alguns povoamentos homogêneos, as árvores que estão individualmente acima de uma determinada cota apresentam alguma evidência de um sistema radicular comum. Há algumas evidências, nos trópicos, de que espécies em povoamentos densos podem desenvolver enxertos de raízes funcionais interespecífico (Smith et al., 1997).

### **a) Prioridade na alocação de carboidratos**

De acordo com Smith et al. (1997), depois de muitas gerações de seleção natural, a alocação de carboidratos nas árvores aumentará, geralmente, a habilidade dessas árvores em sobreviver. Como algumas funções são mais cruciais do que outras, uma prioridade tabulada na alocação de carboidratos é aparente.

A respiração é a mais alta prioridade porque os outros tecidos vivos morreriam imediatamente sem ela. O total de superfície de copa é formado conforme as unidades de tecidos vivos; a exuberância será na proporção de carboidratos destinados para a formação de novos tecidos.

### **b) Efeitos do desbaste na copa das árvores**

O impacto que o desbaste causa no desenvolvimento da copa da árvore e na sua taxa de crescimento poderá influenciar, de forma significativa, na formação da madeira. Um dos efeitos do desbaste é um aumento no tamanho da madeira juvenil. Dependendo da proporção desta madeira juvenil no tronco, a madeira poderá ter baixa densidade e resistência, fibras curtas, alta contração longitudinal na secagem e alto teor de lignina (Malan & Hoon, 1992).

A resposta inicial ao desbaste é o aumento na folhagem fotossinteticamente ativa. A consequência da mudança na produção e alocação fotossintética reflete no aumento do número e tamanho dos galhos, no aumento do fuste e do afilamento e na estabilidade da árvore (Lewis & Ferguson, 1993).



### **c) Efeito do desbaste na forma do fuste**

De acordo com Smith et al. (1997), o fuste das árvores apresenta uma tendência de desenvolver um desenho de sua estrutura mecânica para suportar cargas verticais de seu próprio peso e cargas horizontais do vento. O desbaste parece possibilitar, que o melhor suprimento de carboidratos aproxime o fuste à forma de uma viga, de resistência uniforme em todo o seu comprimento.

Se o peso da árvore fosse a única carga, o fuste seria em forma de cone somente acima da base da copa. Mas, há sempre alguns efeitos da ação horizontal dos ventos, por isso o fuste desenvolve-se mais na base e, dessa maneira, assume a forma cônica da parabolóide modificada reconhecida nos trabalhos de mensuração.

Por outro lado, árvores com baixo vigor podem adicionar madeira somente em parte da circunferência ou podem até mesmo não adicionar um anel ao longo da base da árvore. A adição de madeira próximo à folhagem deu crédito para a hipótese de que a forma do fuste é controlada pela proximidade relativa da fonte de carboidratos na copa.

O crescimento de madeira na parte inferior do fuste concorda, como já visto, com o fato de que o crescimento do fuste é mecanicamente controlado em resposta ao dobramento. Ambos os tipos de respostas parecem estar relacionados em algum grau e são, em cada caso, governados pelo sistema hormonal complexo (Larson, 1963).

Igualmente, se o volume de madeira na porção mais baixa do fuste é constante, a espessura do anel anual decresce abaixo da copa viva, tanto quanto o diâmetro do fuste aumenta. Este é o resultado da similar expansão de material sobre os incrementos na circunferência. Se a área da seção transversal do anel é mensurada antes da espessura radial, ela parece ser uniforme ao longo do fuste,

porque a área da seção transversal é a mesma tanto quanto o volume, até uma determinada altura.

Ambos os fatores, juntos, resultam na existência de largos anéis próximos à base da copa viva em todas as árvores. Em árvores vigorosas, um segundo alargamento ocorre próximo à base, mas, em árvores de vigor pobre, os finos anéis ocorrerão próximos ao solo. Quando este padrão continua a ocorrer no tempo, as árvores dominantes desenvolvem fustes cônicos (e muito fortes); árvores que estão sobrepostas têm fustes mais cilíndricos (e muito fracos).

O efeito geral do desbaste é que a copa expande. Os ramos mais baixos vivem por longo tempo e tornam-se mais espessos em diâmetro, que degrada o valor da madeira produzida no fuste. Mas o aumento de folhagem produz também muito mais carboidratos.

Isso volta a produzir material estrutural que é depositado com o aumento do crescimento do diâmetro. Todavia, o crescimento do diâmetro é aumentado muito mais na porção mais baixa do que nas partes mais altas dos fustes, de forma que se tornam mais afilados (Smith et al., 1997).

## **2.5 Poda ou desrama**

Seitz (1995) definiu a poda como um termo generalizado que significa o corte tanto de ramos quanto de galhos. Embora esse conceito tenha uma conotação mais paisagística, o autor argumentou que nada impede que possa ser utilizado no corte de galhos de espécies florestais. De maneira prática, a poda, ainda, pode ser denominada de desrama, derrama ou desgalhamento.

A desrama, ou poda, pode ser de ocorrência natural ou artificial.

### **a) Desrama natural**

Quando os galhos perdem sua função cedo, como acontece nos povoamentos de *Eucalyptus* spp plantados em espaçamentos fechados, o crescimento radial engloba os tocos remanescentes dos galhos. Posteriormente, com o crescimento normal do tronco, os vestígios da presença de galhos desaparecem completamente. Este é o processo denominado desrama natural (Seitz, 1995)

A desrama natural é um processo que ocorre em árvores que crescem em povoamentos densos e se dá pela morte dos galhos da porção inferior da copa, em função do auto-sombreamento pelos galhos das porções médias e superiores. Para Hewley & Smith (1972), a poda natural se realiza lentamente durante a vida do povoamento florestal. Os autores enumeram três etapas no processo da poda natural: 1) morte do galho, 2) desprendimento dos galhos e 3) oclusão ou cicatrização do toco do galho.

### **b) Desrama artificial**

A desrama artificial é uma atividade de trato silvicultural que consiste no corte dos galhos vivos ou dos mortos que ainda não secaram, a fim de evitar a formação de nós mortos e a conseqüente perda de valor da madeira no mercado. De acordo com Hewley & Smith (1972), na poda artificial, extraem-se os galhos das árvores com o objetivo de aumentar a qualidade do produto final. Esta extração se dá de forma rápida, ao contrário da poda natural.

Esta operação influencia o crescimento da árvore, principalmente em diâmetro. A retirada de galhos até 40% da altura total de uma árvore pode ser

realizada sem efeito nenhum sobre a altura e o diâmetro. A partir deste limite, o diâmetro começa a ser comprometido e a altura apenas quando a retirada atingir 60% da altura total.

A poda artificial tem como objetivo econômico fundamental a produção de madeira limpa de maneira mais rápida que seria a poda natural. Esta atividade dificilmente dará bons resultados se for considerada isoladamente. Outros tratamentos silviculturais, como, por exemplo, os desbastes, devem ser realizados para se alcançar os objetivos.

Bennett et al. (1965), analisando o efeito da desrama em *Pinus elliottii*, concluíram que a retirada de 50% ou mais da copa afetou o crescimento das árvores em diâmetro de maneira significativa, enquanto a altura foi muito pouco ou nada afetada. Tal fato está relacionado à redução da capacidade de produção de carboidratos, essenciais ao crescimento.

A poda pode ser denominada de poda seca, quando os galhos eliminados estão secos ou poda verde, quando os galhos cortados estão vivos. A poda verde pode ser responsável pela redução do crescimento, principalmente em diâmetro, devido à redução da área fotossintética da planta.

A seqüência dos efeitos obtidos com o manejo da densidade dos povoamentos não é sempre eficiente para eliminar os galhos suficientemente cedo. Às vezes, é necessário valer-se da desrama artificial. Esta é uma operação cara e intensivamente trabalhosa, porém, ela é necessária por ser muito discriminante onde ela é feita.

Há casos em que pode ser possível e desejado substituir a poda verde pela poda natural, que é induzida pela copa. É possível ter novas plantas em espaços muito amplos, com um pequeno número de ramificações pela aplicação drástica da poda verde, prevenindo a formação de troncos cônicos (Smith et al., 1997).

Finger et al. (2001) avaliaram o efeito da intensidade da desrama sobre o crescimento de *Eucalyptus saligna*, utilizando quatro tratamentos. O espaçamento de plantio foi de 4 x 1,5m e os tratamentos foram: 1) sem desrama (testemunha), 2) desrama até 40% da altura total da árvore, 3) desrama até 60% da altura total da árvore e 4) desrama até a 80% da altura total da árvore. Os resultados mostraram que não houve efeito dos tratamentos sobre o crescimento. Com esse resultado, os autores afirmaram que, para o caso de árvores novas de *Eucalyptus saligna*, é possível, em uma única operação, deixar 8,8m de fuste para crescer livre de nós em árvores com altura média de 11m.

A aplicação da desrama desde o início da vida do povoamento induz a uma maior formação de madeira “clear” porque reduz a ocorrência de nós a uma pequena área no centro do tronco (Carpinelli, 2002)

## **2.6 Predição presente e futura do crescimento e da produção florestal a partir da modelagem dos atributos do povoamento**

Segundo Scolforo (1998), o uso de modelos é uma forma lógica de se expressar o crescimento ou incremento (acréscimo do elemento dendrométrico considerado) e a produção (crescimento acumulado). Tais modelos podem ser caracterizados por gráficos, por tabelas, por gráficos e tabelas, por uma equação ou um conjunto de equações, ou um conjunto de submodelos, cada qual com uma ou mais equações.

Os modelos de produção expressam diferentes sistemas silviculturais e podem ser classificados de acordo com as populações para as quais a predição é possível, da seguinte maneira:

- modelos para florestas plantadas: não desbastadas ou desbastadas;
- modelos para florestas nativas: de diferentes idades, de mesma idade, homogênea ou mista.

A produção pode ser expressa de várias maneiras, dependendo das variáveis envolvidas, podendo ser considerada a seguinte ordem de evolução:

- modelos que apresentam estimativas no âmbito do povoamento (globais): modelo de produção normal; modelo de produção empírico e modelo de densidade variável;
- modelo de produção por classe diamétrica;
- modelo de árvores individuais: independentes da distância e dependentes da distância.

Dentre os tipos de modelos considerados anteriormente, os de produção por classe diamétrica fornecem informações mais detalhadas do que os globais. As informações são detalhadas por classe de diâmetro e proporcionam a predição do número de árvores por hectare e por classe de DAP. Os dados gerados, então, são utilizados em conjunto com equações que estimam a altura média por classe de DAP, o volume e ou função de forma da árvore individual, para calcular a produção por classe de DAP e por hectare (Scolforo, 1998).

Abreu et al. (2002) modelaram os atributos da floresta, como sítio, sobrevivência, relação hipsométrica genérica, diâmetro mínimo, diâmetro máximo, variância dos diâmetros, área basal e média aritmética dos diâmetros, além de ajustarem as Funções Beta, Weibull e  $S_b$  por vários métodos de ajuste, a fim de avaliar a veracidade das prognoses e a eficiência dos modelos para realizá-las precocemente. O trabalho foi desenvolvido em fases, sendo a primeira constituída da classificação de sítio, a segunda pelo desenvolvimento ou seleção de modelos dos atributos do povoamento, a terceira pelo ajuste e seleção das distribuições diamétricas, a quarta pela seleção de modelos hipsométricos e as funções para a estimativa do volume e a quinta fase, a prognose da produção.

Para se determinar a precisão da prognose, foi feita a prognose presente para as parcelas em sua primeira medição e a prognose futura para as mesmas

parcelas, nas idades nas quais elas foram remedidas. As conclusões mostraram que as equações selecionadas para os atributos do povoamento propiciaram estimativas precisas das variáveis avaliadas; a função Weibull ajustada pelo método dos momentos foi mais precisa que as distribuições Beta e  $S_b$ ; a prognose precoce mostrou-se eficiente na estimativa de volume, com erros médios de 2,39% e 4,82% nas estimativas do volume nos índices de sítio de 25,5m e 28,5m, respectivamente.

### **2.6.1 Modelos para árvores individuais**

Um método alternativo de predição de crescimento e produção que tem recebido considerável atenção hoje é o uso de modelos computacionais de árvores individuais. Nesses modelos, para as árvores individuais, em um povoamento, são atribuídos determinados tamanhos e distribuição espacial.

Assim, as árvores são, então, “crescidas” de acordo com alguma função de seu tamanho, sítio, seu status competitivo e um componente aleatório representando o micro sítio e ou a variabilidade genética. O status competitivo de cada árvore é quantificado em termos de um índice de competição, que é função do tamanho da árvore e do tamanho e distância dos seus competidores. A mortalidade é regulada como uma função do índice de competição e ou crescimento. A estimativa do volume pode ser realizada periodicamente pela aplicação de uma equação de volume conhecida para as dimensões das árvores (Curtis, 1972).

O primeiro modelo foi proposto por Newnham (1964) e não levou em consideração o crescimento em altura.

Desde o trabalho de Newnham, diversos outros têm sido desenvolvidos. Mitchell (1969) desenvolveu um simulador para “white spruce” baseado no crescimento dos galhos e na expansão da copa de árvores individuais. Vários

outros trabalhos foram desenvolvidos procurando acrescentar variáveis aos modelos para melhorar a acuracidade.

Por causa de seus detalhes e da sua flexibilidade os modelos por árvores individuais são promissores nas análises e, talvez, nas alternativas de otimização silvicultural.

#### **a) Índices de competição**

O ponto central, em todos os modelos por árvores individuais, é o índice de competição que é usado para determinar o crescimento e a mortalidade durante a simulação. Este índice quantifica o estresse competitivo experimentado pela árvore individual e, em muitos casos, é considerado como o indicador de competição por fatores como luz, água, nutriente e espaço de crescimento (Daniels e Burkhart, 1975).

De acordo com Scolforo (1998), com o desenvolvimento e a acessibilidade aos computadores, os modelos de crescimento que se baseiam em árvores individuais vêm tendo seu uso incrementado, principalmente nos Estados Unidos. No Brasil, os estudos de crescimento são incipientes, não se tendo, ainda, informações do desenvolvimento de qualquer modelo de crescimento e produção para árvores individuais.

Os modelos de árvores individuais se dividem em:

#### **b) modelos para árvores individuais independentes da distância**

Nesse caso, os dados de entrada são relativos às árvores individuais, não considerando seu espaçamento ou distanciamento em relação às demais árvores que compõem a população. Esses modelos assumem uma forte correlação entre



as variáveis do povoamento e o status competitivo da árvore. O método é aplicado freqüentemente para plantios de mesma idade (Scolforo, 1998).

### **c) modelos para árvores individuais dependentes da distância**

Esses modelos levam em consideração a distância entre as árvores. As informações são mais detalhadas que o caso anterior, porém, necessitam de uma base de dados mais detalhada (Scolforo, 1998).

De acordo com Scolforo (1998), o primeiro modelo de povoamento baseado em simulação de árvores individuais foi desenvolvido por Newnham, em 1964. A partir de então vários modelos ou seus componentes foram desenvolvidos, tais como os de Biging & Dobbertin (1992), Burkhart et al. (1987), Daniels & Burkhart (1975), Ek & Monsured (1974), Tomé & Burkhart (1989), Vanclay (1991) dentre outros.

## **2.7 Processamento de madeira em serraria**

A produtividade da serraria é influenciada por fatores como a característica da matéria-prima, qualidade e tipo de equipamento, tamanho da planta e os tipos de produtos a serem produzidos.

Para a obtenção de maiores retornos, alguns princípios precisam ser observados, tais como o aumento da produtividade da mão-de-obra, a eficiência do sistema de manutenção, a redução no consumo de energia, o aumento no rendimento da matéria-prima e a localização da planta próximo à fonte de matéria-prima (Hand, 1975).

### 2.7.1 Rendimento do desdobro de toras

Gomide (1974) definiu o rendimento de uma serraria como sendo dado pela seguinte fórmula:

$$R = \left( \frac{M}{T} \right) * 100$$

em que:

R = rendimento da serraria em percentagem.

M = volume de madeira serrada em m<sup>3</sup>.

T = volume de toras, em m<sup>3</sup> com casca, necessários para obter-se M.

A eficiência da serraria é que vai determinar o rendimento no desdobro de toras. Essa eficiência é obtida por meio do volume de tora desdobrada por operário em um dado período de tempo, podendo ser calculada pela seguinte fórmula:

$$E = \left( \frac{M}{O} \right)$$

em que:

E = eficiência da serraria em m<sup>3</sup>/operário/dia.

M = volume das toras, em m<sup>3</sup>, desdobradas em um dia.

O = número de operários que trabalham dentro da serraria.

De acordo com Gomide (1974), algumas razões influenciam no favorecimento de grandes eficiências, tais como o uso de coníferas (por possuírem madeiras leves, macias e retas) o esquema de montagem da serraria, a uniformidade da matéria-prima e dos produtos, o maquinário novo e em perfeitas condições, a grande disponibilidade de energia para movimentação da serraria e a mecanização e a automatização de grande parte do trabalho.

Ainda de acordo com Gomide (1974), são consideradas serrarias pequenas aquelas com capacidade de processar até 50m<sup>3</sup> de toras por dia. São

consideradas serrarias médias aquelas com capacidade de processar entre 50 e 100m<sup>3</sup> de toras por dia. As serrarias consideradas de grande porte são aquelas com capacidade de processar mais de 100m<sup>3</sup> de toras por dia.

A heterogeneidade de forma e dimensões leva o operador a ter que tomar decisões pessoais durante o processamento da madeira. As causas de perdas estão relacionadas à fadiga, à desatenção e à falta de conhecimento ou de habilidade dos operadores (Steele, 1984).

O rendimento do desdobro de toras em produtos acabados sofre variações com o tipo e tamanho da indústria madeireira, com as espécies utilizadas e com as características dos produtos beneficiados (IBDF, 1984; Peixoto & Iwakiri, 1984).

Segundo Gomide (1974), o rendimento considerado normal para coníferas está entre 55% e 60% e, para folhosas, entre 45% e 55%. Já para Tavares (1988), o rendimento de uma serraria esteve em torno de 40%, embora, no Brasil, a qualidade da matéria-prima limite o alcance deste percentual.

Mello (1978), comparando o rendimento no desdobro entre serra de fita e serra de quadro, verificou que o rendimento foi de 59,3% e 53,2%, respectivamente.

Santos (1986), estudando as indústrias madeireiras do estado do Amazonas, relatou que o rendimento médio de desdobro para as serrarias da região foi de 52,8%. O autor também constatou diferenças significativas no rendimento médio entre as serrarias de pequeno, médio e grande porte. O maior rendimento das maiores serrarias foi associado com a capacidade de aquisição de matéria-prima de qualidade superior, melhores equipamentos e maior qualificação da mão-de-obra.

Martins (1996), estudando o rendimento do desdobro de toras (transformação da madeira em tora para madeira serrada) em três serrarias do município de Jarú (Rondônia), para 15 espécies florestais, concluiu que os

maiores rendimentos utilizando-se peças de qualidade superior foram de 72,20% para garrote, 69,08% para freijó e 66,09% para cedro. Os menores rendimentos foram apresentados pelas espécies jité, cabriúva e roxinho, com rendimentos de 28,04%, 34,80% e 34,85%, respectivamente. Em termos médios, os maiores rendimentos foram do cedro (24,34%) e roxinho (22,17%) e os menores rendimentos foram do angelim (6,60%) e do jité (6,74%).

Os principais resíduos das serrarias são as costaneiras e o pó de serra. Também são gerados cavacos, pontas e maravalhas, pela aparação de peças para padronização das medidas. As peças defeituosas são total ou parcialmente eliminadas. Com relação às laminadoras, o resíduo mais freqüente é composto por lâminas iniciais que saem dos tornos com defeitos decorrentes dos formatos das toras (Martins, 1996).

### **2.7.2 Relação entre as dimensões da árvore ou da tora com o rendimento na serraria**

Abordando a relação de produção em função do volume de toras, SUDAM (1981) concluiu que as relações de produção devem ser feitas em função do volume e não do diâmetro. De acordo com essa publicação, quanto maior for o volume bruto da tora, maior será o rendimento na produção total de serrados.

Estes resultados discordam dos encontrados por Schroeder & Hanks (1967), Schroeder, Campbell e Rodenbach (1968), Adams & Dummire (1977), Yanssey (1983), entre outros, que encontraram correlação significativa do diâmetro com o rendimento do desdobro de toras.

De acordo com SUDAM (1981), o comportamento do rendimento é muito diferenciado entre e dentro das espécies, indicando a necessidade de pesquisas mais aprofundadas para determinar as melhores formas de processamento, levando em consideração: 1) condições de sanidade da tora, 2)

tempo e modo de estocagem de toras e 3) tipo de corte em face das tensões internas a que as toras estão sujeitas.

Leite (1994) relatou que o rendimento de uma serraria está intimamente relacionado com o comprimento da tora.

Barchet (2002) encontrou correlação positiva do rendimento com o diâmetro e negativa do rendimento com a conicidade da tora, ainda que essas correlações não fossem estatisticamente significativas.

As toras mais volumosas apresentam maior rendimento na serraria, porém, as toras com menor conicidade apresentam maior rendimento que aquelas de maior conicidade (Barchet, 2002).

De acordo com Barchet (2002), o comprimento da copa da árvore é afetado pela idade e o manejo do povoamento, com diferentes intensidades de desbastes. Esse fato vai interferir na forma do tronco, de maneira que, quanto maior o comprimento da copa, maior a tendência de aumento da conicidade.

A conicidade das árvores submetidas a desbastes no início do desenvolvimento do povoamento é uma consequência natural dos ajustamentos que os indivíduos sofrem. A maior desvantagem da conicidade das árvores está relacionada à utilização do produto final.

No caso de serrarias, haverá excesso de costaneiras. O excesso de conicidade pode inviabilizar a utilização da árvore para a produção de postes por impor limitações no seu comprimento.

### **2.7.3 Utilização de modelagem na estimativa do rendimento do desdobro de toras**

SUDAM (1981) testou o rendimento de 30 espécies de árvores nativas da Amazônia que têm suas madeiras usadas em serraria. Foram testadas equações de primeiro e segundo grau para as seguintes estimativas do: volume serrado total em função do volume bruto, volume de tábuas de primeira

qualidade em função do volume serrado, volume de tábuas de segunda qualidade em função do volume serrado e volume de tábuas de terceira qualidade em função do volume serrado.

Foram selecionadas 116 equações com o coeficiente de determinação ( $R^2$ ) variando de 0,14 a 0,97. O produto final foi uma tabela de rendimento de tábuas classificadas em 3 categorias.

As conclusões do trabalho da SUDAM apontaram que as análises de rendimento, em percentagem, são enganadoras, pois a comparação é feita em termos relativos e não em termos absolutos.

Na literatura internacional, estes trabalhos existem e são usados como componentes de sistemas computacionais para estudos que visam, entre outras coisas, à estimativa de produtos na serraria. Eles simplesmente determinam o grau de rendimento das toras como uma porcentagem do rendimento total.

No desenvolvimento de um dos primeiros métodos utilizando fórmulas, o método internacional, Clark (1906) incluiu uma compensação no modelo para os problemas de contração durante a serragem e secagem da madeira. Ele demonstrou que esta compensação é proporcional à área da seção transversal da tora ou o quadrado do diâmetro. Compensações para a forma roliça das toras, tortuosidade, curvatura, costaneiras e aparas são proporcionais à área superficial da casca ou o diâmetro ao longo do comprimento.

O trabalho de Clark (1906) forma a base para outras análises comparando os métodos empíricos com os modelos.

Schumacher & Jones (1940) aprofundaram-se no trabalho de Clark e concluíram que um modelo lógico e trabalhável para estimar a recuperação de tábuas ou outras variáveis de interesse, tais como tempo de serragem, pode ser descrito como no seguinte modelo:

$$Y = b_1L + b_2DL + b_3D^2L$$

em que:

Y = variável de interesse ou variável dependente;

D = diâmetro da tora (polegadas);

L = comprimento da tora (pés);

$b_n$  = parâmetros.

Este trabalho foi idêntico ao de Clark (1906). A única diferença entre os dois trabalhos, é que Schumacher & Jones utilizaram dados reais na estimativa dos parâmetros.

O modelo específico desenvolvido por Schumacher e Jones é eficiente quando se deseja modelar o tempo de serragem para toras individuais, o volume total de tábuas e ou alguma medida bruta de rendimento para toras individuais. Porém, quando se deseja modelar o rendimento de vários tipos de tábuas e incluir o efeito do tipo de tora, o modelo precisa ser expandido (Howard, 1985).

Procurando melhorar a eficiência dos modelos, Vaughan et al. (1966) desenvolveram um sistema no qual as toras eram classificadas de acordo com as tábuas que deveriam gerar.

Este trabalho foi reconduzido por Hanks et al. (1980), que incluíram novos dados à base original. Os resultados foram tabulados por tipo de tora e foram expressos como uma percentagem do rendimento total de tábuas.

Outros exemplos de trabalhos semelhantes foram conduzidos na literatura internacional, sempre tentando prever o rendimento e a produção de tábuas usando dados de rendimento da serraria.

Howard (1985) utilizou diversas sub-rotinas como componentes de um programa de computador para fornecer dados de rendimento na serraria, custos e rentabilidade de toras que seriam vendidas em leilões.

Pesquisando a modelagem para rendimento de serrarias, Yanssey (1983) incluiu no modelo, variáveis dummy para tipo de tora e adicionou também uma variável que representasse um grau de defeito na tora. Seu modelo, então, foi representado da seguinte forma:

$$LGY_i = f(D^2L, DL, L, DEF, G)$$

em que:

LGY<sub>i</sub> = rendimentos de tábuas tipo “i”;

D = diâmetro da tora (polegadas);

L = comprimento da tora (pés);

DEF = defeito expresso como um percentual da medida bruta;

G = tipo de tora

Rast (1974) desenvolveu modelos para estimar o tempo de serragem para toras de madeiras duras. Seu trabalho constou de estudos de tempo em 20 serrarias. A amostra foi constituída de 18 espécies e 6.850 toras. O tempo de serragem foi definido como sendo o intervalo de tempo compreendido entre o momento em que a tora começa a se movimentar até o momento em que o carro libera as tábuas voltando para receber outra tora. O coeficiente de determinação para esta modelagem foi 0,72. Os diversos modelos já utilizados para estimativa do rendimento e do tempo de serragem estão resumidos na Tabela 1.1.



**TABELA 1.1** Modelos utilizados para estimativa de tempo e rendimento nas atividades da serraria.

Variável dependente	Modelo geral	Autores
Tempo de serragem	$Y = f(D, D^2L, L^2)$ (1)	Rast (1974)
Rendimento de tábuas		
Rendimento (%)	$Y = f(D)$	Schroeder & Hanks (1967)
Rendimento de tábuas	$Y = f(D, D^2L)$	Adams & Dunmire (1977)
Tempo de serragem		
Rendimento de tábuas	$Y = f(D, D^2L)$	Hanks (1973), Hanks & Brisbin (1978), Mueller & Berger (1963)
Tempo de serragem		
Rendimento por tipo (%)		
Rendimento de tábuas	$Y = f(D, \text{Log gran})$	Hanks & Swanson (1967), Estep & Hunte (1964)
Rendimento (%) por tipo	$Y = f(D, 1/D)$	Schroeder et al. (1968)
Rendimento de tábuas e	$Y = f(1/D, 1/D^2)$	Bruce (1970), Schumacher & Jones (1940)
Tempo de serragem		
Rendimento de tábuas por	$Y = f(1/D, 1/D^2), \text{ defeito,}$	Yanssey (1983)
tipo	tipo de tora	

em que:

D = diâmetro da tora;

L = comprimento da tora.

#### 2.7.4 O desdobro de toras de eucalipto para a produção de serrados

Ramos (1973), pensando em utilizar os recursos dos incentivos fiscais para fins de reflorestamento no plantio de eucalipto para a produção de tábuas, buscou conhecer a experiência da África do Sul nesta situação. Naquela época, a maior serraria daquele país tinha a capacidade de serrar 1,7 milhão de m<sup>3</sup> de toras/ano. As pequenas serrarias sul-africanas (com capacidade de serrar 42 mil m<sup>3</sup>/ano) estavam sendo substituídas por plantas modernas capazes, de serrar até 500 mil m<sup>3</sup>/ano.

Os primeiros plantios de eucalipto visando à produção de madeira para a serraria, foram realizados por Craib no ano de 1939, com espaçamento inicial de 2,7 por 2,7m e com um desbaste inicial severo. Foram realizadas podas dos ramos vivos a fim de se evitar a formação de nós. As podas chegavam até 6,7 metros em árvores que atingiam altura por volta de 14 metros (Ramos, 1973).

Baena (1982) estudou a utilização de duas espécies de eucalipto (*Eucalyptus saligna* e *Eucalyptus grandis*) jovens na confecção de sarrafos. Os resultados mostraram que, em relação aos defeitos, as maiores proporções de perdas foram devido às rachaduras, principalmente as de topo, influenciadas pelas tensões de crescimento. O *Eucalyptus grandis* apresentou maiores proporções de perdas por rachaduras do que o *Eucalyptus saligna*, sugerindo que a primeira espécie apresentava maiores forças internas de tensão de crescimento.

Freitas & Neto (1993) conseguiram rendimentos que variaram de 42% a 50%, de acordo com a classe de diâmetro. Eles utilizaram toras de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna*. De acordo com os autores, a produtividade depende muito do diâmetro da tora. A mudança da classe de diâmetro de 15 a 20cm para a classe de 20 a 25cm proporcionou uma produtividade de 106% maior.

Ponce (1997) argumentou que o processamento mecânico da madeira de eucalipto é dificultado em função de suas características intrínsecas, como tensões de crescimento, presença de madeira juvenil em elevada quantidade, colapso, nós, empenamento, bolsas de resina e variabilidade das propriedades.

No caso do uso da madeira de eucalipto para a produção de móveis, o trabalho de SENAI/CETEMO (1998) conduziu testes para estudar o comportamento da madeira de *Eucalyptus grandis*, em condições de trabalho, sob a ação de ferramentas de corte e nos processos de colagem e pintura. Os resultados mostraram que a madeira desta espécie pode ser utilizada para a fabricação de móveis, pois é compatível com os produtos usuais no mercado.

De acordo com Simula & Tissari (1998), as oportunidades de mercado com a madeira de eucalipto apontam para a produção de madeira serrada, MDF, compensados, painéis colados e assoalhos. Para os autores, o ponto a ser considerado no marketing para alcançar a exportação de produtos de eucalipto é identificar as vantagens comparativas e indicar os melhores usos da madeira, porém, as vantagens comparativas não devem estar baseadas apenas no custo de produção, mas também no “grade” de qualidade do produto que se oferece.

Barchet (2002), estudando a potencialidade de espécies de eucalipto para a produção de madeira serrada, encontrou rendimentos de 62,77% de toras sem cascas, já descontadas as perdas por rachaduras. Já Carpinelli (2002), estudando o rendimento no desdobro e a produtividade em madeira serrada de uma floresta de *Eucalyptus grandis*, encontrou rendimentos que variaram de 33% a 61%.

Os principais defeitos apresentados pela madeira de eucalipto no processamento, considerando-se o custo de produção, são a rachadura de topo, a fissura de compressão, nós soltos, arqueamento, bolsa de resina, encanoamento, fendilhamento e colapso (Otte, 2001).

As tensões de crescimento causam vários defeitos na madeira, dentre eles, os que causam prejuízos econômicos são os que afetam a integridade do

lenho da árvore, uma vez que parte dela se torna inaproveitável para usos mais nobres (Santos, 2002).

Ainda de acordo com Santos (2002), pode-se afirmar que os efeitos mais drásticos associados às tensões de crescimento são as rachaduras de extremidade das toras, as rachaduras e empenamentos de peças serradas, cerne quebradiço, rendimentos industriais mais baixos e redução das dimensões finais das peças, implicando, ao final do processo, em perdas na qualidade e no lucro.

## **2.8 Qualidade e valorização da madeira serrada**

### **2.8.1 Normas para a classificação de madeiras serradas**

A aceitação de um produto no mercado está vinculada às normas que regem sua padronização. No mercado madeireiro, a exigência é grande, uma vez que a qualidade do produto está diretamente ligada à segurança de seu uso final. Madeira para a fabricação de móveis, escoras para construção civil, postes, estruturas, etc. precisam estar dentro de padrões mínimos de qualidade para cada finalidade.

A classificação de madeiras serradas vem sendo desenvolvida por países que consomem esses produtos. Em muitos países, a madeira é reconhecida como material de engenharia (Zenid, 1996).

No Canadá, NLGA (1982) relatou que, no início do século XIX, o mercado de exportação de White Pine do leste canadense começou a crescer e se expandir. O crescimento nas exportações foi acompanhado pelo aumento do consumo interno. Com isso, notou-se a necessidade de um sistema para normatizar e uniformizar os produtos para satisfazer o comprador e o vendedor. O primeiro dispositivo regulador foi chamado de “Albany Inspection” e foi elaborado em 1870.

Nos Estados Unidos, a experiência com a classificação de madeiras remonta a 1898, trabalho que está a cargo da “National Hardwood Lumber Association” (NHLA, 1982).

### **2.8.2 Normas brasileiras para a classificação de madeiras serradas**

A primeira iniciativa brasileira de instituir normas para madeiras serradas foi a publicação de Especificações para a Classificação do Pinho Serrado (para madeira de *Araucaria angustifolia*). Na década de 1970, com o aumento das exportações de mogno e virola, que passaram a ser mais significativas que o pinheiro, o Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal (IBDF) adotou as normas para madeiras duras da NHLA, traduzidas e publicadas pelo IPT em 1972 (Zenid, 1996).

Em 1983, o IBDF desenvolveu um manual de normas para a classificação de madeira serrada de folhosas. O objetivo era ampliar e aprofundar as condições de comercialização e industrialização das madeiras tropicais. De acordo com IBDF (1983), a participação de consumidores internacionais na elaboração do documento se deu pela utilização como texto base do Manual de Regras para a Classificação da Madeira Serrada da África. A norma estabelece a qualidade mínima exigida de uma peça de madeira para as várias classes de qualidade, servindo de base para o estabelecimento do contrato final de compra e venda da madeira.

#### **a) Dimensões**

As unidades empregadas de acordo com IBDF (1983) foram as do Sistema Internacional para as seguintes dimensões: espessura e largura em

milímetros (mm), comprimento em metro (m), superfície em metro quadrado ( $m^2$ ) e volume em metro cúbico ( $m^3$ ).

#### **b) Espessura**

Para o mercado geral, as espessuras nominais a um teor de 20% de umidade são: 12; 16; 19; 22; 25; 32; 38; 44; 50; 57; 63; 75 e 100mm. Para mercados especiais, as espessuras são especificadas em cada caso.

#### **c) Largura**

Salvo especificações em contrário, as larguras são números múltiplos de 25mm.

#### **d) Comprimento**

Os comprimentos são calculados como múltiplos de 0,30m, a partir de um mínimo especificado nas diferentes classes do Mercado Geral ou dos Mercados Especiais. O comprimento máximo nominal é de 6,00m.

### **2.8.3 Métodos de classificação**

Para determinar a classe de qualidade de uma peça de madeira, utilizam-se critérios precisos com base em uma ou mais faces da peça. A classificação pode ser realizada com base em:

• **rendimento de cortes limpos:** os cortes limpos são cortes livres de defeitos ou com alguns defeitos tolerados em certas classes de qualidade e determinadas espécies;

. **classificação baseada nos defeitos da peça:** o princípio desta classificação se baseia no número e na importância dos defeitos encontrados em toda a peça (IBDF, 1983).

Em 1986, o Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT) publicou a tradução revista e ampliada das Regras NHLA para a medição e classificação de madeiras duras serradas. De acordo com IPT (1986), as madeiras duras (referentes às árvores angiospermas/dicotiledôneas) são classificadas de forma diferente em relação às madeiras moles (referentes às árvores gimnospermas). Em geral, as madeiras moles são classificadas considerando-se a peça inteira. As madeiras duras são classificadas conforme as áreas utilizáveis, excluindo-se partes indesejáveis, como nós, manchas, furos de inseto, etc.

#### **2.8.4 Normas para classificação de madeira serrada de eucalipto**

Em 1996, o conselho deliberativo da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) criou o Comitê Brasileiro de Madeiras, para elaborar normas para a classificação de madeira serrada de eucalipto proveniente de florestas plantadas. Tal classificação foi concluída e publicada em fevereiro de 2002, pela NBR 14806, com o título Madeira Serrada de Eucalipto – Requisitos. As terminologias desta norma seguem as definições da NBR 12551 de 2002.

As dimensões das peças, como espessura, largura e comprimento, seguem a seguinte norma:

##### **a) Espessura**

As espessuras nominais devem ser as seguintes: 12; 16; 19; 22; 25; 32; 36; 38; 40; 44; 50; 63; 75 e 100mm.

## **b) Largura**

As larguras nominais devem ser medidas em múltiplos de 5mm.

## **c) Comprimento**

O comprimento nominal das peças deve ser de 1,80m, com incrementos de 0,30m. No caso de peças com comprimento menores que 1,80m, são classificadas como curtos.

Para madeira serrada de eucalipto, são consideradas pela ABNT cinco classes de qualidade. A primeira, a segunda e a terceira classes não permitem a presença da maioria dos defeitos e as dimensões da peças são de 1,80m de comprimento e 100mm de largura. A quarta e quinta classes são formadas por peças de 1,80m de comprimento e 75mm de largura, comportando vários graus de defeito (ABNT, 2002a).

A norma NBR 14807, de fevereiro de 2002, especifica as dimensões de peças de madeira serrada, para uso geral, por meio de intervalos de valores, como mostrado na Tabela 1.2.



**TABELA 1.2** Nome e dimensões (mm) das peças de madeira serrada.

Nome da peça	Espessura (mm)	Largura (mm)
Pranchão	De 71 a 161	161 e acima
Prancha	De 39 a 70	161 e acima
Pranchinha	38	100 e acima
Viga	De 40 a 80	De 81 a 160
Caibro	De 40 a 80	De 50 a 80
Tábua	De 10 a 37	100 e acima
Sarrafo	De 21 a 39	De 20 a 99
Ripa	De 10 a 20	De 20 a 50
Ripão	De 15 a 20	De 51 a 70
Pontalete	De 70 a 80	De 70 a 80
Quadrado	25	25
Quadrado		100 e acima

Fonte: ABNT (2002b).

### 2.8.5 Principais defeitos encontrados na madeira serrada de eucalipto

De acordo com as normas técnicas, o que vai definir a classe dos produtos da madeira serrada de eucalipto são a presença e o número de defeitos que o produto apresentar. Sendo assim, são apresentados os principais defeitos e suas implicações no produto. As especificações foram retiradas da norma NBR 12551 de 2002, Terminologia para Madeira Serrada da ABNT.

- a) **Nós:** Parte de um galho ou ramo inserido no lenho durante o crescimento da árvore, constituído por um tecido lenhoso, cujos caracteres diferem daqueles da madeira que o circunda.

Sobre este defeito, Wardlaw (2000) afirmou que, na região da medula da árvore, tem início a formação do nó que vai no sentido centro-periferia. Assim,

uma série de desvios é imposta ao tecido lenhoso do tronco. Os nós estão integrados ao tecido lenhoso, mas podem alterar o sentido da grã na madeira. Mohmed (2000) argumentou que, para o caso do eucalipto, os nós de dimensões menores estão localizados próximos à base da árvore, ao passo que a parte superior detém a maior quantidade de nós maiores. Sendo assim, a quantidade de nós varia de acordo com altura no tronco.

As operações de desrama artificial minimizam a presença de nós e das podridões da madeira relacionadas à sua presença, em todo o volume comercial do tronco. Com isso, há aumentos no rendimento de madeira serrada de qualidade superior (Carpinelli, 2002), permitindo que a mesma alcance maiores valores no mercado de madeira serrada.

- b) Encurvamento:** empenamento longitudinal da face, curvatura ao longo do comprimento da peça de madeira num plano perpendicular à face.
- c) Encurvamento complexo:** encurvamento caracterizado por mais de uma curvatura.
- d) Encanoamento:** empenamento transversal da face, curvatura ao longo da largura de uma peça de madeira.
- e) Arqueamento:** empenamento longitudinal das bordas, curvatura ao longo do comprimento da peça de madeira, num plano paralelo à face.
- f) Torcimento:** empenamento helicoidal ou espiral, no sentido do eixo da peça de madeira.
- g) Esmoado:** ausência de madeira, originada por qualquer motivo, na quina da peça de madeira; quina morta.
- h) Furo de inseto:** perfuração na madeira, causada por inseto.
- i) Racha:** separação dos elementos constituintes da madeira paralelamente à grã.

Malan (2000) testou a qualidade da madeira serrada de híbridos de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*, com foco, principalmente, na qualidade das tábuas e como elas são afetadas por fatores como: rachadura, cerne quebradiço, distorção na tábua, nós e densidade da madeira. O resultados mostraram que as rachaduras nas pontas das toras não tiveram correlação com as rachaduras nas tábuas. Em comparação com a madeira de *Eucalyptus grandis*, a madeira do híbrido apresentou maior densidade, isto é um importante atributo em determinados usos. As demais características estudadas foram consideradas herdáveis e podem ser melhoradas geneticamente.

#### **2.8.6 Madeira de eucalipto de alta qualidade**

A madeira de eucalipto de alta de qualidade vem sendo produzida pela Aracruz Produtos de Madeira S.A., com o nome comercial Lyptus<sup>®</sup>. A empresa investiu cerca de US\$50 milhões para uma produção de 75.000m<sup>3</sup>/ano, no Sul da Bahia. O padrão de qualidade admite cinco classes e, de acordo com Carvalho (2000), os preços praticados em função dos defeitos foram:

- a) **classe 1:** o preço praticado foi de US\$700.00/m<sup>3</sup>. Neste caso, as peças são 100% livres de defeitos;
- b) **classe 2:** o preço praticado nesta classe foi de US\$600.00/m<sup>3</sup>. O defeito permitido, neste caso, é a presença de nós na face reversa;
- c) **classe 3:** nesta classe, o preço praticado foi de US\$450.00/m<sup>3</sup>. Os defeitos permitidos são nós na parte reversa e apenas 1 nó na melhor face;
- d) **classe 4:** o preço para esta classe foi de US\$340.00/m<sup>3</sup>. Permite-se, neste caso, a presença de nós até que no sarrafeamento obtenha-se um mínimo de 66% de peças livre de defeitos;
- e) **classe 5:** nesta classe, o preço praticado foi de US\$150.00/m<sup>3</sup>. É permitida, além de nós, a presença de medula nas peças.

Como pôde ser observado, a presença de defeitos causa perdas significativas no valor das peças serradas. Este fato precisa ser levado em consideração por tratar-se de um importante fator que vai afetar o resultado econômico da empresa. A remuneração da madeira de melhor qualidade deve ser suficiente para cobrir os custos extras das práticas silviculturais de preparação do povoamento para produzir madeira livre de defeitos, como no caso de emprego de desbastes e podas, além dos custos de secagem da madeira em estufas, a fim de reduzir possíveis defeitos de secagem.

O valor da madeira no mercado vai ser mais dependente da presença ou não de defeitos do que das variações que essa madeira possa vir a apresentar, relacionadas às suas propriedades físicas e mecânicas (Miranda, 1997).

#### **Incidência de nós**

No mercado, as tábuas livres de nós e de qualquer outros problemas recebem o nome de madeira “clear”, que significa madeira isenta de defeitos que incluem os próprios nós, as podridões, as manchas e os defeitos relacionados a deformações estruturais.

### **2.9 Custo do processamento da madeira**

No Brasil, ainda se utilizam serrarias convencionais em muitos casos, mesmo diante de técnicas modernas de desdobro de toras (Moosmayer, 1984). Esse maquinário gera custos diferentes quando se desdobram toras de pequenos ou grandes diâmetros, gerando sérios prejuízos à produção final (Fronius, 1975).

Tavares (1988), analisando as técnicas de desdobro de toras, do ponto de vista econômico, concluiu que, para maximizar os lucros, deve-se adequar as estruturas de corte de acordo com a disponibilidade de matéria-prima. Em seu trabalho, o autor dividiu os custos da serraria em quatro partes. Em todas foram

considerados os componentes serra fita de desdobro, serra fita de aproveitamento, serra circular e destopadeira. Assim, a constituição dos custos ficou da seguinte forma:

- 1) custo de máquinas: incluindo custos fixos (juros, seguros e depreciação) e custos variáveis (energia elétrica e manutenção);
- 2) custo de mão-de-obra (custos operacionais, ajudantes e manutenção);
- 3) espaço físico (juros, seguros e depreciação);
- 4) custos de administração.

A contribuição percentual de cada item para a formação do custo total da serraria foi de 7,50% relativos aos custos fixos de máquinas, 16,45% relativos aos custos variáveis de máquinas, 52,90% relativos ao custo de mão-de-obra, 6,46% relativos aos custos do espaço físico e 16,69% relativos aos custos de administração.

De acordo com Uhl et al. (1992), no processo de beneficiamento da madeira de espécies amazônicas, seu processamento constituiu a principal atividade e o maior custo, representando 37% do custo total da madeira produzida.

Veríssimo et al. (1992), estudando o custo de processamento das serrarias da região de Paragominas, Pará, chegaram a um valor de US\$116,00/m<sup>3</sup> de madeira serrada. Esse custo é composto por compra de matéria-prima (51%), impostos (20%), salários e benefícios sociais (19%), combustíveis e lubrificantes (3%) e outros (4%).

## 2.10 Critérios de avaliação econômica de projetos

O manejador precisa trabalhar com métodos eficientes para prognosticar o potencial de multiprodutos (Schlieter & Hawkins, 1989). O maior retorno financeiro em função da utilização da árvore como um todo deve ser o objetivo dos processos de modelagem dos povoamentos. Um sistema ideal deve levar em consideração o método de exploração, o processamento, a quantidade e a qualidade dos produtos e as possibilidades de mercado, devendo-se otimizar a produção de produtos de maior valor agregado.

A avaliação econômica de um projeto é feita com base nos custos e receitas que ocorrem ao longo de sua vida útil. Geralmente, os projetos podem ser convencionais e não convencionais. Convencionais são aqueles que sofrem apenas uma mudança de sinal em seus fluxos de caixa. Neles, as receitas líquidas mudam de negativas para positivas e, assim, permanecem até o final. Um caso particular de projeto convencional acontece quando a mudança de sinal ocorre no primeiro período de tempo após seu início; neste caso, ele é chamado de projeto de investimento simples. Os chamados projetos não-convencionais são aqueles nos quais há, em seus fluxos de caixa, mais de uma mudança nos sinais das receitas líquidas, como é o caso dos reflorestamentos com eucaliptos, em que são efetuados três cortes (Rezende & Oliveira, 2000).

Diversos são os critérios utilizados para se estudar a viabilidade econômica de projetos e sua seleção. Basicamente, são divididos em critérios que não consideram o valor do capital no tempo e critérios que consideram o valor do capital no tempo.

Para projetos florestais, utilizam-se os critérios que consideram o valor do capital no tempo, por serem projetos de longo prazo de maturação financeira. Neste caso, os principais critérios são: valor presente líquido (VPL), taxa interna de retorno (TIR), benefício periódico equivalente (BPE), razão benefício-custo

(B/C) e o custo médio de produção (CMP<sub>r</sub>), sendo o VPL o critério mais utilizado.

Leite (1994), estudando a conversão de troncos em multiprodutos de madeira, utilizou, como critério de decisão econômica, o critério do máximo retorno econômico (CMRE), em que o retorno econômico é dado pela diferença entre as somas das receitas obtidas pela comercialização dos produtos e os custos variáveis de produção, que são aqueles envolvidos na conversão de árvores em toras e destas em produtos.

Segundo o autor, esse critério pode ser utilizado de duas formas. A primeira, ocorre no caso em que as toras são vendidas numa base sólida, ou seja, diretamente no mercado. Neste caso, o valor final dos produtos é dado pela multiplicação do valor das toras pelo volume das mesmas. Os custos variáveis serão representados pela produção e transporte das toras até o local de comercialização. Assim, o retorno econômico (RE) é dado pela diferença entre o valor de venda e os custos variáveis.

O segundo caso é quando as empresas são verticalizadas, sendo as toras processadas em sistemas integrados. Neste caso, o valor final dos produtos é dado pela soma dos seus valores individuais, menos as somas dos custos variáveis de produção das toras e dos produtos.

É importante a distinção entre custos fixos e variáveis. Os fixos não influem no processo de decisão, porém, considerar um custo variável como sendo fixo, pode levar à subotimização. A classificação de um custo como fixo ou não vai depender de onde as toras são produzidas. Os custos que não mudam com o tipo de tora produzida podem ser considerados como fixos. Um exemplo de custo variável é o custo de transporte de toras que são produzidas na área de corte e, posteriormente, transportadas até as fábricas (Leite,1994).

Acerbi Jr. (1998) utilizou o critério do VPL para decidir qual o melhor regime de desbaste para *Pinus taeda*, para a produção de madeira livre de nós e

para a obtenção de multiprodutos da madeira. Contador (1996) salientou que o critério do VPL é rigoroso e isento de falhas, o que lhe confere maior credibilidade.

O VPL consiste em trazer para o ano zero do projeto todos os valores constantes no seu fluxo de caixa e subtrair as receitas das despesas. Algebricamente, tem-se:

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

em que:

$C_j$  = custos do final do período de tempo considerado;

$R_j$  = receita líquida no final do período de tempo considerado;

$i$  = taxa de desconto do projeto;

$n$  = duração do projeto, em números de períodos de tempo.

Para que um projeto seja viável economicamente, de acordo com o VPL, o mesmo tem que ser positivo para uma dada taxa de juros.

Se os projetos comparados apresentam mesmo horizonte de planejamento, o melhor será aquele que apresentar maior VPL. Se os horizontes de planejamento forem diferentes, deve-se equipará-los antes de se fazer os cálculos para a seleção.

### **2.10.1 A análise econômica dos sistemas agroflorestais**

A análise econômica de um sistema agroflorestal ou silvopastoril, ou, ainda, agrossilvopastoril, deve ser realizada de modo a incluir todos os componentes do sistema em uma única análise. Assim, não se considera, para efeito de economicidade, uma atividade independente da outra.



Para se ter uma idéia da viabilidade econômica, podem-se fazer comparações com plantios solteiros que não fazem parte do sistema, tomando-se o cuidado de considerar o que foi citado em MacDicken & Vergara (1990) que as projeções econômicas de cada monocultivo são em diferentes prazos.

Além dos aspectos ecológicos, como a proteção do solo e a diversidade de espécies, reduzindo os ataques de pragas e evitando os riscos da monocultura, os sistemas agroflorestais têm como característica a possibilidade de entradas de receitas em várias épocas ao longo do horizonte de planejamento.

A receita pela venda de produtos anuais, como frutos e castanhas ou de grãos, como soja, milho, arroz e feijão ou, ainda, a venda de gado, são alternativas que podem agregar valor ao empreendimento em detrimento de qualquer monocultivo.

De acordo com Couto & Passos (1995), o estudo econômico do sistema é importante porque mostra ao produtor a viabilidade do empreendimento, aponta a possibilidade de aumentar a fonte da renda familiar, diversifica a origem da renda e diminui os riscos de variação dos preços, devido à época de safra.

Fleig et al. (1993) estudaram a economicidade de dez sistemas agroflorestais tendo como espécie florestal a acácia-negra. Foram testadas as viabilidades econômicas dos seguintes tratamentos: acácia-negra em monocultivo, monocultivo de acácia-negra em sucessão agrícola, acácia-negra em consórcio com melancia, milho, feijão e com pecuária. Os métodos de análise econômica utilizados foram: valor presente líquido, valor esperado da terra, razão benefício/custo e taxa interna de retorno. Os resultados econômicos mostraram que onde não é possível a regeneração com o uso do fogo, o mais viável economicamente é o consórcio da acácia-negra com a melancia (VPL = US\$1,436.06/ha). Onde há a possibilidade de utilizar o fogo para induzir a

regeneração, o consórcio com a batata inglesa foi o mais viável (VPL = US\$1,063.99/ha).

Silva et al. (1994) realizaram uma análise econômica de quatro sistemas agroflorestais implantados no estado do Acre. A inclusão de espécies frutíferas e de espécies agrícolas de ciclo curto tornou três dos quatro sistemas viáveis.

Santos et al. (2000) verificaram a viabilidade econômica do sistema agroflorestal grevilea x café, na região Norte do Paraná. Foi constatado que o custo adicional para a introdução da grevilea era insignificante para o produtor rural (58 árvores/ha). A renda obtida com a venda da madeira no final do ciclo do cafezal aumentou a renda do sistema em relação ao cafezal puro em 32,22%, o que permitiu pagar os custos de implantação ou grande parte dos custos da reforma do cafezal. A madeira representou uma poupança ao longo do ciclo da cultura cafeeira.

Santos e Rodriguez (2001) avaliaram a economicidade de quatro modelos em áreas degradadas por pastagens na Amazônia Ocidental, sendo dois agrosilvopastoris e dois agroflorestais. O cálculo com base no valor presente líquido para séries infinitas mostrou que todos os modelos avaliados foram viáveis economicamente, servindo para regeneração de áreas degradadas e para a sobrevivência dos agricultores da região.

Silva et al. (2001) fizeram a caracterização e a avaliação econômica de sistemas agroflorestais em pequenas propriedades rurais, em Presidente Figueiredo, estado do Amazonas. Os resultados mostraram que os sistemas agroflorestais proporcionam um importante incremento à renda familiar, sobretudo no quarto ano de implantação, quando os plantios começam a ter uma produção estável.

Yamada e Ghosl (2002) avaliaram um sistema agroflorestal como uma alternativa de desenvolvimento rural para a Amazônia Brasileira. As conclusões deste trabalho apontaram que a agrofloresta na Amazônia é viável, porém, há

necessidade de assistência técnica e financiamentos para encorajar os fazendeiros a adotarem esta prática.

### **2.10.2 A análise econômica dos sistemas agroflorestais com o uso do eucalipto**

Silva et al. (1997) estudaram a viabilidade econômica do consórcio do eucalipto com feijão no Vale do Rio Doce, em Minas Gerais. Os resultados mostraram que o consórcio viabilizou o projeto, diminuindo os riscos de implantação do eucalipto em monocultivo. Em uma análise de sensibilidade os autores mostraram que, com o feijão, o sistema seria viável, suportando queda de até 50% no preço da madeira.

Silva (1999) testou o consórcio de *Eucalyptus grandis* com gramíneas em vários espaçamentos e analisou-o sob o ponto de vista silvicultural e econômico. Foram testados quatro espaçamentos do eucalipto no sistema de consórcio com braquiária : 3x2m, 4x2m, 5x2m, 6x2m, além do plantio puro do eucalipto, que foi considerado como testemunha no espaçamento 3x2m. Foi considerado finito o horizonte de planejamento que variou de um ciclo com corte aos seis anos até um ciclo com corte aos 6, 12 e 18 anos.

Os resultados mostraram uma produção volumétrica do eucalipto em alto fuste de 202,3m<sup>3</sup>/ha.

Os resultados mostraram que todos os tratamentos envolvendo o sistema foram mais viáveis do ponto de vista econômico do que o eucalipto solteiro. O valor esperado da terra (VET), para todos os casos, foi maior quanto mais amplos foram os espaçamentos e quanto maior o ciclo, ou seja, com um ciclo de 18 anos, considerando uma reforma da pastagem aos 6 e aos 12 anos. Analisando-se os monocultivos, o eucalipto foi melhor no espaçamento 3x2m e a braquiária nos maiores espaçamentos, o que mostra a importância da gramínea na economicidade do sistema.

Oliveira et al. (2000), estudando um sistema agrosilvopastoril com eucalipto implantado em região de cerrado, testaram a viabilidade econômica do consórcio de arroz, soja, pastagem, gado e eucalipto, para um horizonte de 11 anos. Quando considerados isoladamente, tanto o arroz quanto a soja foram viáveis economicamente. Considerando o sistema como um todo, os 4 primeiros anos mostraram um saldo anual negativo; no quinto ano, com a venda do boi gordo, aconteceu o primeiro resultado positivo. Os outros anos nos quais ocorreram resultados positivos foram aos 7 e 9 anos, com venda de bois e aos 11 anos com a venda de bois e da madeira para serraria e energia.

Observou-se que a lucratividade do sistema foi bem sensível às mudanças conjuntas nos preços de madeira para serraria e para energia. As principais conclusões foram: implantar sistemas agrosilvopastoris com eucalipto em região de cerrado é uma opção viável economicamente, desde que pelo menos 5% da madeira produzida sejam usados para serraria e a madeira restante seja usada para energia ou para outro fim que alcance valor igual ou mais alto no mercado.

Daniel et al. (2000) estudaram a sustentabilidade em sistemas agroflorestais com ênfase em indicadores socioeconômicos, com o objetivo de definir um rol de indicadores socioeconômicos adaptáveis aos diversos modelos de sistemas agroflorestais. As conclusões apontaram que as categorias relacionadas com a operação dos sistemas, que são aquelas atividades necessárias à sua exequibilidade, comportaram o maior número de indicadores no componente socioeconômico, com maior concentração nas operações endógenas ao sistema.

Dube et al. (2002), estudando a simulação de um modelo para a avaliação de aspectos técnicos e econômicos de um sistema agroflorestal industrial com eucalipto em Minas Gerais, encontraram que 37% dos custos do sistema foram formados pela implantação e manutenção do eucalipto.

Entretanto, 52% do valor descontado das receitas vieram da venda dos produtos de madeira cortada aos 11 anos de idade. No geral, o sistema agroflorestal foi mais viável que a monocultura florestal, além do quê, a empresa estaria usando o fator terra de maneira mais eficiente.

## **2.11 Agregação de valor aos produtos florestais**

A partir da matéria-prima básica dos produtos florestais, a madeira, cada grau de beneficiamento empregado agrega valor ao produto final. Um trabalho realizado por Carvalho et al. (2002) investigou qual a possibilidade de agregação de valor à madeiras de florestas implantadas com a finalidade de atender ao mercado de celulose. O trabalho foi desenvolvido a partir de um plantio realizado com o híbrido de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*, que foi cortado aos sete anos de idade.

Na madeira colhida, foi realizado inventário volumétrico e uma classificação, sendo a madeira considerada do grupo 1 como aquela oriunda de toras superiores, diâmetro da base maior que 20 cm, diâmetro de topo maior que 12 cm a 4 metros de altura, ausência de defeitos aparentes como galhos, nós em excesso e rachaduras. O grupo 2 foi composto de toras médias, ou seja, toda a madeira que não atendeu às exigências do grupo 1 e apresentou diâmetro superior a 6cm.

O rendimento em madeira serrada foi de 39,71%. Desse total, foram utilizados 75% para a produção de “clear block”. De acordo com autor, o descarte da madeira foi compensado pela diferença de preço entre a madeira serrada com defeitos aceitáveis (US\$120.00/m<sup>3</sup>) e o preço da madeira “clear block” (US\$300.00m<sup>3</sup>).

O trabalho de Carvalho et al. (2002) mostrou ser possível a agregação de valor à floresta e sua madeira, desde que se conheçam as potencialidades dos produtos que se pode conseguir.

### 3 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU, E.C.R. **Modelagem da prognose precoce do volume por classe diamétrica para *Eucalyptus grandis***. Lavras: UFLA. 2000. 70p. (Dissertação – Mestrado em Engenharia Florestal).

ABREU, E.C.R.; SCOLFORO, J.R.S.; OLIVEIRA, A.D.; MELLO, J.M.; KANEGAE JÚNIOR, H. Modelagem para a prognose precoce do volume por classe diamétrica para *Eucalyptus grandis*. **Revista Scientia Forestalis**. n.61. Piracicaba, junho, 2002. p.86-102.

ACERBI Jr., F.W. **Definição de regimes de desbastes e poda economicamente ótimos para *Pinus taeda***. Lavras: UFLA, 1998.177p. (Dissertação Mestrado).

ACERBI Jr., F.W. **Estimativas dos multiprodutos para *Eucalyptus grandis***. Lavras: UFLA 1995. 64p. Monografia.

ADAMS, E.L.; DUNMIRE, D.E SOLVE II: A technique to improve efficiency and solve problems in hardwood sawmills. USDA Forest Service Res. Pap. NE-382, 19p.

AHRENS, S.; HOLBERT, D. **Uma função para forma de tronco e volume de *Pinus taeda* L.** Curitiba: EMBRAPA, 1981. p.37-68. (EMBRAPA. Boletim de Pesquisa Florestal, 3).

ASSIS, A.L.; **Acuracidade na estimativa de volumes comerciais de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus urophylla***. Lavras: UFLA, 1998. 183p. Monografia.

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

ASSMANN, E.L. **The principles of forest yield study**. New York: Pergamon Press, 1970. 506p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - **ABNT**. Madeira serrada de eucalipto - Requisitos, NBR 14806. Rio de Janeiro: 2002a. 11 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - **ABNT**. Madeira serrada - Terminologia, NBR 12551. Rio de Janeiro, 2002b. 10 p.

BAENA, E.S. **A utilização de *Eucalyptus saligna* Smith e *Eucalyptus grandis* Hill jovens na confecção de sarrafos**. ESALQ. Piracicaba, 1982. 74p. Dissertação de Mestrado.

BARCHET, V.G. **Potencialidades de espécies de *Eucalyptus* para produção de madeira serrada**. Piracicaba: ESALQ/USP, 2002. 166p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia da Madeira).

BAUMGRAS, J.E. LeDOUX, C.B. Impact diametrer and produte markets on revenue gains from multiproduct harvesting. **For. Prod. J.**, **38** (7/8): 57-63, 1988.

BENNETT, F.A.; WINER, H.I.; BARTHOLOMEW, A. Measurement of environmental factors and their effect on the productivity of tree-length logging with rubber-tirred skidders. **Pulp and Paper Research**. Institute of Can., Woodlands Institute of Can., 1965. Woodlands es. Index 166, 43p.

BHOJVAID, P.P.; TIMMER, V.R.; SINGH, G. Reclaiming sodic soils for wheat production by *Prosopis juliflora* (Swartz) DC afforestation in India. In: **Agroforest Systems** 39: 139-150. The Netherlands, 1996.

BIGING, G.S.; DOBBERTIN, M. A. A comparison of distance-dependent competition measures for height and basal area growth of individual conifers trees. **Forest Science**, Washington, v.38, n.3, p.695-720. 1992.

BRUCE, D., Predicting product recovery from logs and trees. **USDA Forest Service Res. Pap.**, 1970. 15p.

BURKHART, H.E.; FARRAR, K.D.; AMATEIS, R.L.; DANILES, R.F. Simulation of individual tree growth and stand development in loblolly pine plantations on cutover, site-prepared areas. **Publication N. FWS – 1-87-** 46p. Virginia Polytechnic Institute. 1987.

CAMPOS, J.C.C.; TURNBULL, K.J. Um sistema para estimar a produção por classe de diâmetro e sua aplicação na interpretação do efeito de desbaste. **Revista Árvore**. Viçosa, v.5, n.1, p.1-16, 1981.

CARPINELLI, S.M. **Rendimento no desdobro e produtividade em madeira serrada de uma floresta de *Eucalyptus grandis***. Piracicaba: ESALQ, 2002. 76p. (Dissertação de Mestrado).

CARVALHO, A.M. **Valorização da madeira do híbrido de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* através da produção conjunta de madeira serrada em pequenas dimensões, celulose e lenha**. Piracicaba: ESALQ, 2000. 129p. (Dissertação de Mestrado).

CARVALHO, A.M.; NAHUZ, M.A.R. Ensaio com madeira serrada de eucalipto jovem obtida de um plantio destinado a indústria de celulose. **Revista Árvore**. v.26, n.1. Viçosa, 2002. p.83-91.

CERRI, C.C.; VOLKOFF, B.; EDUARDO, B.P. Efeito do desmatamento sobre a biomassa microbiana em latossolo amarelo da Amazônia. In: **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 9(1): 1-4. 1985.

CLARK, J.F. The measurement of sawlogs. **Forestry Quarterly**. 4 (2): p.79-83, 1906.

CONTADOR, C.R. **Projetos Sociais: Avaliação e Prática**. 3.ed. São Paulo: Atlas, 1996. 375p.

COUTO, L.; PASSOS, C.A.M. O estado da arte e do conhecimento do uso de eucaliptos em sistemas agrofloretais em Minas Gerais. In: Seminário Eucalipto: Uma Visão Global, Belo Horizonte, 1995. **Anais...** Belo Horizonte, 1995. 147p.

CUNHA NETO, F.R. **Sistema de predição presente e futura da produção por classe de diâmetro utilizando a função Weibull para *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus urophylla***. Lavras: UFLA, 1994. 157p. (Dissertação – Mestrado em Engenharia Florestal).

CURTIS, R.O. Yield tables past and present. **Journal of Forestry**, 70:28-32. 1972.

DANIEL, O.; COUTO, L.; SILVA, E.; PASSOS, C.A.M.; JUCKSCH, I.; GARCIA, R. Sustentabilidade em sistemas agrofloretais: indicadores



socioeconômicos. **Revista Ciência Florestal**. v.10, n.1, p.161-177. Santa Maria, Jun. 2000.

DANIELS, R.F.; BURKHART, H.E. **Simulations of individual tree growth and stand development in managed loblolly pine plantations**. Virginia, 1975. 69p. (Publ. FWS,5).

DUBE, F.; COUTO, L.; SILVA, M.L.; LEITE, H.G.; GARCIA, R.; ARAÚJO, G.A.A. A simulation model for evaluating technical and economic aspects os na industrial eucalyptus-based agroforestry system in Minas Gerais, Brasil. **Agroforestry Systems**. 55: p.73-80. Dordrecht, 2002.

EERIKÄINEN, K.; MALTAMO, M. A percentile based basal area diameter distribution model for predicting the stand development of *Pinus kesiya* plantations in Zambia e Zimbabwe. **Forest Ecology and Management**. 172: Madison, 2003. p.109-124.

EERIKÄINEN, K.P.A.; MABVURIRA, D.; DARAMÄKI, J. Alternative taper curve estimation methods for *Eucalyptus cloeziana* (F. Muell.). **Southern African Forestry Journal**. n.184. Menlo Park, march, 1999. p.12-24.

EK, A.R.; MONSURED, R. A. Trial with program forest: Growth and reproduction for mixed species even or uneven – aged forest stands. p.56-73. In: **Growth models for tree and stand simulation**. J. Fries (ed) Royal Coll. For. Res. Notes 30, Stockholm, 1974.

ESTEP, E.M.; HUNT, D.L. Lumber yield and log values of white fir. **USDA Forest Service Res. Pap.**, 1964. 35p.

FERREIRA NETO, P.S. **Comportamento inicial do *Eucalyptus grandis* W. Hill ex. Maiden em plantio consorciado com leguminosas na Região do Médio Rio Doce, Minas Gerais**. UFV. Viçosa, 1994. 92p. Dissertação de Mestrado.

FERREIRA, S.O. **Estudo da forma do fuste de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus cloeziana***. Lavras: UFLA, 1999. 132p. (Dissertação – Mestrado em Engenharia Florestal).

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

- FILHO, J.M.O.; CARVALHO, M.A.; GUEDES, G.A.A. Matéria orgânica do solo. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, 13(147): 22-24, 1987.
- FINGER, C.A.G.; SCHNEIDER, P.R.; BAZZO, J.L.; KLEIN, J.E.M. Efeito da intensidade de desrama sobre o crescimento e a produção de *Eucalyptus saligna* Smith. **Revista Cerne**. v.7, n.2, Lavras, 2001. p.53-64.
- FINGER, C.A.G.; ZANON, M.L.B.; SCHNEIDER, P.R.; et al. Funções de forma para *Eucalyptus dunnii* Maiden, implantados na depressão central e encosta Sudeste do rio Grande do Sul. **Ciência Rural**, Santa Maria, V. 25, n.3, p.399-403, 1995.
- FISCHER, F. **Eficiência dos modelos polinomiais e das razões de volume na estimativa volumétrica dos sortimentos e do perfil do fuste de *Pinus taeda***. Lavras: UFLA, 1997. 167p. (Dissertação – Mestrado em Engenharia Florestal).
- FLEIG, F.D.; SCHNEIDER, P.R.; BRUM, E.T. Avaliação econômica dos sistemas de produção com acácia-negra (*Acacia mearnsii* De Wild.) no Rio Grande do Sul.
- FRANCO, F.S. **Sistemas agroflorestais: uma contribuição para a conservação dos recursos naturais na Zona da Mata de Minas Gerais**. UFV. Viçosa, 2000. 147p. Tese de Doutorado.
- FREITAS, A. R.; NETO, O. B. Avanços tecnológicos no avanço e uso de produtos florestais: Produção de madeira serrada para eucaliptos. **1º Congresso Florestal Pan-americano, 7º Congresso Florestal Brasileiro**. Curitiba, 1993.
- FRIEDL, R.A. **Dinâmica de forma dos fustes em povoamentos plantados de *Araucaria angustifolia* (Bert) O. Ktze**. Curitiba: UFPR – Setor de Ciências Agrárias, 1989, 166p. (Dissertação – Mestrado em Engenharia Florestal).
- FRONIUS, K. Use of chippers and reducers in high production sawmilling. In: **International Sawmill Seminar**. Munich, 1975. Proceedings...São Francisco, Miller Freeman, 1975. p. 20-26.
- GOMES, A.M.A. **Medição dos arvoredos**. Lisboa: Livraria Sá da Costa, 1957. 413p.
- GOMIDE, J.L. **Serraria**. Viçosa: UFV, 1974. 119p.

GUIMARÃES, D.P. **Desenvolvimento de um modelo de distribuição diamétrica de passo invariante para prognose e projeção da estrutura de povoamentos de eucalipto.** Viçosa: UFV, 1994. 160p. Tese – Doutorado em Engenharia Florestal.

HAND, D.E. Scanners can be simple. In: WHITE, V.S. **Moderns sawmill techniques.** v.5 São Francisco, Miller Francisco, Miller Freeman, 1975. p.196-197.

HANKS, L.F. Green lumber grade yields for subfactory class hardwood logs. **USDA Forest Service Res. Pap.**,1973 8p.

HANKS, L.F.; BRISBIN, R.L. Lumber grade yields for graded aspen logs and trees. **USDA Forest Service Res. Pap.**,1978 13p.

HANKS, L.F.; GAMMON, G.L.; BRISBIN, R.L.; RAST, E.D. Hardwood log grades and lumber grade yields for factory lumber logs. paper birch and balsam poplar logs in the Susitna River Valley Alaska. **USDA Forest Service Res. Pap.**,1980 92p.

HANKS, L.F.; SWANSON, C.W. Lumber grade yields from paper birch and balsam poplar logs in the Susitna River Valley Alaska. **USDA Forest Service Res. Pap.**,1967 29p.

HAWLEY, R. C.; SMITH, D. M. **Silvicultura Práctica.** Ediciones Omega, Barcelona, 1972. 543p.

HOEFLICH, V.A. Pesquisa agroflorestal no contexto brasileiro. In: Seminário Eucalipto: Uma visão Global, 1995. Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: 1995. p.159.

HOWARD, A.F. **Modeling production, costs, and profitability in the forest products industry: A case study of Southern New England.** Yale University, 1985. (PH.D. Thesis).

HUSCH, B.; MILLER, C.L.; BEERS, T.E. **Forest mensuration.** 3 ed. New York: Ronald Prees, 1982. 410p.

INSTITUTO BRASILEIRO DE DESENVOLVIMENTO FLORESTAL – IBDF. **Diagnóstico do setor florestal do Estado do Mato Grosso.** Brasília, 1984. 354p.

INSTITUTO BRASILEIRO DE DESENVOLVIMENTO FLORESTAL – IBDF. **Normas para classificação de madeira serrada de folhosas.** Ministério da Agricultura. Brasília, 1983.46p.

IPT – INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Regras NHLA para medição e classificação de madeiras duras serradas.** 2<sup>a</sup> ed. (revista e ampliada). São Paulo, 1986. 44p.

JOHNSON, T. Taxatariska undersökringar om skogsträdens form. Skgsvardsföreningens tidskriffl. **Häfte**, v.9, n.10, p.285-329. Berlim, 1911.

KAUR, B.; GUPTA, S.R.; SINGH, G. Bioamelioration of a sodic soil by silvopastoral systems in Northwestern India. In: **Agroforestry Systems** 54:13-20, The Netherlands, 2002a.

KAUR, B.; GUPTA, S.R.; SINGH, G. Carbon storage and nitrogen cycling in silvopastoral systems on a sodic soil in Northwestern India. In: **Agroforestry Systems** 54: 21-29, The Netherlands, 2002b.

KIRCHNER, F. F.; FIGUEIREDO FILHO, A.; SCOLFORO, J.R.S.; MACHADO, S.A.; MITISHITA, E.A. O uso de funções spline no cálculo do volume de árvores. **Floresta**, v.19, n.1/2, p.116-122. Curitiba, 1989.

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

LARSON, P.R. Stern from development of forest tree. **Forest Science Monograph**, Washington, p.1-41, 1963.

LEE, W.-K.; SEO, J.H.; SON, Y.M.; LEE, K.H.; VON GADOW, K. Modeling stem profiles for *Pinus densiflora* in Korea. **Forest Ecology and Management**: 172. Madison, 2003. p.69-77.

LEITE, H.G. **Conversão de troncos em multiprodutos da madeira, utilizando programação dinâmica.** Viçosa, UFV, Impr. Univ., 1994. 230p. (Tese D.S.).

LEITE, H.G.; GUIMARÃES, D.P.; CAMPOS, J.C.C. Descrição e emprego de um modelo para estimar múltiplos volumes de árvores. **Revista Árvore**. Viçosa v.19, n.1, p.65-79, jan./mar. 1995.

LEWIS, N. B.; FERGUSON, I. S. **Management of Radiata Pine**. Inkata Press. Melbourne, 1993. 404p.

LIMA, D.G. **Desenvolvimento e aplicação de um modelo de suporte à decisão sobre multiprodutos de povoamentos de eucalipto**. Viçosa, UFV, Impr. Univ., 1996. 80p. (Tese M.S.).

LIMA, F.S. **Análise de funções de “Taper” destinadas à avaliação de multiprodutos de árvores de *Pinus elliottii***. Viçosa, UFV, Impr. Univ., 1986. 79p. (Tese M.S.).

MACDICKEN, N.K.; VERGARA, N.T. **Agroforestry: Classification and management**. New York: John Wiley and Sons, 1990. 382p.

MACEDO, R.L.G. Sistemas agroflorestais com leguminosas arbóreas para recuperar áreas degradadas por atividades agropecuárias. In: Simpósio Nacional de Recuperação de Áreas Degradadas, 1, 1992. **Anais...** Curitiba:1992. P.288-297.

MALAN, F.S. The wood properties and sawn board quality of the *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* hybrid. **South African Forestry Journal**. n.88. Menlo Park, July, 2000. p.29-35.

MALAN, F.S.; HOON, M. Effect of initial spacing and thinning on some wood properties of *Eucalyptus grandis*. **South African Forestry Journal**. n. 163. Menlo Park, Dec., 1992. p. 13-20.

MALAVOLTA, E. **Manual de química agrícola, adubos e adubação**. 3<sup>a</sup> ed. São Paulo, Agron. Ceres Ltda., 1981. 1594p.

MARTINS, A.R.A. **Dinâmica de nutrientes na solução do solo em um sistema agroflorestral em implantação**. ESALQ. Piracicaba, 2001. 144p. Tese Doutorado.

MARTINS, E.P. **Análise técnica e econômica da atividade madeireira no Município de Jarú, estado de Rondônia**. UFLA, Lavras. 1996. 97p. (Dissertação de Mestrado).

MELLO, G.R. **Processamento mecânico da madeira**. Piracicaba, ESALQ/USP, 1978. 88p.

MIELNICZUK, J. Desenvolvimento de sistemas de culturas adaptadas a produtividade, conservação e recuperação de solos. IN: Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 21. Campinas, 1988. **Anais...**, Campinas, SBSC, 1988. p. 109-116.

MIRANDA, M.J.A.C. **Estudo da influência do espaçamento de plantio de *Eucalyptus saligna* Smith no rendimento de madeira serrada, nas condições verde e seca.** ESALQ. Piracicaba, 1997. 177p. Dissertação de Mestrado.

MITCHELL, K.J. Simulation of the growth of even-aged stands of white spruce. **Yale Univ. School of Forestry Bull.** N.75, 48p. 1969.

MOHAMMED. C. Pruning associated stem defects in plantation *Eucalyptus nitens* e *Eucalyptus globulus* for sawlog and veneer in Tasmania. In: **The Future of Eucalypts for Wood Products Meeting, 1.**, Tasmania, 2000. Tasmania: IUFRO, 2000. P.357-364.

MOOSMAYER, H. Técnicas modernas de desdobro de *Pinus* com aproveitamento de resíduos. **Revista Silvicultura**, **35 (4)** São Paulo, 1984. p. 7-12.

MUELLER, L.A.; BARGER, R.L. Lumber grade recovery from engelmann spruce in Colorado. **USDA Forest Service Res. Pap.**, 1963. 23p.

NANOS, N.; MONTERO, G. Spatial prediction of diameter distribution models. **Forest Ecology and Management**. 161: Madison, 2002. p.147-158.

NATIONAL HARDWOOD LUMBER ASSOCIATION – NHLA. **Rules for measurement and inspection of hardwood and cypress.** Memphis, january, 1994. 124p.

NEWNHAN, R.M. **The development of a stand model for Douglas-fir.** Unpublished Ph.D. Thesis, Univ. of British Columbia, 201p. 1964.

NLGA – NATIONAL LUMBER GRADES AUTHORITY. **Canadian Lumber Grading Manual.** British Columbia, 1982. 126p.

OLIVEIRA, A.D.; SCOLFORO, J.R.S.; SILVEIRA, V. de P. Análise econômica de um sistema agro-silvo-pastoril com eucalipto implantado em região de cerrado. **Revista Ciência Florestal**. v.10, n.1, p. 1-19. Santa Maria, Jun.2000.

OTTE, G. Experiências e controle da qualidade da madeira de eucaliptos e oportunidades no mercado internacional e nacional. In: **SEMINÁRIO MADEIRA DE EUCALIPTO: TENDÊNCIAS E USOS**. Piracicaba, 2001. Piracicaba: IPEF. 2001. 50p.

PASSOS, C.A.M. **Comportamento inicial do eucalipto (*Eucalyptus grandis* W. Hill ex. Maiden) em plantio consorciado com feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) no Vale do Rio Doce, Minas Gerais**. UFV. Viçosa, 1990. 64p. Dissertação de Mestrado.

PASSOS, C.A.M.; COUTO, L.; FERNADES, E.N. Comportamento inicial de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex. Maiden consorciado com milho (*Zea mays* L.) e feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) no Vale do Rio Doce, Minas Gerais. In: Congresso Florestal Panamericano, 1, Congresso Florestal Brasileiro, 7. Curitiba. **Anais...** Curitiba, 1993. P.270-273.

PEIXOTO, C.D.; IWAKIRI, S. **Dados e índices da indústria madeireira do Estado do Amazonas**. Manaus: INPA/CPPF, 1984. 32p. (Série Técnica, 4).

PONCE, R. H. Madeira serrada de eucalipto: desafios e perspectivas. In: IUFO – CONFERENCE ON SILVICULTURE AND IMPROVEMENT OF EUCALYPTS. Salvador, 1997. **Proceedings**, Colombo: EMBRAPA, 1997. V.3, p.50-58.

PRODAN, M. **Forest biometrics**. Oxford: Pergamon Press, 1968. 447p.

RAMOS, I. **África do Sul, horizonte florestal do Brasil: 1ª viagem; O eucalipto, madeira de serraria na África do Sul: 2ª viagem**. São Paulo: Joruês, 1973, 15p.

RAST, E.D. Log and tree sawing times for hardwood mills. **USDA Forest Service Res. Pap.**, 1974. 44p.

REZENDE, J.L.P.; OLIVEIRA, A.D. **Análise Econômica e Social de Projetos Florestais**. Editora UFV. Viçosa, 2001. 389p.

ROSOT, M.A.D. **Estudos comparativos de métodos para avaliação volumétrica por unidades de área em povoamentos de *Pinus taeda* L.** Curitiba: UFPR – Centro de Ciências Agrárias, 1989. 163p. (Dissertação – Mestrado em Engenharia Florestal).

SANTOS, A.J.; LEAL, A.C.; GRAÇA, L.R.; CARMO, A.P.C. do. Viabilidade econômica do sistema agroflorestal grevilea x café na Região Norte do Paraná. **Revista Cerne**. v.6, n.1, p. 89-100. Lavras, 2000.

SANTOS, F.L.C. **Comportamento do *Eucalyptus cloëziana* F. Muell em plantio consorciado com forrageiras na Região do Cerrado em Montes Claros, Minas Gerais**. UFV. Viçosa, 1990. 83p. Dissertação de Mestrado.

SANTOS, J. **Situação da indústria madeireira no município de Manaus (1981 e 1983) e das serrarias no Estado do Amazonas (1981)**. Curitiba: UFPR, 1986. 78p. (Dissertação – Mestrado em Ciências Florestais).

SANTOS, M.J.C.; RODRIGUEZ, L.C.E. Avaliação econômica de quatro modelos agroflorestais em áreas degradadas por pastagens na Amazônia Ocidental. In: RODRIGUES, L.C.E. **Memória do 1<sup>o</sup> Simpósio Ibero-Americano de Gestão e Economia Florestal**. Série Técnica IPEF, v.14, n.34. Piracicaba, junho de 2001. p.209-210.

SANTOS, P.E.T. **Avaliação de características tecnológicas de madeira para serraria em progênies de polinização aberta de eucalipto e implicações para o melhoramento genético**. ESALQ. Piracicaba, 2002. 153p. Tese de Doutorado.

SCHLIETER, J.A. HAWKINS, C.H. **III Estimating commercial product potential in small-stem lodgepole pine: methods, products values**. S.1. Research Stations, 1989. 58p. (Genetics Technical Report).

SCHNEIDER, P.R. **Introdução ao manejo florestal**. Santa Maria: UFSM/FATEC, 1993. 348p.

SCHROEDER, J.G.; CAMPBELL, R.A.; RODENBACH, R.C. Southern pine log grades for yard and structural lumber. **USDA Forest Service Res. Pap.**, 1968. 9p.

SCHROEDER, J.G.; HANKS, L.F. Lumber grade yields for factory grade northern red oak sawlogs. **USDA Forest Service Res. Pap.**, 1967. 7p.

SCHUMACHER, F.X.; JONES, W.C. Empirical log rules and the allocation of sawing time to log size. **Journal of Forestry** **38 (11)**, 1940. p. 889-896.

SCOLFORO, J.R.S. **Modelagem do crescimento e da produção florestal para florestas plantadas e nativas**. Lavras: UFLA/FAEPE, 1998. 453p.



SCOLFORO, J.R.S.; RIOS, M.S.; OLIVEIRA, A.D.; et al. Acuracidade de equações de afilamento para representar o perfil do fuste de *Pinus Elliottii*. **Revista Cerne**, Lavras. v.4, n. p.100-122 1998.

SEITZ, A. S. **Manual de Podas de Espécies Florestais**. FUPEF. Curitiba, 1995.

SENAI/CETEMO. A madeira do eucalipto na indústria moveleira. In: Seminário Internacional Sobre Produtos Sólidos de Madeira de Alta Tecnologia, 1. Encontro Sobre Tecnologias Apropriadas de Desdobro, Secagem e Utilização da Madeira de Eucalipto, 1. Belo Horizonte, 1998. **Anais...** Belo Horizonte, dezembro, 1998. p.192-195.

SILVA, J.M.S. **Estudo silvicultural e econômico do consórcio de *Eucalyptus grandis* com gramíneas sob diferentes espaçamentos em áreas acidentadas**. UFV. Viçosa, 1999. 115p. (Dissertação Mestrado).

SILVA, L.M.S; RODRIGUEZ, L.C.E.; MACÊDO, J.L.V.; SOUZA, G.F. Sistemas agroflorestais em pequenas propriedades rurais: caracterização e avaliação econômica. Estudo de caso: município de Presidente Figueiredo, AM. In: RODRIGUES, L.C.E. **Memória do 1º Simpósio Ibero-Americano de Gestão e Economia Florestal**. Série Técnica IPEF, v.14, n.34. Piracicaba, junho de 2001. p.211.

SILVA, M.L.; VALVERDE, S.R.; PASSOS, C.A.M.; COUTO, L. Viabilidade econômica do reflorestamento do eucalipto consorciado com a cultura do feijão: um estudo de caso. **Revista Árvore**. v.21, n.4, p.527-535, Viçosa, 1997.

SILVA, Z.A.G.P. da G.; FRANKE, I.L.; OLIVEIRA, E.C. Análise econômica de quatro sistemas agroflorestais diferentes implantados no Estado do Acre. In: Congresso Brasileiro Sobre Sistemas Agroflorestais, Porto Velho, 1994. **Anais...** Porto Velho, 1994. p. 399-414.

SIMÕES, S. W.; BRANDI, R. M.; BARBOSA LEITE, N.; BALLONI, E. A. **Formação, manejo e exploração de florestas com espécies de rápido crescimento**. Brasília, IBDF. 1981. 131p.

SIMULA, M.T.; TISSARI, J.T. Market prospects for eucalyptus solid wood products in the European Common Market. In: Seminário Internacional Sobre Produtos Sólidos de Madeira de Alta Tecnologia, 1. Encontro Sobre Tecnologias Apropriadas de Desdobro, Secagem e Utilização da Madeira de Eucalipto, 1. Belo Horizonte, 1998. **Anais...** Belo Horizonte, dezembro, 1998. p.29-48.

SINGH, G. An agroforestry practice for the development of salts lands using *Prosopis juliflora* and *Leptochloa fusca*. In: **Agroforest Systems** 29: 61-75. The Netherlands, 1995.

SMITH, D. M.; LARSON, B. C.; KELTY, M. J.; ASHTON, P. K. S. **The Practice of Silviculture Applied Forest Ecology**. John Wiley & Sons, 1997. 537p.

STEELE, P.H. **Factors determining lumber recovery in sawmilling**. Madison, United States Department of Agriculture, Forestry Service, 1984. 8p. (Genetics Technical Report, FPL-39).

SUDAM – Superintendência do Desenvolvimento da Amazônia. **Rendimento em serraria de trinta espécies de madeiras Amazônicas**. Belém, 1981. 186p.

TAVARES, M.F.R. **Análise técnica e econômica do desdobro de toras de pinus**. UFV: Viçosa, 1988. 62p. (Dissertação de Mestrado).

THIERSCH, A. **Eficiência das distribuições diamétricas para a prognose de produção de *Eucalyptus camaldulensis***. Lavras: UFLA, 1997. 155p. (Dissertação – Mestrado em Engenharia Florestal).

THIERSCH, A.; SCOLFORO, J.R.S. Estimativas e testes da distribuição de frequência diamétrica para *Eucalyptus camaldulensis*, através da distribuição  $S_b$ , por diferentes métodos de ajuste. **Revista Scientia Forestalis**. n.54. p.93-106. Piracicaba, dez, 1998.

TOMÉ, M. ; BURKHART, H.E. distance-dependent competition measures for predicting growth of individual trees. **Forest Science**, v.35, n.3, p.816-831, 1989.

UHL, C.; VERÍSSIMO, A. BARRETO, P.; MATTOS, M.; TARIFA, R. A evolução da fronteira Amazônica: oportunidade para um desenvolvimento sustentável. **Revista Pará Desenvolvimento**, Belém, n. Especial, p. 13-21, jun. 1992.

VALE, A. B.; OLIVEIRA, A. D.; FELFILI, J. M.; QUINTAES, P. C. G. Desbastes Florestais. In: **Brasil Florestal (59)**, Jul/Ago/Set, 1994. p. 45-67.

VANCLAY, J. K. Compatible deterministic and stochastic predictions by probabilistic modeling of individual trees. **Forest Science**, v.37, n.6, p.1656-1663. 1991.

VAUGHAN, C.L.; WOLLIN, A.C.; McDONALD, K.A.; BULGRIN, E.H. Hardwood log grades for standard lumber. **USDA Forest Service Res. Pap.**, 1966. 52p.

VERÍSSIMO, A; BARRETO, P.; MATTOS, M.; TARIFA, R.; UHL, C. Logging impacts and pespects for sustainable forest management in an old Amazonian frontier: The case of Paragominas. **Forest Ecology and Management**, Amsterdan, v.55, p.169-199, 1992.

WARDLAW, T. Producing high quality eucalypt sawlogs – not a job done at the landing. In: **The Future of Eucalypts for Wood Products Meeting**, 1., Tasmania, 2000. Tasmania: IUFRO, 2000. P.357-364.

YAMADA, M. GHOLZ, H.L. Na evaluations of agroforestry systems as a rural development option for the Brazilian Amazon. **Agroforestry Systems**. 55: p.81-87. Dordrecht, 2002.

YOUSSEY, D.A. Multivariate regression model for predicting lumber grade volumes of northern red oak sawlogs. **USDA Forest Service**, 1983 Unpublished draft. 30 p.

ZENID, G.J. Classificação de madeira serrada de eucalipto proposta ABPM/IPT. In: **Seminário sobre processamento e utilização de madeiras de reflorestamento**. Curitiba, 1996. **Anais...** Curitiba: ABPM/SBS, 1996. p.91-96.

## **CAPÍTULO 2**

### **MODELAGEM DO RENDIMENTO NO DESDOBRO DE TORAS DE EUCALIPTO CULTIVADO EM SISTEMA AGROFLORESTAL**

## 1 RESUMO

SOUZA, Álvaro Nogueira. **Modelagem do rendimento no desdobro de toras de eucalipto cultivado em sistemas agroflorestais**. 2005. Cap. 2, p. 72-109. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

O presente trabalho teve como objetivo geral ajustar modelos de rendimento para uma serraria, utilizando-se árvores plantadas em sistemas agroflorestais. Especificamente, pretendeu-se determinar o rendimento no desdobro de toras, considerando a produção de dois tipos de produtos, ajustar modelos para estimar o rendimento do processamento de toras na serraria em função de variáveis dendrométricas (diâmetro e comprimento da tora) e ajustar modelos para estimar o tempo gasto para processar toras na serraria em função de variáveis dendrométricas. A base de dados foi composta por toras de clones de eucalipto divididas em 5 classes de diâmetro, respeitando-se, dentro de cada classe, uma amostra com 5 repetições de 3 toras cada, totalizando 15 toras por classe diamétrica. Como foram avaliados 2 produtos diferentes e o número de toras por classe diamétrica foi de 30, o número total de toras foi de 150. Cada tora em cada repetição teve seu volume real calculado por meio de cubagem rigorosa utilizando-se o método de Smalian, que também calculou o volume de madeira serrada. O tempo gasto no desdobro e as dimensões das toras foram usados para ajustar modelos de rendimento em função do tempo e das características dendrométricas. As equações foram avaliadas em função de maiores valores de coeficiente de determinação, menores valores de erro padrão da estimativa e, principalmente, em função da melhor distribuição dos resíduos. As melhores equações foram as que estimaram o rendimento em função do diâmetro na ponta maior, o diâmetro na ponta menor e o volume das toras. As equações que estimaram o tempo gasto para serrar os dois produtos juntos tiveram performances muito semelhantes. O tempo gasto foi influenciado pelas variáveis dendrométricas e suas combinações.

Palavras-chave: rendimento de serraria, eucalipto, madeira serrada, serraria, equação de rendimento, desdobro de toras, clones, sistema agroflorestal.

---

Comitê de orientação: Antônio Donizette de Oliveira – UFLA (Orientador); José Roberto Soares Scolforo – UFLA (Co-orientador); Natalino Calegário – UFLA (Co-orientador).

## 2 ABSTRACT

SOUZA, Álvaro Nogueira. **Modeling the productivity of the processing of logs from eucalypt planted in agroforest systems.** 2005. Chapter. 2, p. 72-109. Thesis (Doctorate in Forest Engineering) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

The general aim of the present study was to adjust models of productivity for a sawmill using trees planted in agroforest systems. Specifically, it was objectified to assess the productivity of the processing of logs, considering the production of two types of goods; to adjust models to estimate the productivity of the processing of logs in the sawmill in function of dendrometric parameters (diameter and length of the log); to adjust models to estimate the time spent in the processing of logs in the sawmill in function of dendrometric parameters. The data base was composed logs of eucalypt clones, divided in 5 classes of diameter, keeping in every class a sample with 5 replications of 3 logs, totalizing 15 logs per class of diameter. Since 2 different goods were assessed, the number of logs per class of diameter was 30 and the total number of logs was 150. The real volume was calculated for each log in every replication through scaling rigorously, using the Smalian method, also used the volume of sawed wood. The time spent in the processing and the size of the logs were used to adjust models of productivity in function of the time and dendrometric characteristics. The equations were evaluated in function of higher coefficient of determination, lower standard errors of the estimative and, mainly, in function of the best residue distribution. The best equations were those that estimated the productivity in function of the diameter of the largest tip, the diameter of the smallest tip and the volume of the logs. The equations that estimated the time spent to saw the two goods together showed quite similar performances. The time spent was influenced by the dendrometric parameters and their combinations.

Key-words: Productivity of sawmill, eucalypt, sawed wood, sawmill,  
Productivity equation, log processing, clones, agroforest system.

---

Guidance committee: Antônio Donizette de Oliveira – UFLA (Supervisor); José Roberto Soares Scolforo – UFLA (Co-supervisor); Natalino Calegário – UFLA (Co-supervisor).

### 3 INTRODUÇÃO

A produtividade da serraria é influenciada por fatores como característica da matéria-prima, qualidade e tipo de equipamento, tamanho da planta e tipos de produtos a serem produzidos.

A heterogeneidade de forma e dimensões leva o operador a ter que tomar decisões pessoais durante o processamento da madeira. As causas de perdas estão relacionadas à fadiga, à desatenção e à falta de conhecimento, ou de habilidade, dos operadores (Steele, 1984).

O rendimento de uma serraria é determinado pela relação entre o volume de produto ao final da etapa de desdobro e o volume de madeira roliça que entrou no conjunto de serras. Normalmente, o produto é quantificado pela contagem do número de tábuas com dimensões conhecidas e calculado o volume final, o que é uma tarefa na qual se empregam tempo e mão-de-obra em demasia.

Uma alternativa para essa situação seria a utilização de modelos para estimar o rendimento da serraria, uma vez que o prévio conhecimento da quantidade e das características do produto, ao final do processo de desdobro e secagem da madeira, garantiria à empresa o atendimento das exigências do mercado e a negociação com a certeza do atendimento dos contratos de compra e venda de produtos.

A modelagem pode ser aplicada utilizando-se dados de fácil mensuração, como as características dendrométricas do material a ser beneficiado.

O desdobro de toras de eucalipto é cada vez mais comum e sua madeira é utilizada para vários fins. No caso de plantios convencionais, o diâmetro das toras, que é a variável dendrométrica de mais fácil mensuração, influencia o rendimento, dado um grau de afilamento entre as duas pontas da tora. Para árvores plantadas em sistemas agroflorestais, esta influência será mais acentuada, pelo fato de as árvores crescerem em espaçamentos mais amplos e, com isso, ocorrer maior afilamento no sentido base-topo.

Os trabalhos realizados, tentando ajustar modelos para estimativa de rendimento de serrarias, levaram em consideração o volume da tora (Barchet, 2001; SUDAM, 1981), o diâmetro (Adams & Dummire, 1977; Barchet, 2001; Schroeder & Hanks, 1967; Schroeder et al., 1968; Yaussey, 1983), a conicidade (Barchet, 2002) e o comprimento da tora (Leite, 1994). Todos esses trabalhos foram conduzidos para estimativas de rendimento de serrarias, utilizando-se árvores em plantios convencionais ou árvores nativas. Para o caso de árvores plantadas em espaçamentos abertos, como no caso dos sistemas agroflorestais, ainda não se conhece a performance da modelagem.

O uso de modelos para a estimativa do rendimento de serrarias poderá gerar informações importantes para a composição de modelos e a formação de sistemas para se conhecer o rendimento futuro de uma floresta em termos de volume de produto final, proporcionando estratégias mais ousadas e seguras, com vistas aos mercados de tais produtos.

Sendo assim, o presente trabalho teve como objetivo geral ajustar modelos de rendimento para uma serraria, utilizando-se árvores plantadas em sistemas agroflorestais. Especificamente pretendeu-se:

- determinar o rendimento no desdobro de toras considerando a produção de dois tipos de produtos;



- ajustar modelos para estimar o rendimento do processamento de toras na serraria, em função de variáveis dendrométricas (diâmetro e comprimento da tora);
- ajustar modelos para estimar o tempo gasto para processar toras na serraria, em função de variáveis dendrométricas (diâmetro e comprimento da tora).

## 4 MATERIAL E MÉTODOS

### 4.1 Localização e caracterização da área de estudo

A área de estudo pertence à Companhia Mineira de Metais (CMM), Grupo Votorantin, localizada no município de Vazante, na região Noroeste do estado de Minas Gerais. A latitude é 17°36'09'' e a longitude é 46°42'02'' Oeste de Greenwich. A altitude é de 550m. O clima é do tipo Aw, tropical úmido de savana, com inverno seco e verão chuvoso, segundo a classificação de Köppen (Antunes, 1986). A temperatura média anual é de 24°C e a precipitação média anual é de 1.450mm.

As unidades de estudo foram compostas por talhões de um clone de híbridos naturais de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus camaldulensis*, plantado em consórcio com arroz, soja e pastagem no espaçamento 4 x 10 metros, objetivando produzir madeira para serraria e para energia. Os clones são provenientes de matrizes remanescentes de áreas produtivas da própria CMM.

## **4.2 Ajuste de modelos para estimar o rendimento do processamento de toras na serraria em função de variáveis dendrométricas.**

### **4.2.1 Caracterização da serraria**

A serraria considerada neste estudo é de propriedade da Companhia Mineira de Metais, sendo composta pelo seguinte lay out:

- 1) esteira alimentadora de toras: recebe as toras colocadas nas pranchas pelos caminhões responsáveis pelo transporte;
- 2) serra circular dupla: retira as costaneiras das toras;
- 3) transporte longitudinal de rolos: transporta o bloco para o conjunto de multilâminas;
- 4) serra circular múltipla: destina-se à produção de tábuas pela subdivisão de blocos;
- 5) transporte longitudinal de rolos: transporta as tábuas até a mesa de rodízios 10;
- 6) mesa de rodízios: transporta as costaneiras até a serra circular múltipla;
- 7) serra circular múltipla: retira um bloco de costaneira;
- 8) mesa de Rodízios: conduz o bloco da costaneira até a resserra circular;
- 9) resserra circular: retira tábuas do bloco de costaneiras;
- 10) mesa de rodízios: transporta as tábuas até a mesa de rolos livres 16;
- 11) mesa de rodízios: transporta as tábuas originadas das costaneiras até a destopadeira 14;
- 12) mesa de rodízios: conduz os resíduos do conjunto de serras número 4 para o depósito de resíduos;

- 13) mesa de rolos livres: encaminha os resíduos da serragem das costaneiras para o depósito de resíduos;
- 14) destopadeira gabinete pneumática: retira a ponta das tábuas com pequenas rachaduras ou o excesso de produto para adequar às medidas exigidas;
- 15) mesa de rodízios: conduz as tábuas para o local onde ficam depositadas até sua retirada para o armazenamento final;
- 16) mesa de rolos livres: conduz as tábuas do bloco principal até a destopadeira 17;
- 17) destopadeira dupla: retira a ponta das tábuas com pequenas rachaduras ou o excesso de produto para adequar às medidas exigidas das tábuas que saem do processamento do bloco principal;
- 18) esteiras que conduzem os resíduos até seu local de armazenamento.

Essa serraria pode oferecer vários produtos de acordo com as especificações solicitadas pelo mercado, porém, para este estudo, foram considerados apenas dois produtos que apresentaram as seguintes dimensões:

- Produto 1 – tábuas de 10cm de largura, 2,80m de comprimento e 20mm de espessura;
- Produto 2 – tábuas de 14cm de largura, 2,80m de comprimento e 37mm de espessura.

#### **4.2.2 Rendimento no desdobro de toras da serraria em função de variáveis dendrométricas**

O estudo do rendimento da serraria foi desenvolvido em dois momentos. No momento 1, as toras foram agrupadas em cinco classes diamétricas de acordo com as bitolas mínima e máxima da serraria. O diâmetro limitante foi o do extremo mais fino da seção. As classes diamétricas com seus limites inferiores e superiores encontram-se na Tabela 2.1.

**TABELA 2.1** Limites inferiores e superiores de cada uma das cinco classes diamétricas com casca, nas quais as toras foram separadas.

Classes	Limites (cm)
1	15 – 18
2	18 – 21
3	21 – 24
4	24 – 27
5	27 – 30

Não foi possível serrar toras com dimensões além de 30 cm no extremo mais fino da seção, pois, nesse caso, o outro extremo superaria o limite máximo do conjunto de serras, não conseguindo passar pela esteira.

No momento 2, ocorreu a organização das toras no pátio da serraria em “boxes” para cada classe diamétrica, respeitando-se, dentro de cada classe, uma amostra com 5 repetições de 3 toras cada, totalizando 15 toras por classe diamétrica. Como foram avaliados 2 produtos diferentes, o número de toras por classe diamétrica foi de 30 e o número total de toras foi de 150.

Cada tora, em cada repetição, teve seu volume real calculado por meio de cubagem rigorosa, utilizando-se o método de Smalian, conforme a fórmula a seguir:

$$V_i = \left( \frac{g_i + g_{i+1}}{2} \right) * L$$

em que:

$V_i$  = volume da seção considerada;

$g_i$  = área seccional da seção mais fina, com casca;

$g_{i+1}$  = área seccional da seção mais grossa, com casca;

$L$  = comprimento da seção.

Um esquema de como foi realizado o recebimento das toras no pátio da serraria no esquema de box para a classe de diâmetro 1 encontra-se na Figura 2.1.

Classe de diâmetro 1									
Produto 1					Produto 2				
R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	R <sub>3</sub>	R <sub>4</sub>	R <sub>5</sub>	R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	R <sub>3</sub>	R <sub>4</sub>	R <sub>5</sub>
■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
■	■	■	■	■	■	■	■	■	■

**FIGURA 2.1** Esquema do recebimento das toras no pátio da serraria.

O volume total que entrou no conjunto de serras foi obtido somando-se os volumes de cada tora para cada um dos dois produtos avaliados.

Após a quantificação do volume de cada tora e do volume total por repetição, a próxima etapa foi a serragem das toras. Nesta etapa, foi quantificado o tempo gasto para serrar cada repetição de 3 toras. O tempo final foi utilizado no cálculo do rendimento.

Com o produto serrado de cada repetição foram cubadas as peças que saíram no final do conjunto de serras para se conhecer o volume serrado. O volume de cada peça foi obtido multiplicando-se o comprimento pela largura e pela espessura de cada produto. Assim, foi determinado qual o rendimento da serraria, analisando-se qual a quantidade de produto que cada repetição forneceu e somando-se para a obtenção do volume de produto final. A fórmula para o rendimento está representada a seguir:

$$R = \left( \frac{V_{serrado}}{V_{tora}} \right) \times 100$$

em que:

R = rendimento (%);

$V_{serrado}$  = volume de produtos serrados;

$V_{tora}$  = volume da tora com casca.

#### **4.2.3 Rendimento das costaneiras**

Após a passagem das toras pelo conjunto principal de serras, para cada repetição, foram separadas as costaneiras que ainda permitiriam a retirada de pelo menos mais uma peça de iguais dimensões àquelas já serradas. O procedimento em cada repetição para cálculo do volume de produto foi o mesmo e o somatório do volume das tábuas obtido das costaneiras foi somado ao volume de tábuas obtido no conjunto de serras principal. Como as costaneiras pertenciam às repetições previamente cubadas, elas foram separadas na serragem da peça principal e armazenadas conforme o esquema mostrado na Figura 2.1, para posterior serragem. O tempo de serragem também foi corrigido, a exemplo da serragem inicial. O tempo do conjunto de serra principal e do conjunto de serra para costaneiras foi somado, uma vez que as duas etapas de serragem, para o caso da serraria estudada, não ocorrem simultaneamente, por questões operacionais.

#### 4.2.4 Modelagem do rendimento percentual do processamento de toras na serraria

Os dados relativos aos tempos gastos no processamento das toras, bem como suas dimensões, foram usados para ajustar modelos como o que está representado a seguir:

$$R = f(D, D^2, L, L^2, Vt)$$

em que:

R = rendimento do desdobro de toras estimado (%);

D = diâmetro na seção maior da tora (cm);

L = comprimento da tora (m);

Vt = volume da tora (m<sup>3</sup>).

Os diâmetros foram obtidos dividindo-se a circunferência da seção por “ $\pi$ ”. As circunferências foram medidas com a fita métrica. O comprimento da tora foi medido com a trena, embora seja uma medida padronizada da empresa em 2,8m. O volume real da tora foi calculado com a fórmula de Smalian, conforme mostrado em 4.3.2.

#### 4.2.5 Modelagem da produção de tábuas

Para a modelagem da produção de tábuas na serraria foram ajustados modelos como o que está apresentado a seguir:

$$Vtb = f(D, D^2, L, Vt, d, ep)$$

em que:

Vtb = volume de tábuas estimado (m<sup>3</sup>);

d = diâmetro na seção menor de tora (cm);

Lg = largura da tábua (cm);  
ep = espessura (mm).  
Os demais termos já foram definidos.

Os diâmetros foram obtidos da mesma forma como mostrado anteriormente. A largura da tábua, embora sendo uma medida padrão da empresa, foi medida com a fita métrica. O volume real de tábuas ao final do processamento foi calculado com o somatório dos volumes de cada tábua (volume da tábua = espessura x comprimento x largura).

#### 4.2.6 Modelagem do tempo gasto para processar as toras

Foram utilizados modelos para estimar o tempo gasto para processar as toras e obter os produtos, como o mostrado a seguir:

$$T = f (Cl , cc , dm )$$

em que:

T = tempo gasto para serrar as toras (minutos);  
Cl = classe diamétrica da tora com base na seção mais fina (cm);  
cc = centro de classe diamétrica das toras (cm);  
dm = diâmetro médio da tora (cm).

O tempo gasto para o processamento das toras real foi obtido com o uso de um cronômetro digital e constou do tempo para cada repetição de três toras, desde o momento de sua entrada na esteira alimentadora de toras até a saída do produto final.

Portanto, a variável dependente expressou o rendimento (R), a quantidade de produto ao final do desdobro (Vtb) e o tempo gasto no processamento (T). Foram testados vários modelos, variando-se as combinações das dimensões das toras, a classe diamétrica, o volume da tora e o tempo. Assim, foram testados modelos para o produto 1, para o produto 2 e para os produtos 1 e 2 simultaneamente.



Embora o comprimento da tora fosse o mesmo para os dois produtos obtidos na serraria, ele foi considerado nos modelos combinado a outras variáveis. Após o ajuste dos modelos, as equações foram selecionadas, utilizando-se o maior valor de  $R^2$  (coeficiente de determinação), menor valor de  $syx\%$  (erro padrão residual percentual) e a melhor distribuição gráfica dos resíduos em percentagem. A significância das variáveis independentes em cada modelo, de acordo com o Teste “t” de Students, também foi considerada.

Ao todo, foram testados 30 modelos para cada variável, independente para cada produto, totalizando 270 modelos. Foram consideradas apenas as equações que apresentaram estatísticas satisfatórias e significância das variáveis independentes. O método de análise de regressão utilizado foi o dos mínimos quadrados ordinários.

## **5 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **5.1 Rendimento do desdobro de toras**

O rendimento do desdobro de toras na serraria mostrou-se compatível com o rendimento encontrado em outras serrarias, em que pese o fato de cada equipamento ter características próprias que afetam o rendimento. Para o produto 1, o rendimento foi de 38,57% e, para o produto 2, de 37,05%. Esses valores estão na faixa de rendimentos encontrados por Carpinelli (2002) para o desdobro e a produtividade em madeira serrada de uma floresta de *Eucalyptus grandis* que variaram de 33% a 61%.

## 5.2 Modelagem

### 5.2.1 Modelagem do rendimento percentual do processamento de toras na serraria – Produto 1

As melhores estimativas do rendimento, em função das variáveis dendrométricas, estão apresentadas na Tabela 2.2, que traz as equações de rendimento, acompanhadas dos valores de R<sup>2</sup> e de syx% para o produto 1.

**TABELA 2.2** Equações de rendimento do desdobro de toras em serraria, em função de variáveis dendrométricas, para o produto 1 e respectivas medidas de precisão.

Nº	Equação	R <sup>2</sup> %	Syx%
1	$R = 17,931 + (0,481387 \times (1/Vt^2)) - (0,0163012 \times (1/Vt^3))$	76,72	8,98
2	$R = 255,55 + (6,96009 \times Cl) - (7,26525 \times D) - 7,09143 \times d + (853,879 \times Vt)$	77,60	8,81
3	$R = 8,80537 + (20248 \times (1/D^2))$	77,53	8,83
4	$R = 231,271 - (12,1341 \times D) + (0,0647018 \times D^2 \times L)$	77,85	8,76
5	$R = 6,55745 + (4,26687 \times (1/Vt))$	76,87	8,95

Em que:

R = rendimento do desdobro de toras estimado (%);

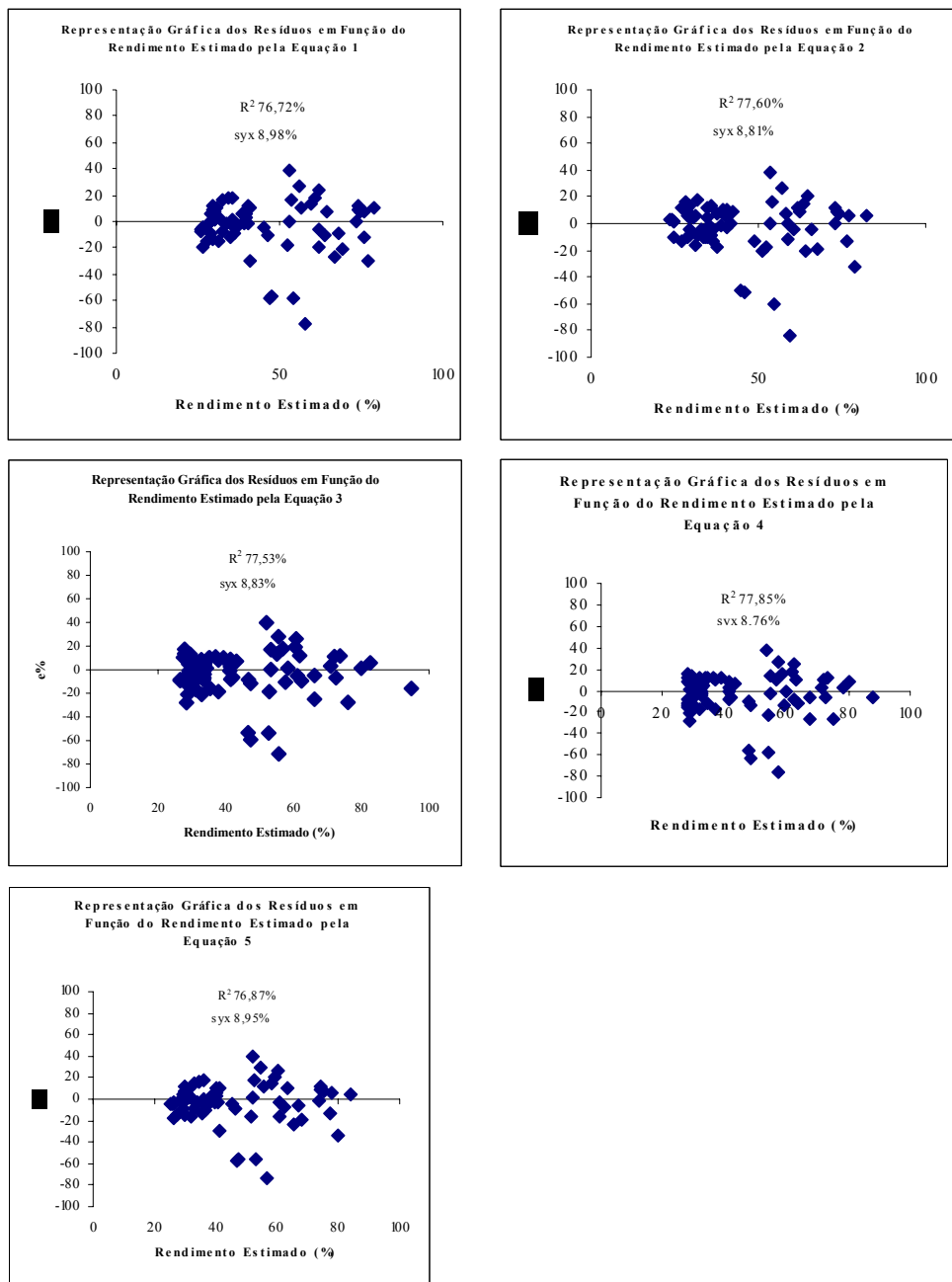
D = diâmetro na seção maior da tora (cm);

L = comprimento da tora (m);

Vt = volume da tora (m<sup>3</sup>);

Cl = classe diamétrica das toras (cm).

Os valores das estatísticas R<sup>2</sup> e syx mostraram que as equações geradas, a partir dos modelos testados, apresentaram performances muito parecidas. Para auxiliar na seleção da melhor equação, foram construídos gráficos dos resíduos em função da variável estimada, conforme mostrado na Figura 2.2.



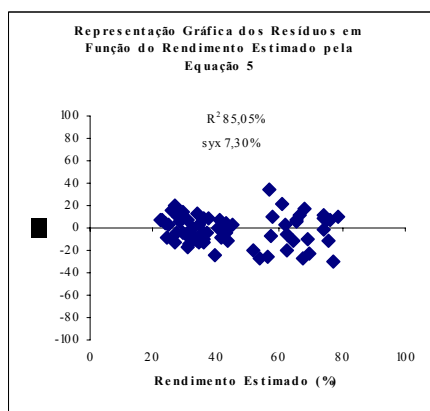
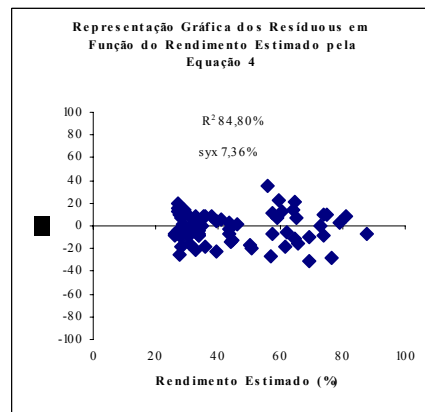
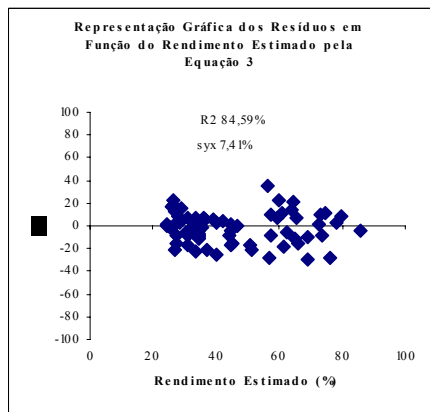
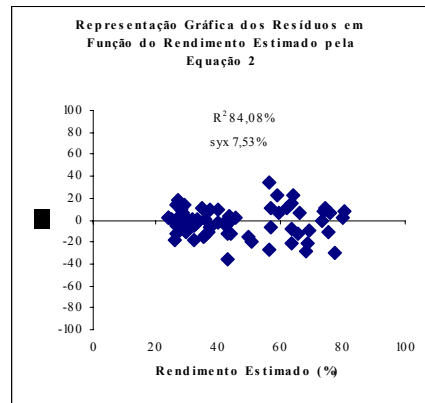
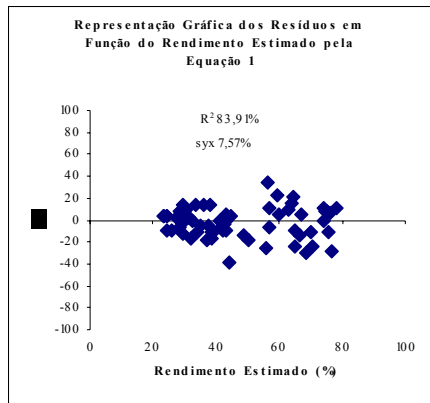
**FIGURA 2.2** Gráfico dos resíduos para o rendimento estimado no desdobro de toras para o produto 1.

A representação gráfica dos resíduos mostrou que houve presença de valores estranhos (out-liers) gerados pela equação. Assim, os valores estranhos foram retirados e novo ajuste foi feito utilizando-se os mesmos modelos na tentativa de se obter melhores resultados. As novas equações e suas respectivas medidas de precisão estão na Tabela 2.3.

**TABELA 2.3** Equações de rendimento do desdobro de toras em serraria em função de variáveis dendrométricas, para o produto 1 e respectivas medidas de precisão após a retirada dos valores estranhos.

Nº	Equação	R <sup>2</sup> %	syx%
1	$R = -4,09772 + (6,28788 \times (1/Vt)) - (0,00534397 \times (1/Vt^3))$	83,91	7,57
2	$R = 201,443 - (5,72091 \times D) - (3,94111 \times d) + (596,746 \times Vt)$	84,09	7,53
3	$R = -8,98537 + (50814,5 \times (1/D^2)) - (438084 \times (1/D^3))$	84,59	7,41
4	$R = 212,713 - (10,3148 \times D) + (0,0506796 \times D^2 \times L)$	84,80	7,36
5	$R = -56,493 + (13,1697 \times (1/Vt)) - (0,33238 \times (1/Vt^2)) + (5,42465 \times Cl)$	85,05	7,30

Notou-se melhora nos valores das estatísticas R<sup>2</sup> e syx, em todos os casos, assim como na distribuição dos resíduos, como pôde ser observado na Figura 2.3. Assim, as equações apresentaram um bom desempenho na estimativa do rendimento da serraria para o caso do produto 1 com base nas características dendrométricas. A significância das variáveis independentes está apresentada na Tabela 2.4, que apresenta também os coeficientes estimados e os valores do Teste “t” de Student.



**FIGURA 2.3** Gráfico dos resíduos para o rendimento estimado para o produto 1, após a retirada dos valores estranhos.

**TABELA 2.4** Coeficientes para o rendimento do volume de tábuas estimado para o produto 1.

Equação	Variável independente	Coeficiente estimado	Valor de “t”	Nível de significância
1	Constante	-4,09772	--	--
	1/Vt	6,28788	7,80336	>99%
	1/Vt <sup>3</sup>	-0,00534397	-2,45728	>95%
2	Constante	201,443	--	--
	D	-5,72091	-4,71632	>99%
	d	-3,94111	-3,2232	>99%
	Vt	596,746	2,72676	>99%
3	Constante	-8,98537	--	--
	1/D <sup>2</sup>	50814,5	4,60219	>99%
	1/D <sup>3</sup>	-438084	-2,7326	>99%
4	Constante	212,713	--	--
	D	-10,3148	-5,33412	>99%
	D <sup>2</sup> *L	0,0506796	3,69796	>99%
5	Constante	-56,493	--	--
	1/Vt	13,1697	5,23225	>99%
	1/Vt <sup>2</sup>	-0,33238	-3,55278	>99%
	Cl	5,42465	2,52515	>95%

O nível de significância das variáveis independentes mostrou que as mesmas estiveram, na sua quase totalidade, acima de 99%. Em todos os modelos testados, as variáveis independentes que não tiveram mais de 95% de grau de significância foram retiradas e novo ajuste foi feito. Para os demais ajustes, o grau de significância das variáveis independentes foi assinalado nas próprias equações.

### 5.2.2 Modelagem da produção de tábuas – Produto 1

O ajuste de modelos e a seleção das melhores equações para a estimativa da produção de tábuas, assim como os demais ajustes realizados neste trabalho, seguiram a mesma lógica de retirada de valores estranhos. Portanto, os

resultados apresentados a partir deste item são aqueles obtidos após nova estimativa sem a presença de valores estranhos.

As melhores equações para estimativas do rendimento em volume de tábuas para o produto 1 estão apresentadas na Tabela 2.5.

**TABELA 2.5** Equações de rendimento do volume de tábuas em serraria, em função de variáveis dendrométricas, para o produto 1, respectivas medidas de precisão e significância das variáveis independentes após a retirada dos valores estranhos.

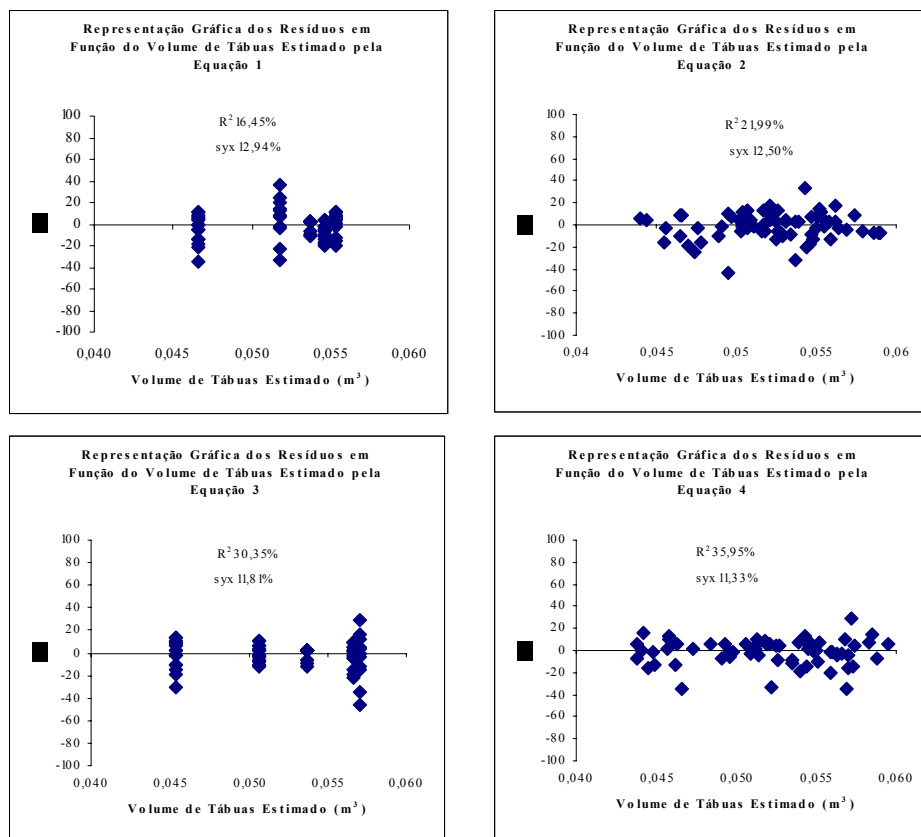
Nº	Equação	R <sup>2</sup>	syx%
1	$V_{tb} = 0,0393327 + (0,00842512 \times CI^{**}) - (0,00110873 \times CI^{2**})$	16,45	12,94
2	$V_{tb} = 0,0501688 + (0,00550899 \times CI^{**}) - (0,00124996 \times rep^*) + (0,00198485 \times t^*) - (0,109851 \times V_{t^*})$	21,99	12,50
3	$V_{tb} = -0,115918 + (1,84818 \times (1/CI^*)) - (6,5366 \times (1/CI^{2*})) + (7,80286 \times (1/CI^{3*})) - (2,95317 \times (1/CI^{5*}))$	30,35	11,81
4	$V_{tb} = 0,0359481 + (0,373811 \times (1/(CI^2 \times V_{t^{**}}))) - (2,07146 \times (1/(CI^3 \times V_{t^{**}}))) + (3,6608 \times (1/(CI^4 \times V_{t^{**}}))) - (1,96253 \times (1/(CI^5 \times V_{t^{**}})))$	35,95	11,33

\* Grau de significância maior que 95%.

\*\* Grau de significância maior que 99%.

Embora o R<sup>2</sup> tenha sido baixo, o erro padrão da estimativa também foi baixo, mostrando que as equações representam bem o volume de tábuas após o processamento, fato que pode ser comprovado pelo grau de significância das variáveis independentes. A equação 4 foi a que se mostrou mais eficiente, quando comparada com as demais, no conjunto de todos os fatores que explicam sua eficiência.

Os gráficos dos resíduos para as equações apresentadas estão mostrados na Figura 2.4, a seguir.



**FIGURA 2.4** Gráfico dos resíduos para o volume de tábuas estimado para o produto 1, após a retirada dos valores estranhos.

A distribuição gráfica dos resíduos confirma a equação 4 como a de melhor performance na estimativa do volume de tábuas para o produto 1.

### 5.2.3 Modelagem do tempo gasto para processar as toras – Produto 1

As equações para a estimativa do tempo gasto para processar as toras para obter o produto 1 estão apresentadas na Tabela 2.6, com as respectivas estatísticas e a significância das variáveis independentes.

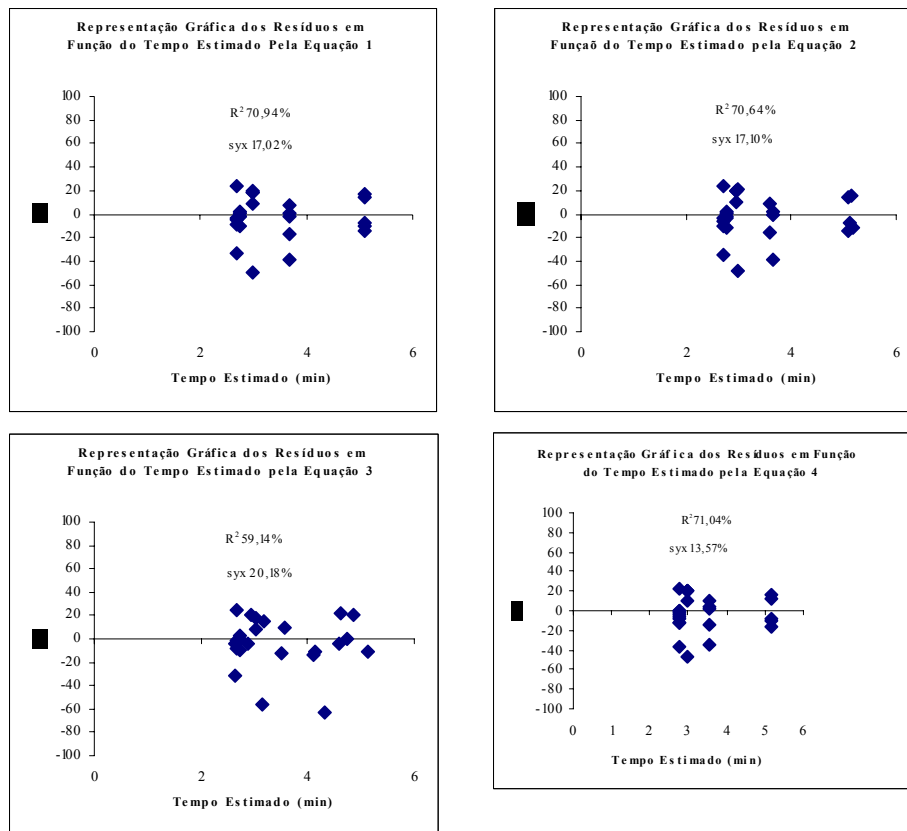


**TABELA 2.6** Equações de estimativa do tempo (min.) gasto no processamento das toras para o produto 1, respectivas medidas de precisão e significância das variáveis independentes.

Nº	Equação	R <sup>2</sup> %	syx%
1	$T = 2,68091 + (0,00388077 \times CI^{4**})$	70,94	17,02
2	$T = 2,71648 + (0,000128817 \times CI^4 \times dm^{**})$	70,64	17,10
3	$T = 2,62772 + (1435,84 \times Vt^{4**})$	59,14	20,18
4	$T = 2,76213 + (0,000766813 \times CI^5**)$	71,04	13,57

\*\* Grau de significância maior que 99%.

O grau de significância das variáveis independentes mostrou que todas são altamente significativas, com mais de 99% de probabilidade. A Figura 2.5, a seguir, apresenta a distribuição gráfica dos resíduos e confirma a equação 4 como a de melhor ajuste, embora haja uma leve tendência a superestimativa do tempo.



**FIGURA 2.5** Gráfico dos resíduos para o tempo estimado para processar as toras para obter o produto 1.

### 5.2.4 Modelagem do rendimento percentual do processamento de toras na serraria – Produto 2

Para a modelagem do rendimento percentual do desdobro de toras para o produto 2, foi seguida a mesma lógica de trabalho e os resultados estão apresentados na Tabela 2.7.

A significância das variáveis independentes mostrou que todas as testadas foram altamente significativas na estimativa do rendimento no desdobro das toras para o produto 2.

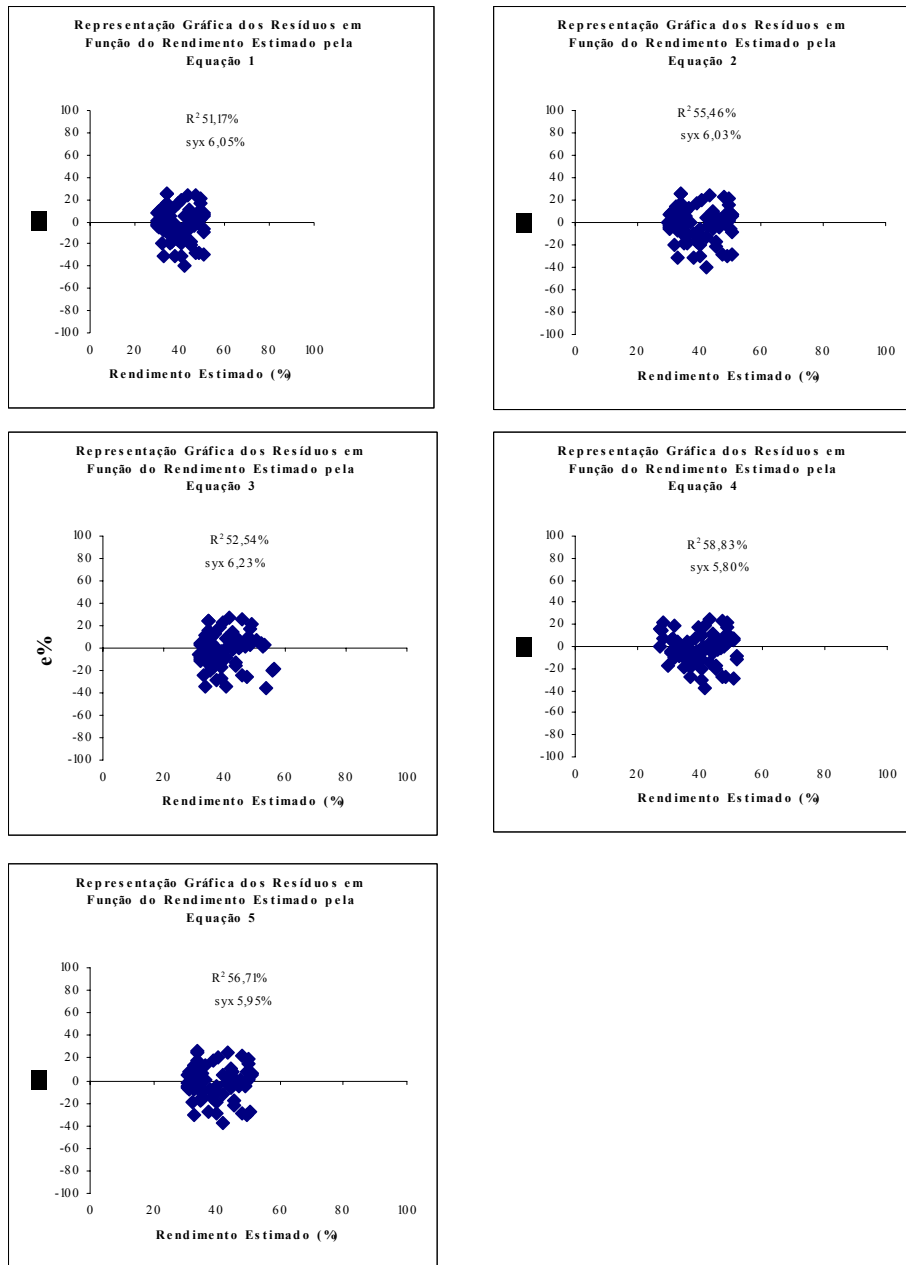
**TABELA 2.7** Equações de rendimento do desdobro de toras em serraria em função de variáveis dendrométricas, para o produto 2, respectivas medidas de precisão e grau de significância das variáveis independentes, após a retirada dos valores estranhos.

Nº	Equação	R <sup>2</sup> %	Syx%
1	$R = 24,8125 + (0,324925 \times (1/Vt^{2**})) - (0,01396 \times (1/Vt^{3**}))$	55,17	6,05
2	$R = 25,8848 + (4,6775 \times 10^6 * (1/dm^{4**})) - (0,000523665 \times (1/Vt^{4**}))$	55,46	6,03
3	$R = 27,649 + (135674 \times (1/dm^3**))$	52,54	6,23
4	$R = 58,2545 + (0,0243132 \times CI^{4**}) - (0,0000846982 \times dm^{4**}) + (17876 \times Vt^{4**})$	58,83	5,80
5	$R = 28,778 + (0,0305982 \times (1/Vt^{3**})) - (0,0016104 \times (1/Vt^{4**}))$	56,71	5,95

\*\* Grau de significância maior que 99%.

Os gráficos dos resíduos das referidas equações estão representados na Figura 2.6.

A distribuição de resíduos de acordo com Scolforo (1997) deve ser o principal argumento na seleção de equações. Assim, os ajustes no caso do produto 2 foram bons para as 5 equações selecionadas.



**FIGURA 2.6** Gráfico dos resíduos para o rendimento estimado para o produto 2, após a retirada dos valores estranhos.

### 5.2.5 Modelagem da produção de tábuas – Produto 2

Os modelos para a estimativa da produção de tábuas para o produto dois tiveram boas performances, como pode ser observado na Tabela 2.8.

**TABELA 2.8** Equações de rendimento do volume de tábuas em serraria, em função de variáveis dendrométricas, para o produto 2, respectivas medidas de precisão e significância das variáveis independentes, após a retirada dos valores estranhos.

Nº	Equação	R <sup>2</sup> %	syx%
1	$V_{tb} = -6,24694 + (2,27334 \times CI^{(1/2)**}) - (21,3954 \times CI^{(1/4)**}) + (25,4064 \times CI^{(1/6)**})$	70,86	13,37
2	$V_{tb} = 0,0399344 + (0,00292235 \times CI^4 \times L \times ep \times Lg^{**})$	70,91	13,36
3	$V_{tb} = 0,0571843 + (0,124042 \times Vt^{**}) - (0,73976 \times (1/CI^{2**})) + (1,81444 \times (1/CI^{3**})) - (1,10366 \times (1/CI^{4**}))$	69,50	13,68
4	$V_{tb} = 0,0282462 + (0,00670516 \times CI^{**})$	64,60	14,74
5	$V_{tb} = 0,434554 - (3,76975 \times (1/CI^{**})) + (12,9829 \times (1/CI^{2**})) - (18,4557 \times (1/CI^{3**})) + (8,84546 \times (1/CI^{4**}))$	72,04	13,10

\*\* Grau de significância maior que 99%.

As estatísticas para o volume de tábuas foram superiores ao rendimento para o produto 2, porém, a significância das variáveis independentes foi igual. O gráfico de distribuição dos resíduos, na Figura 2.7, apresenta a equação 3 como a melhor.

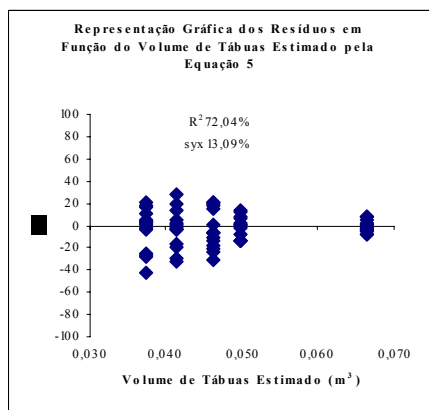
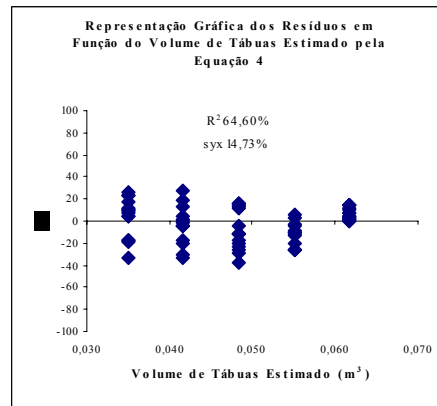
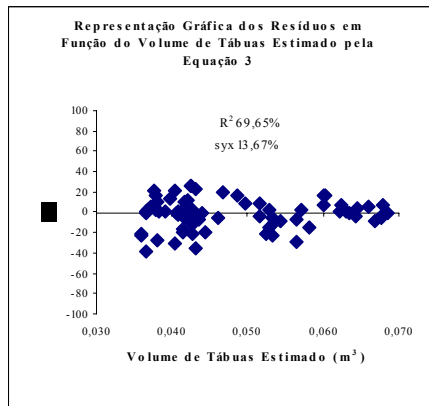
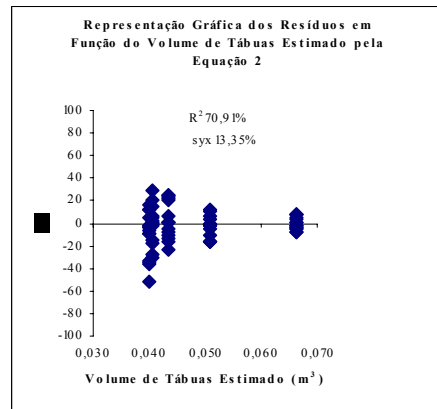
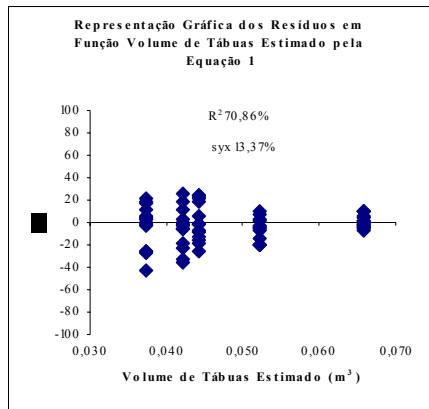


FIGURA 2.7 Gráfico dos resíduos para o volume de tábuas estimado para o produto 2, após a retirada dos valores estranhos.

## 5.2.6 Modelagem do tempo gasto para processar as toras – Produto 2

As equações de estimativa do tempo gasto para processar as toras para o produto 2 estão apresentadas na Tabela 2.9.

**TABELA 2.9** Equações de estimativa do tempo (min.) gasto no processamento das toras para o produto 2, respectivas medidas de precisão e significância das variáveis independentes.

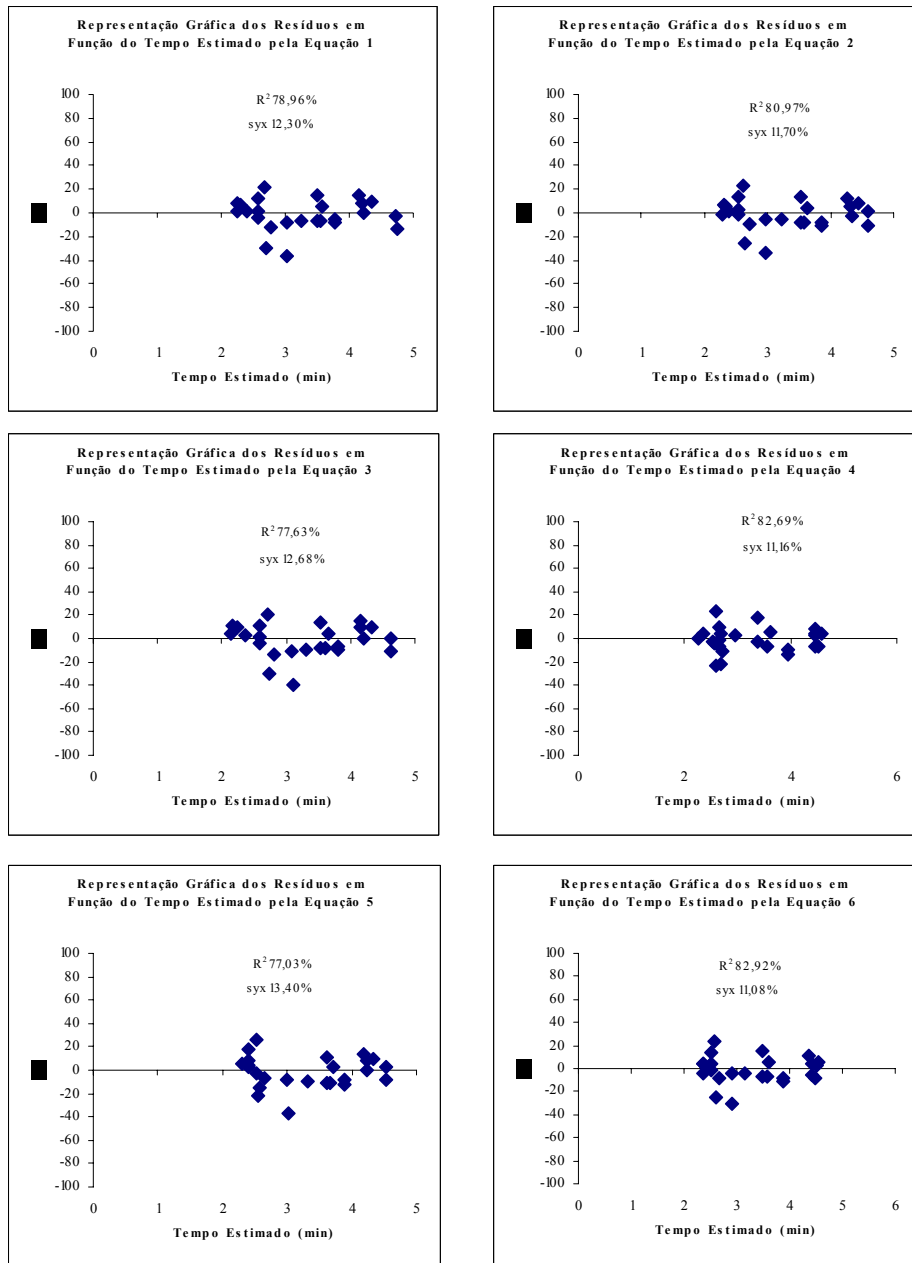
Nº	Equação	R <sup>2</sup> %	syx%
1	$T = 1,04323 + (17,5939 \times Vt^{**})$	78,96	12,30
2	$T = 2,02909 + (1090,9 \times Vt^{3**}) - (3878,79 \times Vt^{4**})$	80,97	11,70
3	$T = -1,1211 + (0,186362 \times dm^{**})$	77,63	12,68
4	$T = 1406,2 - (14,8267 \times dm^*) - (48713,9 \times (1/dm^*)) + (737909 \times (1/dm^{2*})) - (4,12877 \times 10^6 \times (1/dm^{3*}))$	82,69	11,16
5	$T = 5,5486 - (0,0602907 \times (1/Vt^{2**})) + (0,00316581 \times (1/Vt^{3**}))$	77,03	13,40
6	$T = 2,23198 + (7588,29 \times Vt^{4**}) - (30579,5 \times Vt^{5**})$	82,92	11,08

\* Grau de significância maior que 95%.

\*\* Grau de significância maior que 99%.

O grau de significância e as estatísticas apresentadas na Tabela 2.9 mostram bons ajustes para o tempo. As performances das equações foram muito semelhantes, como pode ser observado nos gráficos dos resíduos apresentados na Figura 2.8, a seguir.

A seleção pela distribuição gráfica dos resíduos mostrou que as equações são muito parecidas, podendo-se eleger qualquer uma delas para estimar o tempo, com uma pequena desvantagem para a equação 4, devido à significância maior que 95% das variáveis independentes contra aquelas maiores que 99% das outras equações.



**FIGURA 2.8** Gráfico dos resíduos para o tempo estimado para processar as toras para obter o produto 2.



### 5.2.7 Modelagem do rendimento percentual do processamento de toras na serraria – Produtos 1 e 2 processados conjuntamente

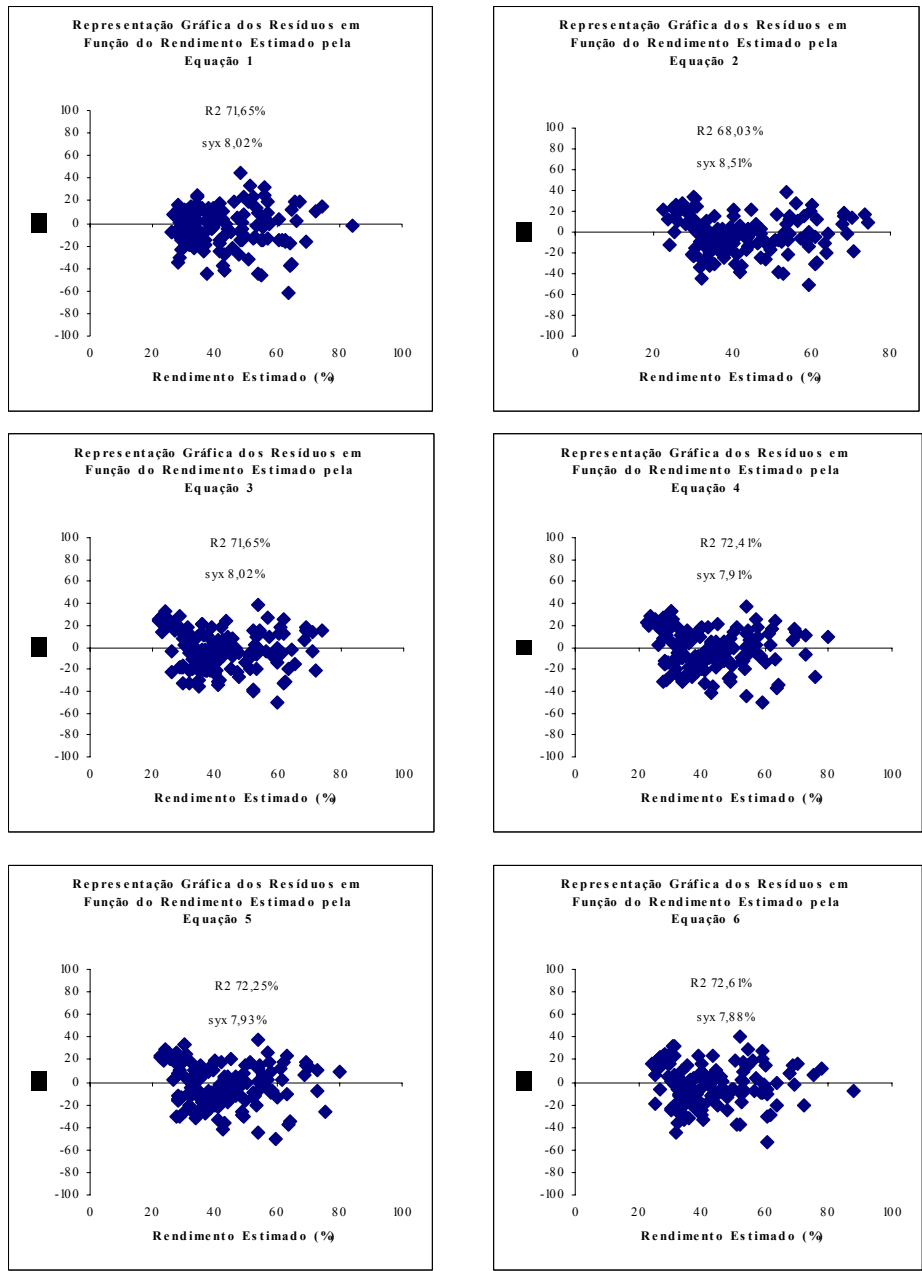
Quando se considerou o processamento dos produtos 1 e 2 conjuntamente, os resultados encontrados mostraram que é possível o uso de equações para rendimento, utilizando o produto como uma das variáveis independentes como mostrado na Tabela 2.10, a seguir.

**TABELA 2.10** Equações de rendimento do desdobro de toras em serraria em função de variáveis dendrométricas, para os produtos 1 e 2 simultaneamente, respectivas medidas de precisão, e grau de significância das variáveis independentes, após a retirada dos valores estranhos.

Nº	Equação	R <sup>2</sup> %	syx%
1	$R = 185,12 - (5,26847 \times D^{**}) - (3,23519 \times d^{**}) - (6,82712 \times pr^{**}) + (563,389 \times Vt^{**})$	71,65	8,02
2	$R = 370,363 - (31,7179 \times D^{**}) + (1,02827 \times D^{2**}) - (0,0115721 \times D^{3**})$	68,03	8,51
3	$R = 185,12 - (5,26847 \times D^{**}) - (3,23519 \times d^{**}) - (6,82712 \times pr^{**}) + (563,389 \times Vt^{**})$	71,65	8,02
4	$R = 115,853 - (0,0645695 \times dm^2 \times L^{**}) + (0,827406 \times Cl^{2**}) - (2,35966 \times pr^{2**}) + (1562,23 \times Vt^{2**})$	72,41	7,91
5	$R = 0,538228 + (57578,6 \times (1/dm^2 \times L^{**}) - (11,1348 \times (1/Cl^{2**}) + 7,9308 \times (1/pr^{2**}))$	72,25	7,93
6	$R = 21,7311 + (17035,4 \times (1/D^{2**})) - (6,26326 \times pr^{**})$	72,61	7,88

\*\* Grau de significância maior que 99%.

As equações de rendimento, considerando os dois produtos processados simultaneamente, proporcionaram boas estimativas e as estatísticas foram muito semelhantes. Na Figura 2.9, a seguir, observa-se que os resíduos também tiveram comportamento muito semelhante entre as 6 equações apresentadas. Considerando a significância das variáveis independentes, todas as equações poderão ser usadas para a estimativa do rendimento para esse caso.



**FIGURA 2.9** Gráfico dos resíduos para o rendimento estimado para os produtos 1 e 2, após a retirada dos valores estranhos.

### 5.2.8 Modelagem da produção de tábuas – Produtos 1 e 2 processados conjuntamente

As equações para a estimativa da produção de tábuas, considerando os produtos 1 e 2, processados simultaneamente, estão apresentadas na Tabela 2.11.

**TABELA 2.11** Equações de rendimento do volume de tábuas em serraria, em função de variáveis dendrométricas, para os produtos 1 e 2 simultaneamente, respectivas medidas de precisão e significância das variáveis independentes, após a retirada dos valores estranhos.

Nº	Equação	R <sup>2</sup> %	syx%
1	$V_{tb} = 0,0547749 - (0,00439501 \times cc^2 \times L \times Lg \times ep^{**}) + (0,166013 \times Cl^2 \times L \times Lg \times ep^{**})$	48,21	14,39
2	$V_{tb} = 0,0736816 - (0,661699 \times (1/Cl^{3**})) - (0,982726 \times (1/Cl^{4**}))$	33,10	16,36
3	$V_{tb} = 0,0492239 + (0,0697975 \times Cl^2 \times L \times Lg \times ep^{**}) - (0,2193 \times pr^2 \times L \times Lg \times ep^{**})$	49,12	14,27
4	$V_{tb} = 0,0494382 + (0,0133369 \times Cl^3 \times L \times Lg \times ep^{**}) - (0,0902427 \times pr^3 \times L \times Lg \times ep^{**})$	49,23	14,25
5	$V_{tb} = 0,0681892 + (0,0985072 \times Cl^2 \times L \times Lg \times ep^{**}) - (0,0000259793 \times cc^{2**}) - (0,00486018 \times pr^{2**}) - (0,0000360553 \times (1/Vt^{2**}))$	50,74	14,04
6	$V_{tb} = 0,0511848 + (5,15017 \times Cl^2 \times Lg^2 \times ep^2 \times L^{2**}) - (18,3548 \times pr^2 \times Lg^2 \times L^2 \times ep^{2**})$	49,73	14,18

\*\* Grau de significância maior que 99%.

A significância das variáveis independentes revelou que elas são apropriadas para serem utilizadas na estimativa do volume de tábuas, considerando os dois produtos simultaneamente. A Figura 2.10, a seguir, apresenta os resíduos para as seis equações selecionadas. De acordo com ela, a equação 6 foi a que apresentou a melhor distribuição gráfica dos resíduos, sendo, assim, considerada a de melhor performance.

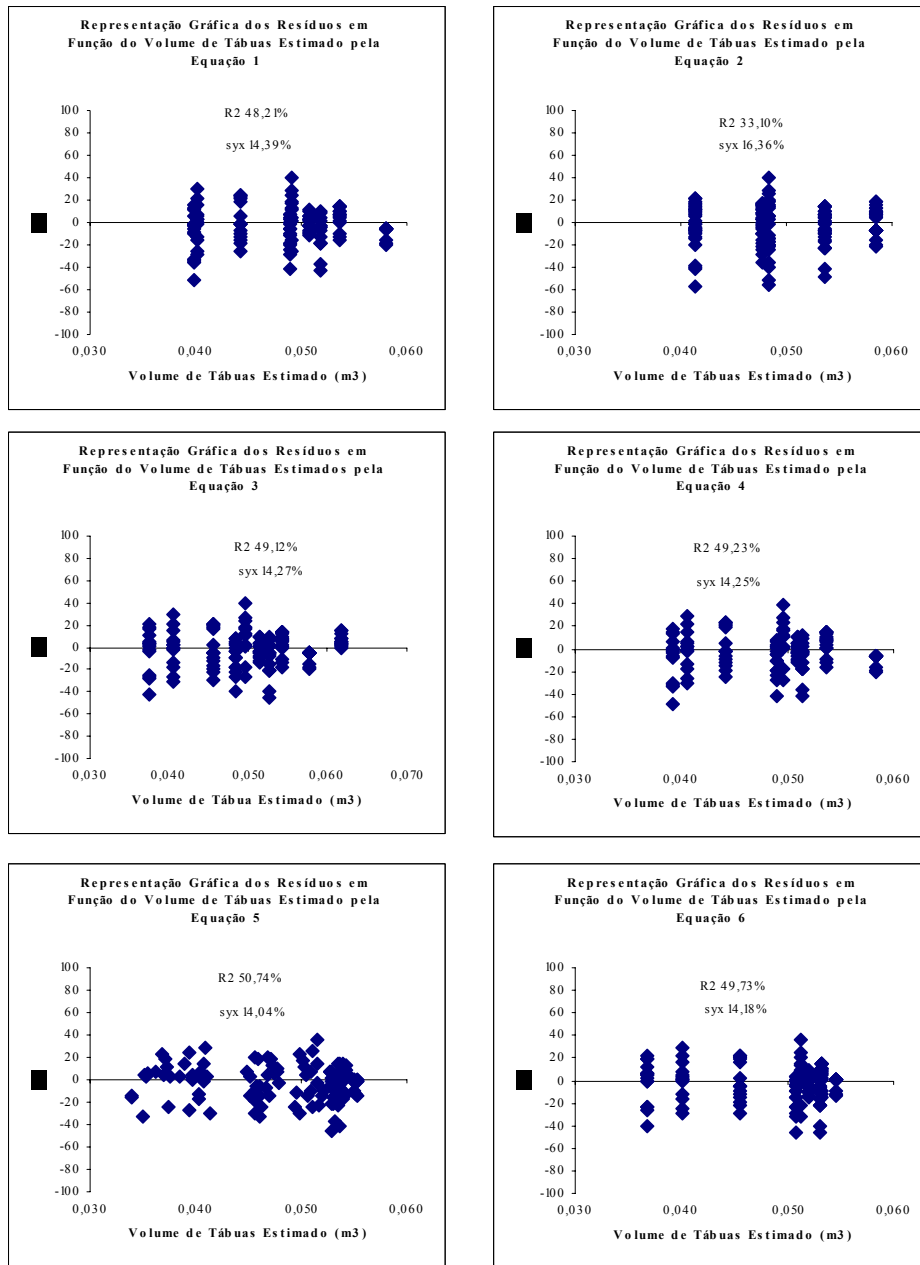


FIGURA 2.10 Gráfico dos resíduos para o volume de tábuas estimado para os produtos 1 e 2, após a retirada dos valores estranhos.

### 5.2.9 Modelagem do tempo gasto para processar as toras – Produtos 1 e 2 processados simultaneamente

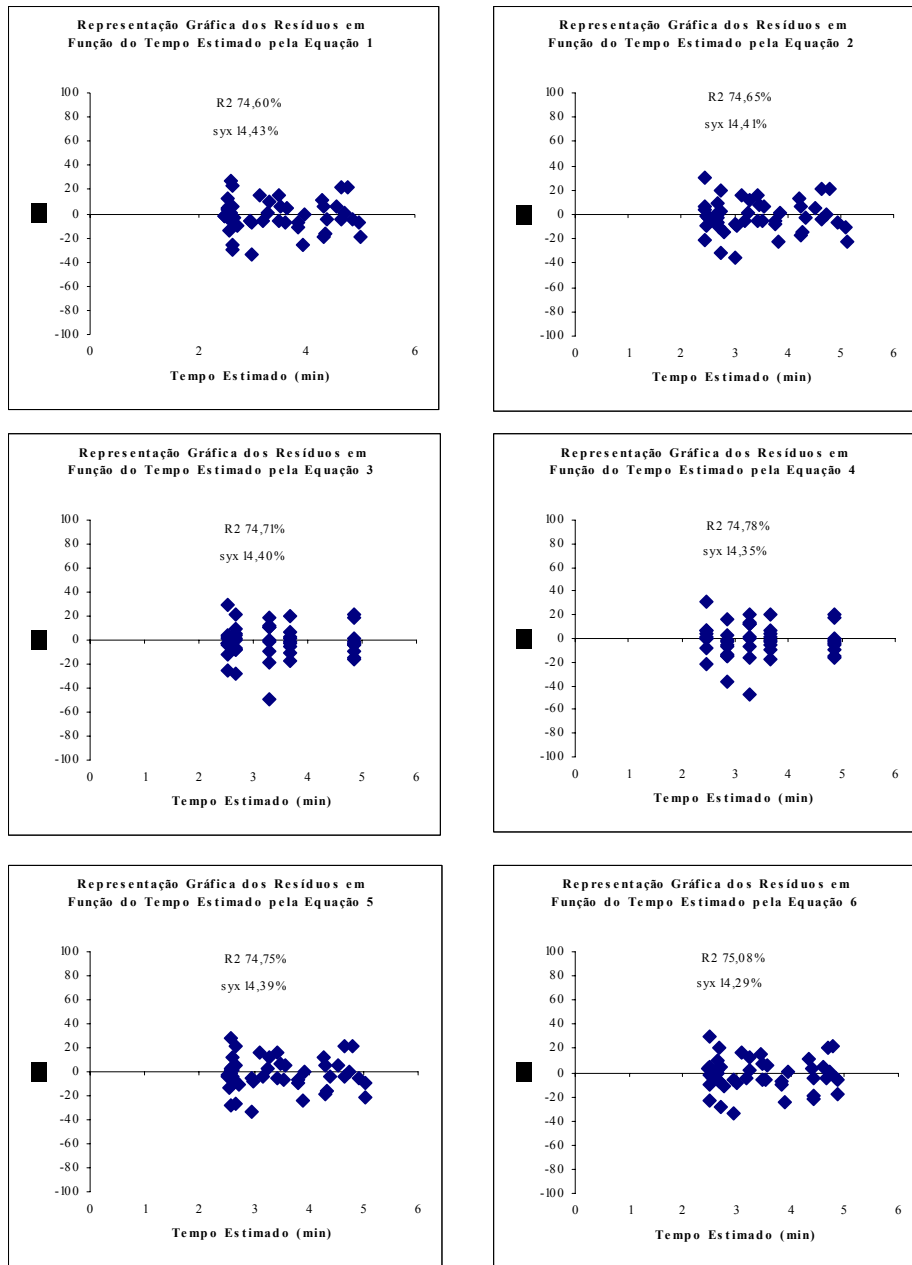
A modelagem do tempo gasto para processar as toras para a obtenção dos produtos 1 e 2, simultaneamente, mostrou-se mais eficiente do que a modelagem para o tempo gasto para serrar cada produto isolado. Tal fato pode ser explicado pelo número de observações, no caso dos dois produtos juntos (50 observações) contra as observações dos produtos isolados (25 observações). As equações estão apresentadas na Tabela 2.12.

**TABELA 2.12** Equações de estimativa do tempo (min.) gasto no processamento das toras para os produtos 1 e 2, simultaneamente, respectivas medidas de precisão e significância das variáveis independentes.

Nº	Equação	R <sup>2</sup> %	syx%
1	$T = -3,43809 + (0,271335 \times dm^{**}) + (1,76446 \times (1/dm^2 \times Vt^{2**}))$	74,60	14,43
2	$T = 2,16082 + (0,00000325452 \times dm^{4**})$	74,65	14,41
3	$T = -6308,75 + (74,8176 \times cc^{**}) + (198214 \times (1/cc^{**})) - (2,74406 \times 10^6 \times (1/cc^{2**})) + (1,41188 \times 10^7 \times (1/cc^{3**}))$	74,71	14,40
4	$T = 7,38742 - (0,395836 \times cc^{**}) + (1,59201 \times Cl^{**})$	74,78	14,35
5	$T = -8,0928 + (0,384924 \times dm^{**}) + (1197,97 \times (1/dm^2**))$	74,75	14,39
6	$T = 2,40054 + (5827,54 \times Vt^{4**}) - (21681,6 \times Vt^{5**})$	75,08	14,29

\*\* Grau de significância maior que 99%.

A eficiência das equações apresentadas na Tabela 2.12 pode ser visualizada, também, na Figura 2.11.



**FIGURA 2.11** Gráfico dos resíduos para o tempo estimado para processar as toras para se obter os produtos 1 e 2, simultaneamente, após a retirada dos valores estranhos.

## 6 CONCLUSÕES

Os resultados alcançados permitiram chegar às seguintes conclusões:

- o rendimento da serraria usada para o desdobro é compatível com o rendimento encontrado em outras serrarias e está dentro de valores normais;
- as equações de rendimento do desdobro de toras para o produto 1 tiveram maior influência do volume e do diâmetro da ponta maior das toras;
- para o produto 2, as melhores equações foram as que estimaram o volume de tábuas em função do volume, do diâmetro da ponta maior e do comprimento das toras;
- quando foram considerados os dois produtos juntos, as melhores equações foram as que estimaram o rendimento em função do diâmetro na ponta maior, o diâmetro na ponta menor e o volume das toras, bem como o tipo de produto considerado;
- as equações de estimativa do tempo gasto para serrar as toras e obter os produtos foram mais influenciadas pela classe diamétrica, no caso do produto 1 e pelo volume das toras, no caso do produto 2;
- as equações que estimaram o tempo gasto para serrar os dois produtos juntos tiveram performances muito semelhantes. O tempo gasto foi influenciado pelas variáveis dendrométricas e suas combinações.

## 7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADAMS, E.L.; DUNMIRE, D.E SOLVE II: A technique to improve efficiency and solve problems in hardwood sawmills. USDA Forest Service Res. Pap. NE-382, 19p.
- ANTUNES, F.Z. Caracterização climática dos Estado de Minas Gerais: Climatologia agrícola. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v.12, n.138, p. 9-13, jun. 1986.
- BARCHET, V.G. **Potencialidades de espécies de *Eucalyptus* para produção de madeira serrada**. Piracicaba: ESALQ/USP, 2002. 166p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia da Madeira).
- CARPINELLI, S.M. **Rendimento no desdobro e produtividade em madeira serrada de uma floresta de *Eucalyptus grandis***. Piracicaba: ESALQ, 2002. 76p. (Dissertação de Mestrado).
- LEITE, H.G. **Conversão de troncos em multiprodutos da madeira, utilizando programação dinâmica**. Viçosa, UFV, Impr. Univ., 1994. 230p. (Tese D.S.).
- SCHROEDER, J.G.; CAMPBELL, R.A.; RODENBACH, R.C. Southern pine log grades for yard and structural lumber. **USDA Forest Service Res. Pap.**, 1968. 9p.
- SCHROEDER, J.G.; HANKS, L.F. Lumber grade yields for factory grade northern red oak sawlogs. **USDA Forest Service Res. Pap.**, 1967. 7p.
- SCOLFORO, J.R.S. **Biometria Florestal Técnicas de Regressão Aplicada para Estimar: volume, biomassa, relação hipsométrica e múltiplos produtos da madeira**. Lavras: UFLA/FAEPE, 1997. 292p.
- STEELE, P.H. **Factors determining lumber recovery in sawmilling**. Madison, United States Department of Agriculture, Forestry Service, 1984. 8p. (Genetics Technical Report, FPL-39).
- SUDAM – Superintendência do Desenvolvimento da Amazônia. **Rendimento em serraria de trinta espécies de madeiras Amazônicas**. Belém, 1981. 186p.



YOUSSEY, D.A. Multivariate regression model for predicting lumber grade volumes of northern red oak sawlogs. **USDA Forest Service**, 1983 Unpublished draft. 30 p.

### **CAPÍTULO 3**

#### **SELEÇÃO DE FUNÇÕES POLINOMIAIS DE AFILAMENTO PARA CLONE DE EUCALIPTO CULTIVADO EM SISTEMA AGROFLORESTAL**

## 1 RESUMO

SOUZA, Álvaro Nogueira. **Seleção de funções de afilamento para clones de eucalipto cultivados em sistemas agroflorestais**. 2005. Cap. 3, p. 110-145. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

O presente trabalho teve como objetivo testar funções de afilamento utilizando modelos polinomiais segmentados e não-segmentados para estimar o perfil do fuste das árvores, a fim de se obter os multiprodutos (madeira para serraria e madeira para energia) a elas associados, para o caso de clones de eucalipto sob regime de sistemas agroflorestais, plantados em espaçamento 10 x 4m. Do material clonal, foram cubados rigorosamente 40 indivíduos pelo método de cubagem relativa. Os diâmetros foram tomados a 0%, 1%, 2%, 3%, 4%, 5%, 10%, 15%, 20%, 25%, 30%, assim até 100% da altura total e também o diâmetro a 1,30m. Os diâmetros foram medidos com suta e a altura total com trena. A espessura da casca também foi medida com o uso do medidor de espessura de casca. O volume real foi obtido por meio do emprego da fórmula de Smalian. As árvores foram separadas em 8 classes diamétricas: 15,0 a 17,9cm; 18,0 a 20,9cm; 21,0 a 23,9cm; 24,0 a 26,9cm; 27,0 a 29,9cm; 30,0 a 32,9cm; 33,0 a 35,9cm e maior que 36,0cm de diâmetro medido à altura de 1,30 metro. Foram cubadas 5 árvores por classe. Os modelos segmentados testados foram o de Clark et al. (1991), de Max e Burkhart (1976) e de Parresol, Hotvedt e Cao (1987). Os modelos não-segmentados foram o de Schöepfer (1966), de Hradetzky (1976) e o de Goulding & Murray (1976). Os modelos foram avaliados em função das seguintes estatísticas: desvio médio em cada posição de medição ao longo do fuste, desvio padrão das diferenças, soma de quadrados do resíduo relativo e resíduo percentual. O modelo que melhor estimou os diâmetros ao longo do fuste foi o modelo do polinômio de potências fracionárias e inteiras, com 31,43%. O modelo do polinômio do quinto grau estimou o volume com maior acurácia em mais da metade das observações (51,43%) mantendo-se à frente dos demais.

Palavras-chave: função de afilamento, taper, eucalipto, sistema agroflorestal, clone, multiprodutos.

---

Comitê de orientação: Antônio Donizette de Oliveira – UFLA (Orientador); José Roberto Soares Scolforo – UFLA (Co-orientador); Natalino Calegário – UFLA (Co-orientador).

## 2 ABSTRACT

SOUZA, Álvaro Nogueira. **Selection of taper function for eucalypt clones grown in agroforest systems.** 2005. Chapter 3, p. 110-145. Thesis (Doctorate in Forest Engineering) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

The objective of the present study was to test taper function using segmented and non-segmented polynomial models to estimated the profile of the trees' trunk, aiming to obtain the various wood-associated goods (wood for sawmill and wood for energy), from eucalypt clones grown in agroforest systems, planted at the spacing 10 x 4m. Forty trees from the material named clone 58 were rigorously scaled by the method of relative scaling. The diameters were measured at 0%, 1%, 2%, 3%, 4%, 5%, 10%, 15%, 20%, 25%, 30%, and so on, up to 100% of the total height, and also the diameter at 1.30m. The diameters were measured with suta and the total height with measuring tape. The bark thickness was also measured, using a bark thickness meter. The real volume was obtained through the Formula of Smalian. The trees were separated in 8 diametric classes: 15.0 to 17.9cm; 18.0 to 20.9cm; 21.0 to 23.9cm; 24.0 to 26.9cm; 27.0 to 29.9cm; 30.0 to 32.9cm; 33.0 to 35.9cm and greater than 36.0cm of diameter at 1.30m. Five trees per class were scanned. The segmented models testes were those of Clark et al (1991); Max e Burkhart (1976); and Parresol, Hotvedt & Cao (1987). The non-segmented models were those of Schöpfer (1966); Hradetzky (1976); and Goulding & Murray (1976). The models were evaluated in function of the following statistics: average deviation in each position of mensuration throughout the trunk, standard deviation of the differences, relative sum of squares of residues and percentage of residues. The model that better estimated the diameters throughout the trunk was the Fractional and Integer Polynomial Model with 31.43%. The Fifth Degree Polynomial Model estimated the volume with higher accuracy in more than a half of the observations (51.43%), being ahead of the others.

Key-words: taper function, taper, eucalypt, agroforest system, clone, multiproducts.

---

Guidance committee: Antônio Donizette de Oliveira – UFLA (Supervisor); José Roberto Soares Scolforo – UFLA (Co-supervisor); Natalino Calegário – UFLA (Co-supervisor).

### 3 INTRODUÇÃO

O mercado de produtos florestais, assim como a maioria dos mercados de outros produtos, é exigente e organizado, de maneira que as empresas fornecedoras de matéria-prima de base florestal necessitam ter total controle sobre a produção para que, na cadeia produtiva, todos os agentes cumpram suas metas e o fluxo de mercadorias seja contínuo. O conhecimento da quantidade de produto estocado no povoamento florestal é uma importante ferramenta para equacionar a venda e entrega de tais produtos no tempo adequado.

Uma forma de se quantificar a produção de madeira com grande precisão tem sido o uso de funções de afilamento ou “taper”, que fornecem informações do diâmetro a qualquer altura e da altura correspondente a qualquer diâmetro ao longo do fuste das árvores. Conhecendo-se a quantidade de peças com dimensões predeterminadas pelas exigências do mercado ou pela necessidade da própria empresa, o controle de estoque e o fornecimento de matéria-prima garantirão o atendimento da demanda e proporcionarão à empresa a negociação com pontualidade e credibilidade.

As funções de afilamento têm sido testadas e selecionadas em várias situações, como em Assis et al. (2002) para *Pinus taeda* e Ferreira (1999) para *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus cloeziana*. Porém, como, no caso deste trabalho, a situação é de uma densidade de plantio menor com árvores crescendo em 40m<sup>2</sup> (espaçamento 10 x 4m), serão testados vários modelos, uma vez que existem duas situações que causam transformações no adelgaçamento dos fustes das árvores que são o próprio espaçamento aberto e a desrama artificial para eliminar a ocorrência de nós.

De acordo com Assis et al. (2002), o grau de precisão com o uso de funções de afilamento depende do modelo utilizado e da forma do tronco. Com isso, variações nas formas dos troncos, ocasionadas pelo espaçamento aberto e pelos tratos silviculturais, pedem que vários modelos sejam testados até que se encontre um que melhor represente a forma do fuste das árvores.

O cultivo de espécies florestais para a obtenção de multiprodutos vem sendo difundido há alguns anos e praticado em muitas empresas com o uso de toda a árvore. A árvore é dividida em várias seções e, a cada uma delas é dada a destinação que apresentar maior valor agregado. As coníferas são as mais utilizadas em plantios para fins de uso múltiplo. O uso de espécies folhosas em reflorestamento, principalmente as do gênero *Eucalyptus* para fins de utilização em serraria, foi intensificado na década de 1990. Os plantios, nesses casos, utilizavam espaçamentos convencionais e não eram exigidos muitos tratos silviculturais, dada a desrama natural das espécies.

O uso de espécies de eucalipto em sistemas agroflorestais com o objetivo de produzir madeira para uso em serraria é uma inovação e requer o conhecimento dos estoques de produtos nos povoamentos, uma vez que o ciclo de produção mais longo e o custo de produção, aumentado pelos tratos silviculturais, oneram a atividade e levam a empresa a vislumbrar melhores oportunidades de mercado, levando-se em conta a agregação de valor ao produto. Portanto, o uso de funções de afilamento para gerar informações precisas da quantidade de produto com dimensões conhecidas se torna uma ferramenta de capital importância para auxiliar a empresa nas tomadas de decisão.

Diante do exposto, o presente trabalho teve o objetivo de testar funções de afilamento utilizando modelos polinomiais segmentados e não segmentados para estimar o perfil do fuste das árvores para obter os multiprodutos (madeira para serraria e madeira para energia) a elas associados, para o caso de clones de

eucalipto sob regime de sistemas agroflorestais, plantados em espaçamento 10 x 4m.

## 4 MATERIAL E MÉTODOS

### 4.1 Localização e caracterização da área de estudo

A área de estudo pertence à Companhia Mineira de Metais (CMM) Grupo Votorantin, localizada no município de Vazante, na região Noroeste do estado de Minas Gerais. A latitude é 17°36'09'' e a longitude é 46°42'02'' oeste de Greenwich. A altitude é de 550m. O clima é do tipo Aw, tropical úmido de savana, com inverno seco e verão chuvoso, segundo a classificação de Köppen (Antunes, 1986). A temperatura média anual é de 24°C e a precipitação média anual é de 1.450mm.

As unidades de estudo foram compostas por talhões de um clone de híbridos naturais de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus camaldulensis*, plantados em consórcio com arroz, soja e pastagem, no espaçamento 4 x 10 metros, objetivando produzir madeira para serraria e para energia. Os clones são provenientes de matrizes remanescentes de áreas produtivas da própria CMM.

O povoamento florestal passou por três intervenções de tratos silviculturais. Com um ano e meio de idade, a primeira intervenção foi realizada utilizando-se foice e serrote para desrama artificial até a altura de 2 metros. Aos dois anos e meio o povoamento passou por novos tratos silviculturais. Desta vez, com o uso do serrote, as árvores foram podadas até a altura de 4 metros. Com três anos e meio de idade o povoamento passou por mais uma intervenção,

quando a poda atingiu 6 metros de altura, que é a parte do fuste destinada ao crescimento de madeira livre de nós.

## 4.2 O levantamento de campo

Os projetos que participaram do presente estudo tinham árvores com as seguintes idades à época do levantamento: 2,5; 3,5; 5,5; 6,5; 8,5.

### 4.2.1 Coleta dos dados e quantificação dos volumes das árvores da amostra

Das árvores do clone foram cubados, rigorosamente, 40 indivíduos pelo método de cubagem relativa. Os diâmetros foram tomados a 0%, 1%, 2%, 3%, 4%, 5%, 10%, 15%, 20%, 25%, 30%, assim até 100% da altura total e também o diâmetro a 1,30m. Os diâmetros foram medidos com suta e a altura total com trena. A espessura da casca também foi medida com o uso do medidor de espessura de casca.

O volume real foi obtido por meio do emprego da fórmula de Smalian, que é dada por:

$$V_i = \left( \frac{g_i + g_{i+1}}{2} \right) \times L$$

em que:

$V_i$  = volume da seção considerada (o volume total é dado pelo somatório dos volumes das seções);

$g_i$  = área seccional do extremo da seção;

$g_{i+1}$  = área seccional do outro extremo da seção;

$L$  = comprimento da seção.



As árvores foram separadas em 8 classes diamétricas, a saber: 15,0 a 17,9cm; 18,0 a 20,9cm; 21,0 a 23,9cm; 24,0 a 26,9cm; 27,0 a 29,9cm; 30,0 a 32,9cm; 33,0 a 35,9cm e maior que 36,0cm de diâmetro medido à altura de 1,30 metro. Foram cubadas 5 árvores por classe.

### 4.3 Funções de afilamento

Para o estudo da forma da árvore e determinação do melhor método para sua representação, foram testados modelos polinomiais segmentados e não-segmentados.

#### 4.3.1 Modelos polinomiais segmentados

##### a) Modelo de Clark et al. (1991)

O modelo para a predição do volume comercial ( $d_i$ ) é:

$$d_i = \left[ I_s \left\{ D^2 \left( 1 + \left( \alpha_1 + \frac{\alpha_2}{D^3} \right) * \left( \left( 1 - \frac{h_i}{H} \right)^{\alpha_3} - \left( 1 - \frac{1,3}{H} \right)^{\alpha_3} \right) / \left( 1 - \left( 1 - \frac{1,3}{H} \right)^{\alpha_3} \right) \right) \right\} + \right. \\ \left. I_B \left\{ D^2 - (D^2 - F^2) \left( \left( 1 - \frac{1,3}{H} \right)^{\beta_1} - \left( 1 - \frac{h_i}{H} \right)^{\beta_1} \right) / \left( \left( 1 - \frac{1,3}{H} \right)^{\beta_1} - \left( 1 - \frac{5,2}{H} \right)^{\beta_1} \right) \right\} + \right. \\ \left. + I_T \left\{ F^2 \left( \gamma_2 \left( \left( \frac{h_i - 5,2}{H - 5,2} \right) - 1 \right)^2 + I_M \left( \frac{1 - \gamma_2}{\gamma_1^2} \right) * \left( \gamma_1 - \left( \frac{h_i - 5,2}{H - 5,2} \right) \right)^2 \right) \right\} \right]^{0,5}$$

em que:

$\alpha_i$  = parâmetros a serem estimados para seção do tronco abaixo de 1,3m;

$\beta_1$  = parâmetro a ser estimado para a seção do tronco entre 1,3m e 5,2m;

$\gamma_i$  = parâmetros a serem estimados para a seção do tronco acima de 5,2m;

F = diâmetro com casca (cm) a 5,2m de altura (classe de altura do Quociente de Forma de Girard);

$I_s = 1$  se  $h_i < 1,3m$ ;

$I_s = 0$  se diferente da condição acima;

$I_B = 1$  se  $1,3m \leq h_i \leq 5,2m$ ;

$I_B = 0$  se diferente da condição acima;

$I_M = 1$  se  $h_i < (5,2 + \gamma_2(h_i - 5,2))$ ;

$I_M = 0$  se diferente da condição acima;

$d_i$  = diâmetro comercial;

D = diâmetro a 1,3 m de altura (cm);

H = altura total (m);

$h_i$  = altura comercial (m);

A expressão para a estimativa do volume a partir do Polinômio Segmentado de Clark assume a seguinte forma:

$$\begin{aligned}
V = \frac{\pi}{40000} * & \left\{ I_1 * D^2 * \left[ \left[ 1 - \left( 1 - \frac{1,3}{H} \right)^{\alpha_3} * \left[ \left( \alpha_1 + \frac{\alpha_2}{D^3} \right) / \left( 1 - \left( 1 - \frac{1,3}{H} \right)^{\alpha_3} \right) \right] \right] \right] * \right. \\
& * (U_1 - L_1) + \left[ \left( \alpha_1 + \frac{\alpha_2}{D^3} \right) / \left( 1 - \left( 1 - \frac{1,3}{H} \right)^{\alpha_3} \right) \right] * \left[ \left( 1 - \frac{L_1}{H} \right)^{\alpha_3} * (H - L_1) - \left( 1 - \frac{h_2}{H} \right)^{\alpha_3} * (H - U_1) \right] / (\alpha_3 + 1) \right] + \\
& + I_2 * I_3 * \left[ \left[ D^2 - \frac{D^2 - F^2}{\left( 1 - \frac{1,3}{H} \right)^{\beta_1} - \left( 1 - \frac{5,2}{H} \right)^{\beta_1}} * \left( 1 - \frac{1,3}{H} \right)^{\beta_1} \right] * (U_2 - L_2) + \frac{D^2 - F^2}{\left( 1 - \frac{1,3}{H} \right)^{\beta_1} - \left( 1 - \frac{5,2}{H} \right)^{\beta_1}} * \right. \\
& \left. \left[ \left( 1 - \frac{L_2}{H} \right)^{\beta_1} * (h - L_2) - \left( 1 - \frac{U_2}{H} \right)^{\beta_1} * (H - U_2) \right] / (\beta_1 + 1) \right] + I_4 * F^2 * \left[ \gamma_2 * (U_3 - L_3) - \gamma_2 * \right. \\
& \left. \left[ \frac{(U_3 - 5,2)^2 - (L_3 - 5,2)^2}{H - 5,2} \right] + \frac{\gamma_2}{3} * \left[ \frac{(U_3 - 5,2)^3 - (L_3 - 5,2)^3}{(H - 5,2)^2} \right] + I_5 * \frac{1}{3} * \left( \frac{1 - \gamma_2}{\gamma_1^2} \right) * \right. \\
& \left. * \left[ \frac{[\gamma_1 * (H - 5,2) - (L_3 - 5,2)]^3}{(H - 5,2)^2} \right] - I_6 * \frac{1}{3} * \left( \frac{1 - \gamma_2}{\gamma_1^2} \right) * \left[ \frac{[\gamma_1 * (H - 5,2) - (U_3 - 5,2)]^3}{(H - 5,2)^2} \right] \right] \left. \right\}
\end{aligned}$$

Sendo:

$$\begin{aligned}
L_1 = h_1 \text{ se } h_1 > 0; & \quad L_2 = h_1 \text{ se } h_1 > 1,3\text{m}; & \quad L_3 = h_1 \text{ se } h_1 > 5,2\text{m}; \\
L_1 = 0 \text{ se } h_1 < 0; & \quad L_2 = 1,3 \text{ se } h_1 \leq 1,3\text{m}; & \quad L_3 = 5,2 \text{ se } h_1 \leq 5,2\text{m};
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
U_1 = h_2 \text{ se } h_2 < 1,3\text{m}; & \quad U_2 = h_2 \text{ se } h_2 < 5,2\text{m}; & \quad U_3 = h_2 \text{ se } h_2 < H; \\
U_1 = 1,3 \text{ se } h_2 \geq 1,3\text{m}; & \quad U_2 = 5,3 \text{ se } h_2 \geq 5,2\text{m}; & \quad U_3 = H \text{ se } h_2 \geq H;
\end{aligned}$$

$$\begin{array}{lll}
I_1 = 1 \text{ se } h_1 < 1,3\text{m}; & I_2 = 1 \text{ se } h_1 < 5,2\text{m}; & I_3 = 1 \text{ se } h_2 > 1,3\text{m}; \\
I_1 = 0 \text{ se } h_1 \geq 1,3\text{m}; & I_2 = 0 \text{ se } h_1 \geq 5,2\text{m}; & I_3 = 0 \text{ se } h_2 \leq 1,3\text{m};
\end{array}$$

$$\begin{array}{ll}
I_4 = 1 \text{ se } h_2 > 5,2\text{m}; & I_5 = 1 \text{ se } (L_3 - 5,2) < [\gamma_1 * (H - 5,2)]; \\
I_4 = 0 \text{ se } h_2 \leq 5,2\text{m}; & I_5 = 0 \text{ se } (L_3 - 5,2) \geq [\gamma_1 * (H - 5,2)];
\end{array}$$

$$\begin{array}{l}
I_6 = 1 \text{ se } (U_3 - 5,2) < [\gamma_1 * (H - 5,2)]; \\
I_6 = 0 \text{ se } (U_3 - 5,2) \geq [\gamma_1 * (H - 5,2)];
\end{array}$$

**b) Modelo de Max & Burkhardt (1976)**

$$d_i = D \left[ \beta_1 (X - 1) + \beta_2 (X^2 - 1) + \beta_3 (a_1 - X)^2 * I_1 + \beta_4 (a_2 - X)^2 * I_2 \right]^{0,5} + e_i$$

Sendo:  $a_1$  e  $a_2$  os pontos de ligação dos polinômios;

$$X = h_i/H;$$

$$I_i = 1 \text{ se } X \leq a_i;$$

$$I_i = 0 \text{ se } X > a_i;$$

$$i = 1, 2;$$

$\beta_i$  = parâmetros a serem estimados;

$d_i, D, h_i, H, e_i$  já foram definidos anteriormente.

Integrando-se o modelo que propicia a estimativa de diâmetro em relação a qualquer valor de  $h_i$ , obtem-se a expressão que permite estimar os volumes comerciais de uma altura  $h_1$  até a altura  $h_2$ . Quando  $h_2 = H$  e  $h_1 = 0$ , tem-se o volume total da árvore.

$$V = \frac{\pi}{40000} * D^2 * H * \left[ \frac{\beta_2}{3} * \left( \left( \frac{h_2}{H} \right)^3 - \left( \frac{h_1}{H} \right)^3 \right) + \frac{\beta_1}{2} * \left( \left( \frac{h_2}{H} \right)^2 - \left( \frac{h_1}{H} \right)^2 \right) - (\beta_1 + \beta_2) * \left( \left( \frac{h_2}{H} \right) - \left( \frac{h_1}{H} \right) \right) \right. \\ \left. - \frac{\beta_3}{3} * \left( \left( a_1 - \frac{h_2}{H} \right)^3 * I_1 - \left( a_1 - \frac{h_1}{H} \right)^3 * J_1 \right) - \frac{\beta_4}{3} * \left( \left( a_2 - \frac{h_2}{H} \right)^3 * I_2 - \left( a_2 - \frac{h_1}{H} \right)^3 * J_2 \right) \right]$$

sendo:  $i = 1, 2$ ;

$V$  = Volume da seção entre  $h_1$  e  $h_2$  ( $m^3$ );

$I_i = 1$  se  $(h_2/H) \leq a_i$ ;                       $J_i = 1$  se  $(h_2/H) \leq a_i$ ;

$I_i = 0$  se  $(h_2/H) > a_i$ ;                       $J_i = 0$  se  $(h_2/H) > a_i$ ;

$a_1$ ;  $a_2$ ;  $h_i$ ;  $D$ ;  $H$ ;  $\beta_i$ ;  $e_i$ , conforme definidos anteriormente.

### c) Modelo proposto por Parresol et al. (1987)

O modelo para predição do diâmetro comercial ( $d_i$ ) é:

$$d_i = D \left[ Z^2 (\beta_1 + \beta_2 Z) + (Z - a)^2 \{ \beta_3 + \beta_4 (Z + 2a) \} I \right]^{0.5} + e_i$$

sendo:  $a$  = ponto de ligação dos polinômios;

$$Z = 1 - \frac{h_i}{H};$$

$$I \begin{cases} = 1 \text{ se } Z \geq a; \\ = 0 \text{ se } Z < a; \end{cases}$$

$d_i$ ,  $D$ ,  $h_i$ ,  $H$ ,  $\beta_i$ , e  $e_i$  = já foram definidos anteriormente.

Integrando-se o modelo que propicia a estimativa do diâmetro para qualquer altura  $h_i$ , tem-se a expressão que permite a estimativa dos volumes.

$$V = \frac{\pi}{40000} * H * \left\{ \left[ \frac{D^2(\beta_2 + \beta_4 * I)}{4} * (Z_2^4 - Z_1^4) \right] + \left[ \frac{D^2(\beta_1 + \beta_3 * I)}{3} * (Z_2^3 - Z_1^3) \right] + \right. \\ \left. + \left[ \frac{-a * I * D^2(2\beta_3 + 2a\beta_4)}{2} * (Z_2^2 - Z_1^2) \right] + \left[ a^2 * I * D^2(\beta_3 + 2a\beta_4) * (Z_2 - Z_1) \right] \right\}$$

Sendo as variáveis as mesmas definidas anteriormente.

### 4.3.2 Modelos polinomiais não-segmentados

#### a) Polinômio do quinto grau (Schöpfer, 1966)

O polinômio do quinto grau tem a seguinte forma:

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

em que:

$\beta_{is}$  = parâmetros a serem estimados;

$d_i$  = diâmetro comercial (cm) ou diâmetro correspondente a qualquer altura  $h_i$ , especificada ou comercial;

$D$  = diâmetro a 1,3 m de altura (cm);

$H$  = altura total (m);

$h_i$  = altura comercial (m);

$e_i$  = erro de estimativa.

Isolando-se  $d_i$ , obtém-se a função de afilamento, podendo-se estimar o diâmetro correspondente a qualquer altura na árvore, desde que fornecidos o seu diâmetro a 1,3m de altura e a altura total. Integrando-se esta função, obtém-se a

expressão que propicia obter os sortimentos ou volumes comerciais correspondentes a qualquer porção da árvore, além do volume total.

### **b) Polinômio de potências fracionárias e inteiras (Hradetzky, 1976)**

Esses polinômios apresentam um mix de potências inteiras e fracionárias como tentativa de melhor representar o perfil da árvore sendo, portanto, mais flexível. A utilização das potências seguiu o proposto por Hradetzky (1976), que sugeriu a utilização de potências inteiras da ordem de dezena para representar a base da árvore, em conjunto com potências fracionárias para representar a porção superior do fuste.

De forma geral, os polinômios construídos foram:

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

sendo:

$d_i$  = diâmetro;

$h_i$  = altura;

$D$  = diâmetro a 1,30m de altura;

$H$  = altura total da árvore;

$\beta_{is}$  = coeficientes de regressão a serem estimados;

$p_i$  = expoentes variando entre 0,0005; 0,005; 0,004; 0,09; 0,08; 0,07; 0,06; 0,05; 0,04; 0,03; 0,02; 0,01; 0,9; 0,8; 0,7; 0,6; 0,5; 0,4; 0,3; 0,2; 0,1; 1; 2; 3; 4 e 5.

A função de afilamento foi obtida isolando-se " $d_i$ ".

O volume total ou de qualquer porção da árvore (sortimento) foi obtido pela resolução da integral da função de afilamento.

**c) Modelo de Goulding & Murray (1976)**

A forma geral do polinômio compatível de Goulding e Murray é:

$$d_i^2 = \frac{V}{KH} * \left[ \beta_1 \left( \frac{l}{H} \right) + \beta_2 \left( \frac{l}{H} \right)^2 + \beta_3 \left( \frac{l}{H} \right)^3 + \dots + \beta_n \left( \frac{l}{H} \right)^n + e_i \right]$$

Sendo  $\beta_i$  = parâmetros a serem estimados, para os quais

$$\sum_{i=1}^n \frac{\beta_i}{(i+1)} = 1$$

$K = \pi/40000$ ;

$V$  = volume estimado pela equação de volume individual ( $m^3$ );

$H$  = altura total (m);

$H_i$  = altura comercial (m);

$l = (H-h)$ ;

$e_i$  = erro de estimativa.

Integrando-se o polinômio obtém-se a expressão para cálculo dos volumes comerciais.

Assim, o volume total ou o dos sortimentos puderam ser obtidos como:

$$V_c = \frac{V}{H} \left[ \frac{\beta_1 l^2}{2H} + \frac{\beta_2 l^3}{3H^2} + \frac{\beta_3 l^4}{4H^3} + \dots + \frac{\beta_n l^{(n+1)}}{(n+1)H^n} \right]_0^h$$

Sendo:

$V_c$  = volume comercial da ponta da árvore até a altura  $h$  (em  $m^3$ );

Os demais termos foram definidos anteriormente.



Conforme observou Ferreira (2004), o Modelo de Golding e Murray é uma função de afilamento compatível com volume, assim, o ajuste do modelo foi feito com o volume real, porém, a obtenção das estatísticas foi feita utilizando-se do volume estimado pelo modelo de Schumacher e Hall, que está apresentado a seguir:

$$V = \beta_0 D^{\beta_1} H^{\beta_2} + e_i$$

A acuracidade dos modelos testados foi avaliada por meio de várias estatísticas, como o coeficiente de determinação ( $R^2$ ) e o erro padrão da estimativa (Syx). Adicionalmente foram realizados testes estatísticos como os utilizados por Assis et al. (2002), Ferreira (2004), Figueiredo Filho et al. (1996), Fischer (1997), Parresol et al. (1987) e Scolforo et al. (1998). Estas estatísticas permitiram uma análise mais detalhada do desempenho das estimativas ao longo de todo o fuste.

## **5 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **5.1 Performance dos modelos ajustados**

#### **5.1.2 Ajuste**

A performance dos modelos polinomiais segmentados e não-segmentados ajustados pode ser observada na Tabela 3.1, que mostra os coeficientes estimados, assim como as respectivas medidas de precisão o coeficiente de determinação corrigido ( $R^2$ ) e o erro padrão da estimativa em percentagem (Syx%).

Como pode ser observado, todos os modelos testados apresentaram boas performances, quando se levam em conta as estatísticas tradicionais  $R^2$  e Syx. Porém, essas informações estão mais relacionadas com a dispersão dos dados e não oferecem informações consistentes da acurácia dos modelos. Levando-se em conta apenas o  $R^2$  e o Syx, observa-se que o Modelo de Goulding & Murray foi o que apresentou melhor ajuste ( $R^2 = 99,00\%$  e Syx = 5,17%), já o Modelo de Clark et al., foi o que apresentou maior valor de Syx (6,73%) e menor valor de  $R^2$  (98,31). Essa ligeira inferioridade não afetaria o uso desse modelo porque, mesmo assim, os valores apontam para um ótimo ajuste.

Resultados semelhantes foram encontrados por vários autores, como Scolforo (1998), Assis et al. (2002), Fischer et al. (2001) e Ferreira (2004).

Os parâmetros e as respectivas medidas de precisão para o caso da equação de volume de Schumacher e Hall (1939) encontram-se na Tabela 3.2. Essa equação foi utilizada para a obtenção das estatísticas no Modelo de Goulding & Murray (1976), apresentadas na Tabela 3.3.

**TABELA 3.1** Parâmetros estimados e medidas de precisão para os modelos segmentados e para os modelos não-segmentados.

Modelo de Clark, Souter e Schlegel (1991) Modelo 1							
Parâmetros estimados						Estatísticas	
$\hat{\alpha}_1$	$\hat{\alpha}_2$	$\hat{\alpha}_3$	$\hat{\beta}_1$	$\hat{\gamma}_1$	$\hat{\gamma}_2$	R <sup>2</sup> %	Syx%
0,7732	1,4102	0,4041	2875,8	152,9	37,6742	98,31	6,73
Modelo de Max & Burkhart (1976) Modelo 2							
Parâmetros estimados						Estatísticas	
$\hat{a}_1$	$\hat{a}_2$	$\hat{\beta}_1$	$\hat{\beta}_2$	$\hat{\beta}_3$	$\hat{\beta}_4$	R <sup>2</sup> %	Syx%
0,0538	0,7283	-2,9100	1,4493	146,8	-1,0600	98,70	5,90
Modelo de Parresol et al. (1987) Modelo 3							
Parâmetros estimados						Estatísticas	
$\hat{a}$	$\hat{\beta}_1$	$\hat{\beta}_2$	$\hat{\beta}_3$	$\hat{\beta}_4$		R <sup>2</sup> %	Syx%
0,9231	1,6538	-0,8068	-1975,3	722,3		98,65	6,01
Polinômio de potências fracionárias e inteiras (Hradetzky, 1976) Modelo 4							
Parâmetros estimados/potências						Estatísticas	
$\hat{\beta}_0$	$\hat{\beta}_1$	$\hat{\beta}_2$	$\hat{\beta}_3$	$\hat{\beta}_4$		R <sup>2</sup> %	Syx%
17,88784	-17,12417	-0,34773	-1,59397	1,21689		98,74	5,80
	0,004	0,9	4	5			
Polinômio do quinto grau (Schöpfer, 1966) Modelo 5							
Parâmetros estimados						Estatísticas	
$\hat{\beta}_0$	$\hat{\beta}_1$	$\hat{\beta}_2$	$\hat{\beta}_3$	$\hat{\beta}_4$	$\hat{\beta}_5$	R <sup>2</sup> %	Syx%
1,000000	-0,7951540	0,6700033	-0,5914258	0,5355308	-0,4929307	98,51	6,31
Modelo de Goulding & Murray (1976) Modelo 6							
Parâmetros estimados/potências						Estatísticas	
$\hat{\beta}_1$	$\hat{\beta}_2$	$\hat{\beta}_3$	$\hat{\beta}_4$	$\hat{\beta}_5$		R <sup>2</sup> %	Syx%
1,73099	-0,75083	29,04587	-57,34339	28,36696		99,00	5,17
2	3	35	36	37			

**TABELA 3.2** Parâmetros estimados e medidas de precisão da equação de Schumacher e Hall

Equação de volume de Schumacher & Hall (1939)				
Parâmetros			Estatísticas	
$\hat{\beta}_0$	$\hat{\beta}_1$	$\hat{\beta}_2$	R <sup>2</sup> %	Syx%
0,000011	1,6890	1,5821	98,22	6,91

Os valores das estatísticas apontam para um bom ajuste do referido modelo.

#### **5.1.2.1 Acurácia dos modelos na estimativa dos diâmetros ao longo do fuste**

As estatísticas obtidas pelos modelos polinomiais segmentados e não-segmentados na estimativa do diâmetro ao longo do fuste da árvore média para o clone encontram-se na Tabela 3.3. Para cada modelo foi atribuída uma nota em cada posição, na qual foi estimado o diâmetro.

As estatísticas utilizadas foram as do resíduo percentual (RP), desvio (DESV), soma de quadrados do resíduo relativo (SSRR) e o desvio padrão das diferenças (DP) obtidas para os modelos testados.

**TABELA 3.3** Estatísticas dos modelos polinomiais segmentados (1,2 e 3) e não segmentados (4,5 e 6) para a estimativa dos diâmetros ao longo do fuste das árvores do clone sob regime de sistema agroflorestal.

		Alturas absolutas (m)																	
Mod. Est.		0,1	0,3	0,7	1	1,3	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	RP	-0,32759	1,11160	-0,65332	-3,85284	-7,01677	1,11727	0,71745	-2,77670	-5,63538	-6,18574	-6,78117	-5,12318	-4,76922	-5,64060	-5,58480	-6,12211	-7,57553	-2,23358
	DESV	-0,02107	0,26265	-0,22578	-0,97320	-1,75600	0,09766	0,06183	-0,66112	-1,18492	-1,25094	-1,27535	-0,88759	-0,76849	-0,69203	-0,59955	-0,40270	-0,28179	0,08912
	SSRR	0,11582	0,05987	0,06349	0,09129	0,20139	0,08326	0,05340	0,06724	0,13414	0,17837	0,23594	0,16977	0,19217	0,33148	0,34524	0,58212	1,20122	0,37549
	SD	1,64146	1,13329	1,04661	0,86998	0,46202	0,90836	0,85027	0,70183	0,34582	0,63610	0,70651	0,74526	0,88375	0,94153	0,68076	0,68420	0,87420	0,62580
2	RP	2,14800	-0,73640	1,73440	2,17280	1,91000	1,02610	-0,77620	-1,65700	-0,76030	-0,99270	-2,22600	-1,33700	-1,64000	-3,02500	-3,27000	-3,54400	-4,63600	-1,42500
	DESV	0,63749	-0,33550	0,22775	0,43268	0,37771	0,28006	-0,12560	-0,34820	-0,16120	-0,21810	-0,41180	-0,18190	-0,20670	-0,25620	-0,26490	-0,14190	-0,10130	0,13936
	SSRR	0,14071	0,07699	0,14020	0,07077	0,03059	0,03233	0,03854	0,06890	0,05826	0,05070	0,07052	0,08279	0,11355	0,20931	0,20719	0,29653	0,61352	0,24301
	SD	1,64590	1,28430	1,37830	0,92513	0,41005	0,72567	0,77950	0,91534	0,90237	0,74593	0,71307	0,97353	0,97371	1,06050	0,86531	0,77374	0,94888	0,78065
3	RP	2,20850	-0,74480	1,45570	2,10170	1,97610	2,04170	-0,13940	-1,52500	-1,00800	-1,48900	-2,84400	-1,93100	-2,09900	-3,24300	-3,33900	-3,73500	-4,97700	-1,65300
	DESV	0,65617	-0,33350	0,15603	0,38207	0,35778	0,53471	0,05356	-0,28710	-0,18740	-0,30330	-0,53080	-0,31350	-0,33430	-0,36980	-0,36520	-0,23830	-0,18190	0,08652
	SSRR	0,14163	0,07535	0,13591	0,08347	0,04241	0,04236	0,03829	0,06626	0,05985	0,05556	0,08325	0,08935	0,11567	0,17720	0,16905	0,25686	0,60433	0,24542
	SD	1,64530	1,27510	1,38320	0,99479	0,52198	0,72695	0,81531	0,92161	0,90669	0,74612	0,71782	0,97621	0,97692	1,03790	0,84925	0,73529	0,92635	0,76885
4	RP	0,75400	-0,02610	0,48253	-0,08710	-0,77470	-0,33780	-0,59710	-0,80500	0,27600	-0,02420	-1,44000	-0,75550	-1,17800	-2,55500	-2,75700	-3,15900	-4,42300	-1,94400
	DESV	0,14107	-0,11900	-0,03960	-0,14220	-0,34240	-0,12610	-0,13130	-0,17680	0,07188	0,01438	-0,21070	-0,02320	-0,08950	-0,17530	-0,22020	-0,14190	-0,13940	0,05657
	SSRR	0,14536	0,06755	0,09655	0,05184	0,03328	0,03522	0,03666	0,05859	0,05342	0,04522	0,06369	0,08479	0,11391	0,18990	0,16673	0,23643	0,52855	0,24462
	SD	1,73800	1,22640	1,24740	0,98168	0,67963	0,71302	0,76144	0,89442	0,88950	0,73216	0,70514	0,99143	0,98548	1,05930	0,86057	0,76480	0,94004	0,77259
5	RP	5,85058	0,44875	-1,05850	-1,70241	-2,09453	-0,57476	0,35526	0,60791	1,58838	0,93358	-0,90391	-0,59296	-1,29920	-2,92163	-3,46837	-4,41031	-6,37973	-3,35307
	DESV	1,81349	0,07886	-0,44590	-0,58331	-0,71466	-0,24151	0,05065	0,14133	0,40244	0,28634	-0,02734	0,06650	-0,08698	-0,25065	-0,36380	-0,34023	-0,36439	-0,16303
	SSRR	0,24445	0,05341	0,10021	0,07254	0,06543	0,05027	0,03755	0,05224	0,06248	0,05650	0,07682	0,09771	0,11997	0,18404	0,17194	0,26963	0,68098	0,28945
	SD	1,64087	1,13877	1,29734	1,09170	0,89856	0,79947	0,75929	0,86554	0,91299	0,78710	0,76189	1,04112	1,00755	1,04845	0,86225	0,75033	0,92972	0,76153
6	RP	3,66680	2,70470	4,21270	3,40780	2,37500	2,44870	2,57040	2,77270	3,96700	3,60960	2,15760	2,75180	2,30350	1,04190	0,74736	0,36332	-0,58460	1,14700
	DESV	0,83272	0,40303	0,75822	0,57894	0,26643	0,31441	0,34775	0,39474	0,65755	0,55126	0,25711	0,37986	0,25984	0,12986	0,04805	0,09746	0,08513	0,26652
	SSRR	0,34696	0,27935	0,31800	0,22300	0,19976	0,20208	0,17088	0,17978	0,17881	0,15464	0,10740	0,13325	0,14031	0,09024	0,08689	0,08813	0,24902	0,08601
	SD	2,20900	1,83960	1,71350	1,36130	1,28780	1,22650	1,08830	1,06390	0,93155	0,80311	0,75992	0,94839	0,92672	0,95416	0,78342	0,66421	0,85751	0,71827
Mod.																			
1	5	11	7	18	20	15	17	17	18	19	20	19	19	19	19	20	19	15	
2	12	18	18	11	8	10	16	17	9	10	13	10	10	19	17	17	15	14	
3	14	16	15	13	12	17	10	14	13	15	18	15	16	15	15	14	14	13	
4	13	9	6	6	9	6	11	9	5	5	6	10	10	13	10	12	12	13	
5	18	6	14	15	18	13	6	5	17	14	11	13	13	13	18	18	20	19	
6	22	24	24	21	17	23	24	22	22	21	16	17	16	5	5	4	4	10	

Continuação...

		Alturas absolutas (m)																	
Mod.	Est.	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	0
1	RP	0,89491	1,19129	2,35337	3,28085	0,48611	2,56564	2,59761	2,92583	4,47101	5,51003	0,54068	-9,89885	-14,55409	-8,60546	-5,84301	-6,63901	0,83124	0,00000
	DESV	0,24145	0,16426	0,40104	0,52552	0,17105	0,41952	0,29852	0,29403	0,44019	0,50360	0,13137	-0,61670	-0,55497	-0,29950	-0,10020	0,02877	0,21491	0,00000
	SSRR	0,07849	0,06437	0,07619	0,12197	0,19528	0,22396	0,28553	0,45559	0,50225	0,76477	0,90374	1,11254	2,82041	1,66967	1,34333	1,77484	0,05597	0,00000
	DP	0,91655	0,72408	0,79940	0,95355	1,14332	1,17719	1,14492	1,26166	1,16562	1,30401	1,49993	1,39346	1,67324	1,39253	1,28213	1,26037	0,76673	0,00000
2	RP	0,29308	0,13771	0,92541	1,62870	-1,16300	1,29410	1,75570	2,33580	3,91050	4,81060	-0,22960	-9,52300	-13,25000	-7,97700	-5,96600	-7,19300	-1,60500	0,00000
	DESV	0,18588	0,03846	0,22346	0,31868	-0,03660	0,24267	0,16107	0,18153	0,34459	0,43633	0,09555	-0,58630	-0,50280	-0,27440	-0,10780	0,00122	0,14443	0,00000
	SSRR	0,09792	0,07328	0,07652	0,10515	0,15965	0,16141	0,22868	0,37584	0,38378	0,66052	0,69582	0,83993	2,21030	1,36210	1,16000	1,69310	0,09653	0,00000
	DP	1,04240	0,68987	0,90849	0,96846	0,97505	0,95912	0,96395	1,12330	0,99956	1,17370	1,37730	1,23860	1,58910	1,32780	1,21300	1,25440	0,90301	0,00000
3	RP	0,43437	0,67605	1,89320	2,97570	0,47733	2,86650	3,15080	3,55530	4,89040	5,55950	0,64876	-8,81800	-13,00000	-8,10500	-6,19300	-7,42700	-1,44200	0,00000
	DESV	0,18442	0,09667	0,33816	0,47983	0,15126	0,42907	0,33289	0,33705	0,47818	0,53931	0,19222	-0,52310	-0,48020	-0,27960	-0,12000	-0,00820	0,14562	0,00000
	SSRR	0,09233	0,07498	0,08043	0,11831	0,14676	0,17137	0,23505	0,36308	0,37943	0,66055	0,66732	0,80141	2,18500	1,36620	1,18570	1,72130	0,09573	0,00000
	DP	1,00730	0,68936	0,88198	0,94946	0,96506	0,96149	0,95538	1,10340	1,01730	1,20180	1,37000	1,23200	1,59170	1,32690	1,22000	1,26030	0,89209	0,00000
4	RP	-0,22580	-0,19850	0,92398	2,05600	-0,27420	2,46040	3,15060	3,96650	5,50710	5,53160	0,58152	-8,23500	-11,14000	-6,66300	-6,87900	-9,92700	-8,09500	0,00000
	DESV	0,09354	-0,02970	0,19661	0,34282	0,03605	0,34833	0,29240	0,33325	0,49558	0,54764	0,22319	-0,44340	-0,35470	-0,18460	-0,11710	-0,09640	-0,04200	0,00000
	SSRR	0,09860	0,07505	0,07493	0,10687	0,14985	0,16965	0,25538	0,40422	0,40779	0,63301	0,65407	0,75616	2,04220	1,24480	1,05920	1,69520	0,16385	0,00000
	DP	1,03270	0,69533	0,88515	0,94120	0,95348	0,93838	0,96968	1,11500	0,99981	1,19550	1,37560	1,21970	1,58040	1,29570	1,18600	1,24190	1,02090	0,00000
5	RP	-1,22674	-0,86129	0,63026	2,03984	-0,17401	2,43027	2,73382	2,96277	3,95289	4,43395	-0,04100	-9,50096	-14,37792	-10,13980	-8,24425	-9,65049	-1,82490	0,00000
	DESV	-0,09777	-0,16251	0,12212	0,31548	0,03634	0,35273	0,27936	0,29077	0,43049	0,49645	0,16358	-0,56600	-0,56769	-0,39815	-0,22989	-0,09955	0,10941	0,00000
	SSRR	0,10059	0,08056	0,07358	0,10686	0,14753	0,16432	0,22981	0,34256	0,34330	0,63885	0,65940	0,82086	2,26762	1,46201	1,36065	1,91168	0,09987	0,00000
	DP	0,99567	0,71863	0,86435	0,92794	0,94427	0,93531	0,95983	1,09816	1,02093	1,21627	1,36751	1,22815	1,59076	1,33103	1,25107	1,28549	0,84260	0,00000
6	RP	1,08250	1,19610	2,30540	3,33960	0,85658	3,32530	3,77810	4,49690	6,43210	8,22120	2,99450	-6,85100	-11,30000	-5,28300	-1,29500	-0,78690	7,14060	0,00000
	DESV	0,29139	0,17354	0,39297	0,52031	0,18493	0,46321	0,37461	0,39333	0,55602	0,64599	0,29245	-0,42850	-0,36880	-0,12120	0,09353	0,24918	0,42876	0,00000
	SSRR	0,09183	0,06874	0,08123	0,11938	0,14729	0,17941	0,26330	0,42580	0,47761	0,81316	0,76841	0,80525	2,15820	1,33140	1,15160	1,53140	0,09556	0,00000
	DP	0,98841	0,64137	0,86039	0,92969	0,96963	0,95722	0,97772	1,13220	1,03220	1,20690	1,41240	1,24890	1,59450	1,34020	1,23120	1,25200	0,83682	0,00000
Mod.																			
1		11	17	16	22	21	20	18	17	18	17	17	24	23	22	15	15	8	24
2		16	9	16	10	19	7	6	9	6	7	11	19	14	12	11	9	15	24
3		13	12	17	16	11	19	14	13	13	16	14	11	13	14	16	14	13	24
4		12	12	11	12	9	10	15	16	16	12	13	6	4	6	11	14	19	24
5		17	19	6	6	7	8	9	7	9	10	7	14	19	21	23	22	14	24
6		15	15	18	18	17	20	22	22	22	22	22	10	11	9	8	10	15	24

em que: RP = resíduo percentual; Desv = desvio; SSRR = soma de quadrados do desvio relativo; SD = desvio padrão das diferenças.

Após a obtenção das estatísticas, foi realizada uma ordenação dos 6 modelos por meio de um ranking, sendo atribuída a cada um uma nota variando de 1 a 6 para cada estatística e assim para cada altura absoluta da árvore média. A nota 1 foi dada ao modelo que apresentou maior acurácia por estatística por altura absoluta. A nota 2 foi atribuída ao modelo de segunda melhor performance na estimativa do diâmetro na mesma altura absoluta e, assim sucessivamente, até a nota 6 para o modelo de menor acurácia na mesma altura por estatística.

A fim de exemplificar o valor das notas com as quais construiu-se o ranking, considerou-se a altura absoluta de 15 metros. Essa coluna apresenta valores das estatísticas RP, DESV, SSRR e DP, para os seis modelos testados.

Na Tabela 3.4 mostra-se apenas a situação relativa à coluna da altura 15, assim como as notas de 1 a 6, atribuídas para cada modelo, de acordo com o valor das estatísticas, sendo a nota 1 para o menor valor até nota 6 para o maior valor.

Para o caso em análise, o somatório das notas atribuídas ao modelo 1 (Modelo de Clark et al., 1991) apresentou o menor valor (11) em relação aos demais modelos. Tal fato indica que, para a altura absoluta de 15 metros para a árvore média, o modelo 1 foi o que melhor estimou o diâmetro. Assim, todas as alturas absolutas foram estimadas e os modelos foram ordenados de acordo com os valores das estatísticas formando um ranking.

**TABELA 3.4** Exemplo de atribuição das notas de 1 a 6, para os 6 modelos testados, em função do valor das estatísticas RP, DESV, SSRR, DP, para o caso da altura absoluta de 15 metros.

<b>Altura absoluta de 15 metros</b>				
Modelo	Estatística	Valores	Nota	Total
1	RP	0,89491	4	11
	DESV	0,24145	5	
	SSRR	0,07849	1	
	DP	0,91655	1	
2	RP	0,29308	2	16
	DESV	0,18588	4	
	SSRR	0,09792	4	
	DP	1,04240	6	
3	RP	0,43437	3	13
	DESV	0,18442	3	
	SSRR	0,09233	3	
	DP	1,00730	4	
4	RP	-0,22580	1	12
	DESV	0,09354	1	
	SSRR	0,09860	5	
	DP	1,03270	5	
5	RP	-1,22674	6	17
	DESV	-0,09777	2	
	SSRR	0,10059	6	
	DP	0,99567	3	
6	RP	1,08250	5	15
	DESV	0,29139	6	
	SSRR	0,09183	2	
	DP	0,98841	2	

Na Tabela 3.5, a seguir, estão apresentados valores que mostram qual o melhor modelo, entre os 6 testados, para a estimativa dos diâmetros ao longo do fuste da árvore média para o clone, em termos absolutos e em termos percentuais, para cada altura. A quantidade de vezes em que o modelo esteve em primeiro lugar no ranking também foi fornecida.



**TABELA 3.5** Melhores estimativas do diâmetro ao longo do fuste das árvores do clone pelas equações segmentadas e não-segmentadas, suas respectivas posições no ranking e quantidade de vezes (%) que a equação esteve em primeiro lugar.

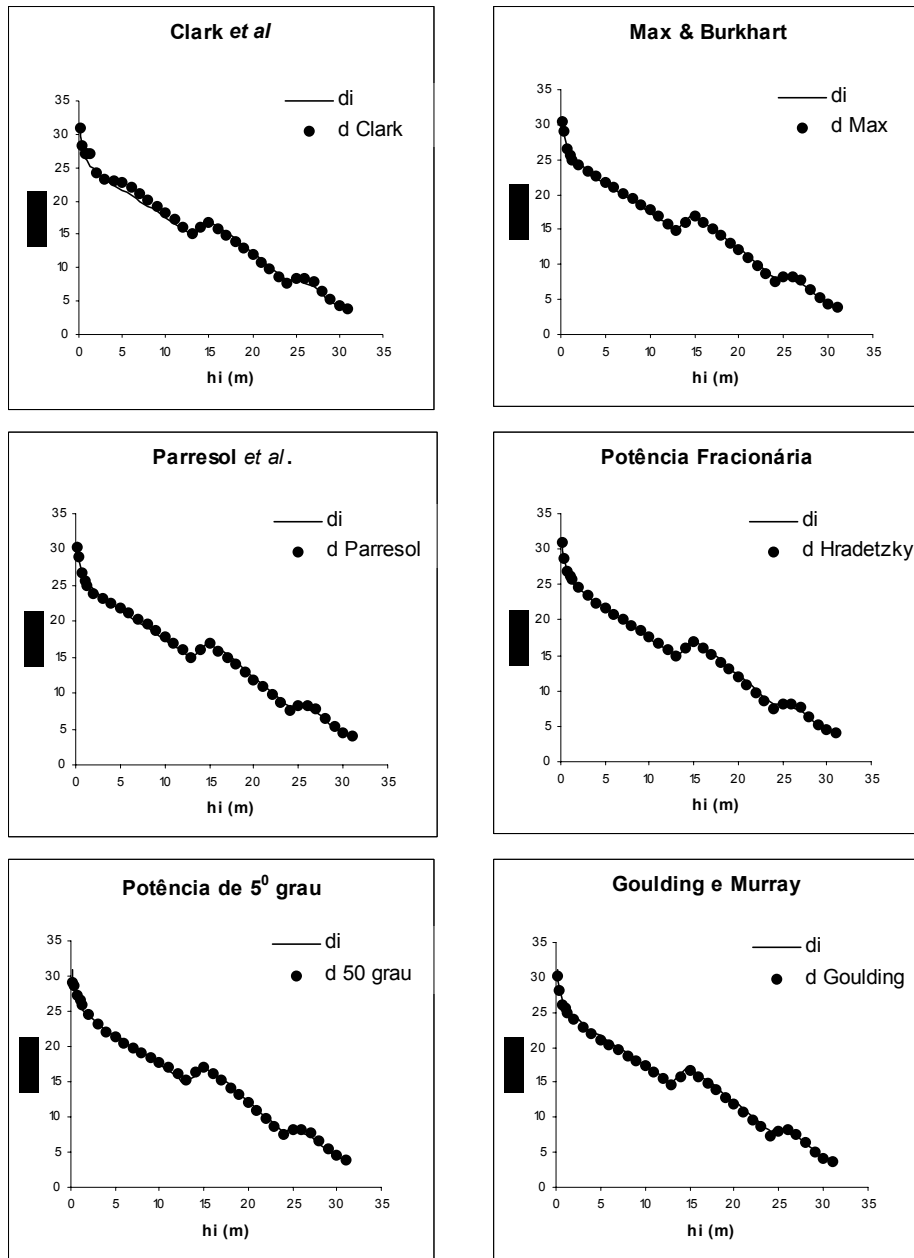
Altura (m)	Clark et al.	Max e Burkhart	Parresol et al.	Hradetzky	5 <sup>o</sup> grau	Goulding
0,1	1	0	0	0	0	0
0,3	0	0	0	0	5	0
0,7	0	0	0	4	0	0
1,0	0	0	0	4	0	0
1,3	0	2	0	0	0	0
2	0	0	0	4	0	0
3	0	0	0	0	5	0
4	0	0	0	0	5	0
5	0	0	0	4	0	0
6	0	0	0	4	0	0
7	0	0	0	4	0	0
8	0	2	0	4	0	0
9	0	2	0	4	0	0
10	0	0	0	0	0	6
11	0	0	0	0	0	6
12	0	0	0	0	0	6
13	0	0	0	0	0	6
14	0	0	0	0	0	6
15	1	0	0	0	0	0
16	0	2	0	0	0	0
17	0	0	0	0	5	0
18	0	0	0	0	5	0
19	0	0	0	0	5	0
20	0	2	0	0	0	0
21	0	2	0	0	0	0
22	0	0	0	0	5	0
23	0	2	0	0	0	0
24	0	2	0	0	0	0
25	0	0	0	0	5	0
26	0	0	0	4	0	0
27	0	0	0	4	0	0
28	0	0	0	4	0	0
29	0	0	0	0	0	6
30	0	2	0	0	0	0
31	1	0	0	0	0	0
32	0	0	0	4	0	0
33	0	0	0	0	0	6
34	0	2	0	0	0	0
35	1	0	0	0	0	0
Ocorrências em 1 <sup>o</sup> lugar	3	9	0	11	8	6
Ocorrências (%) em 1 <sup>o</sup> lugar	8,57%	25,71%	0,00%	31,43%	22,86%	17,14%

Os números que aparecem na linha correspondente a cada altura absoluta são o próprio número do modelo e o número zero. Assim, para o caso da altura de 10m, por exemplo, aparece na última coluna o número 6, que corresponde ao modelo de Goulding & Murray e, nas demais colunas, aparece o número zero, o que indica que, naquela altura, o modelo 6 foi o que ficou em primeiro lugar no ranking em relação aos demais.

O modelo que mais apareceu em primeiro lugar, em termos percentuais, foi o modelo do polinômio de potências fracionárias e inteiras (Hradetzky, 1976), com 31,43%. Esse percentual distribuiu-se ao longo do fuste, entre as alturas de 0,7 e 9,0m, e, entre 26,0 e 32,0m. O segundo colocado, o modelo de Max & Burkhardt (1976), apareceu em primeiro lugar em 25,71% das vezes, distribuindo-se desde a altura de 1,30m até 34,0m. O modelo do polinômio do quinto grau (Schöepfer, 1966) foi o terceiro colocado em número de vezes que apareceu em primeiro lugar no ranking e, em termos percentuais, apresentou quase os mesmos valores do segundo colocado, 22,86%. Porém, as alturas nas quais o modelo esteve presente em primeiro lugar ficaram entre 0,3 e 4,0m e entre 17,0 e 25,0m. O próximo modelo ordenado foi o de Goulding & Murray (1976), que apareceu em primeiro lugar em 17,14% das vezes nas alturas de 10,0 a 14,0m e entre 29,0m e 33,0m. O quinto colocado foi o modelo de Clark et al. (1991), que apareceu em primeiro lugar em 8,57% das vezes, na base da árvore, no meio de sua altura e na ponta. O modelo de Parresol et al. (1987) não apareceu nenhuma vez em primeiro lugar.

O fato de ordenar os modelos por meio de um ranking apenas mostra qual o melhor entre os seis modelos testados, porém, quando se construiu a Figura 3.1, observou-se que todos os modelos estimaram bem o perfil do fuste da árvore média, com uma pequena desvantagem para o modelo de Clark et al. (1991), que apresentou uma ligeira tendência a superestimar os diâmetros no terço inferior da árvore média.

Os demais modelos, desconsiderando a posição no ranking, apresentaram estimativas acuradas dos diâmetros ao longo do fuste, mostrando que podem ser utilizados para esse fim. Considerando-se todas as medidas de precisão e o gráfico, o modelo que apresentou maior acurácia para estimativa do diâmetro ao longo das várias alturas foi o do polinômio de potências fracionárias e inteiras (Hradetzky, 1976).



**FIGURA 3.1** Perfis médios reais e estimados dos fustes de árvores do clone descritos pelas equações de afilamento segmentadas e não-segmentadas.

### **5.1.2.2 Acurácia dos modelos na estimativa dos volumes ao longo do fuste**

As estatísticas obtidas pelos modelos testados na estimativa do volume ao longo dos fustes das árvores do clone encontram-se na Tabela 3.6.

Após a obtenção das estatísticas foi realizada uma ordenação dos 6 modelos por meio de um ranking, assim como ocorreu na estimativa dos diâmetros, sendo atribuída a cada um, uma nota variando de 1 a 6 para cada estatística e assim para cada altura absoluta da árvore média. A nota 1 foi dada ao modelo que apresentou maior acurácia por estatística por altura absoluta e a nota 6 ao modelo de menor acurácia por estatística por altura absoluta na estimativa dos volumes.

Como no caso dos diâmetros, construiu-se, para os volumes estimados, um ranking, que está resumido na Tabela 3.7, a seguir, mostrando qual modelo apresentou maior acuracidade ao longo do das seções do fuste da árvore média.

**TABELA 3.6** Estatísticas dos modelos polinomiais segmentados (1,2 e 3) e não segmentados (4,5 e 6) para a estimativa dos volumes ao longo do fuste das árvores do clone sob regime de sistema agroflorestal.

		Alturas absolutas (m)																	
Mod. Est.		0,1	0,3	0,7	1	1,3	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	RP	-45,32575	-11,14413	-3,90420	-4,03029	-5,42772	-4,96475	-2,71573	-2,51108	-3,41504	-4,68999	-5,63225	-6,21500	-6,47512	-6,62786	-6,71820	-6,72210	-6,64676	-6,28504
	DESV	-0,00256	-0,00220	-0,00189	-0,00272	-0,00448	-0,00655	-0,00617	-0,00743	-0,01092	-0,01592	-0,02073	-0,02470	-0,02762	-0,03004	-0,03198	-0,03330	-0,03396	-0,03822
	SSRR	8,49029	0,64459	0,19762	0,19838	0,22551	0,18061	0,12033	0,11405	0,12213	0,14612	0,17771	0,20244	0,21431	0,22245	0,22735	0,22679	0,22366	0,17150
	SD	0,00089	0,00145	0,00315	0,00433	0,00517	0,00644	0,00824	0,01037	0,01222	0,01437	0,01724	0,01999	0,02252	0,02508	0,02718	0,02843	0,02940	0,03087
2	RP	-28,98000	-7,05900	-2,33400	-0,67720	0,35358	1,37920	1,16970	0,48200	0,05534	-0,14830	-0,42490	-0,64450	-0,73940	-0,84400	-0,95530	-1,01500	-1,01900	-1,28400
	DESV	-0,00180	-0,00170	-0,00200	-0,00180	-0,00140	-0,00030	0,00025	-0,00050	-0,00140	-0,00210	-0,00320	-0,00410	-0,00460	-0,00510	-0,00560	-0,00590	-0,00580	-0,00660
	SSRR	3,44870	0,39490	0,28262	0,27059	0,22298	0,14335	0,09996	0,08795	0,09149	0,09415	0,09490	0,09715	0,09972	0,10177	0,10400	0,10449	0,10525	0,09584
	SD	0,00090	0,00165	0,00386	0,00510	0,00569	0,00585	0,00721	0,00953	0,01219	0,01456	0,01664	0,01926	0,02214	0,02482	0,02739	0,02937	0,03123	0,03576
3	RP	-28,85000	-6,96500	-2,46500	-0,88070	2,82680	3,68420	11,80900	9,07700	7,24230	5,99630	4,93610	4,11330	3,55070	3,08810	2,70050	2,41820	2,23420	1,87870
	DESV	-0,00180	-0,00170	-0,00200	-0,00190	-0,00070	0,00087	0,01948	0,01928	0,01855	0,01770	0,01625	0,01487	0,01388	0,01289	0,01195	0,01131	0,01108	0,01230
	SSRR	3,41820	0,38794	0,27934	0,27551	0,58599	0,39414	0,61904	0,39093	0,27751	0,21627	0,17238	0,14676	0,13441	0,12625	0,12082	0,11663	0,11494	0,09768
	SD	0,00089	0,00164	0,00384	0,00514	0,00684	0,00711	0,01241	0,01470	0,01681	0,01845	0,01963	0,02150	0,02389	0,02610	0,02834	0,03022	0,03213	0,03681
4	RP	-45,59951	-11,69000	-4,50804	-3,21800	-2,69727	-2,07540	-1,60417	-1,48888	-1,27641	-1,02493	-0,99825	-1,02249	-0,99370	-1,02036	-1,08554	-1,12921	-1,14183	-1,45160
	DESV	-0,00290	-0,00279	-0,00294	-0,00328	-0,00372	-0,00453	-0,00496	-0,00545	-0,00556	-0,00535	-0,00560	-0,00581	-0,00577	-0,00590	-0,00620	-0,00640	-0,00639	-0,00749
	SSRR	8,40597	0,79712	0,32481	0,28501	0,24284	0,17619	0,13238	0,11729	0,11214	0,10567	0,10050	0,09863	0,09877	0,10004	0,10233	0,10322	0,10446	0,09535
	SD	0,00157	0,00224	0,00413	0,00541	0,00630	0,00738	0,00881	0,01071	0,01293	0,01501	0,01694	0,01940	0,02217	0,02482	0,02740	0,02940	0,03130	0,03584
5	RP	-17,72898	-0,35493	-0,37653	-1,08188	-1,62260	-1,85276	-1,23825	-0,69107	-0,14525	0,28038	0,35424	0,29209	0,23109	0,08436	-0,12023	-0,31393	-0,47302	-0,85653
	DESV	-0,00109	-0,00017	-0,00066	-0,00156	-0,00258	-0,00426	-0,00467	-0,00422	-0,00304	-0,00158	-0,00085	-0,00044	-0,00014	-0,00035	-0,00099	-0,00172	-0,00233	-0,00348
	SSRR	1,25808	0,13567	0,17187	0,19718	0,19451	0,17559	0,14517	0,12235	0,10782	0,09601	0,08752	0,08494	0,08662	0,08961	0,09329	0,09561	0,09830	0,09025
	SD	0,00054	0,00121	0,00320	0,00462	0,00568	0,00727	0,00902	0,01069	0,01252	0,01436	0,01619	0,01873	0,02169	0,02448	0,02717	0,02929	0,03130	0,03602
6	RP	-27,64529	-3,33268	2,76394	3,73479	4,10575	4,27882	4,47105	4,65561	5,00580	5,35791	5,44276	5,44591	5,47975	5,45711	5,39706	5,35771	5,35722	2,56841
	DESV	-0,00197	-0,00158	-0,00081	-0,00045	-0,00025	-0,00011	0,00042	0,00124	0,00269	0,00439	0,00537	0,00610	0,00687	0,00728	0,00744	0,00764	0,00802	0,00478
	SSRR	3,76388	0,88346	0,83943	0,84263	0,80765	0,75843	0,71826	0,68106	0,65616	0,63490	0,61257	0,59298	0,57982	0,56540	0,55213	0,54191	0,53483	0,25053
	SD	0,00136	0,00251	0,00483	0,00629	0,00740	0,00949	0,01223	0,01452	0,01633	0,01793	0,01960	0,02156	0,02361	0,02556	0,02750	0,02894	0,03024	0,03283
Mod.																			
1	19	16	11	14	16	18	13	13	15	15	21	21	21	21	19	18	18	18	
2	14	15	15	10	9	5	4	4	4	7	8	8	9	9	10	11	10	11	
3	10	12	14	14	16	15	23	23	23	23	19	18	19	19	19	19	19	19	
4	23	22	22	20	16	16	13	14	14	14	13	12	11	11	12	13	12	13	
5	4	4	5	8	9	12	13	12	10	6	4	4	4	4	4	6	8	8	
6	15	16	18	18	18	18	18	18	18	19	19	21	20	20	20	17	17	15	

Continuação....

Mod. Est.	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	0
1 RP	-6,22869	-5,96351	-5,71017	-5,43369	-5,22765	-5,07209	-4,91862	-4,79931	-4,68594	-4,57155	-4,77777	-4,61731	-4,39641	-4,42057	-4,42488	-5,24993	-1,89853	0,00000
DES	-0,04178	-0,04129	-0,04070	-0,03957	-0,03871	-0,03799	-0,03725	-0,03677	-0,03615	-0,03534	-0,04267	-0,04592	-0,04771	-0,04813	-0,04829	-0,05694	-0,02096	0,00000
SSRR	0,15146	0,14391	0,13602	0,12713	0,12176	0,11972	0,11782	0,11628	0,11453	0,11277	0,09103	0,07719	0,07061	0,07214	0,07309	0,07340	0,01092	0,00000
SD	0,03150	0,03271	0,03367	0,03423	0,03508	0,03646	0,03784	0,03896	0,03981	0,04051	0,04676	0,05253	0,05743	0,05847	0,05924	0,05971	0,05456	0,00000
2 RP	-1,32500	-1,24500	-1,17100	-1,06100	-0,99800	-0,95560	-0,88860	-0,83440	-0,77250	-0,69750	-1,53600	-0,39280	0,43924	0,40690	0,39504	0,24115	2,46970	0,00000
DES	-0,00660	-0,00610	-0,00570	-0,00480	-0,00430	-0,00390	-0,00340	-0,00310	-0,00270	-0,00200	-0,00480	0,00224	0,00726	0,00693	0,00681	0,00595	0,03558	0,00000
SSRR	0,09759	0,09886	0,09930	0,09909	0,09848	0,09789	0,09677	0,09525	0,09356	0,09236	0,07092	0,05220	0,03921	0,03963	0,03987	0,04010	0,02884	0,00000
SD	0,04009	0,04168	0,04309	0,04462	0,04558	0,04624	0,04663	0,04681	0,04703	0,04735	0,05515	0,05936	0,06141	0,06214	0,06261	0,06810	0,09999	0,00000
3 RP	1,74630	1,74340	1,76960	1,85530	1,91310	1,95710	2,02510	2,08040	2,14310	2,21710	1,40980	2,52200	3,32530	3,28420	3,26470	3,11040	5,27340	0,00000
DES	0,01396	0,01448	0,01507	0,01619	0,01709	0,01788	0,01872	0,01933	0,02009	0,02104	0,02282	0,03260	0,03940	0,03908	0,03895	0,03915	0,07043	0,00000
SSRR	0,09704	0,09875	0,09983	0,10113	0,10138	0,10138	0,10144	0,10101	0,10063	0,10093	0,06655	0,06050	0,05438	0,05440	0,05444	0,05131	0,03824	0,00000
SD	0,04123	0,04282	0,04420	0,04580	0,04684	0,04762	0,04812	0,04838	0,04878	0,04935	0,05828	0,06111	0,06176	0,06250	0,06296	0,06850	0,10032	0,00000
4 RP	-1,54657	-1,48931	-1,42228	-1,30397	-1,21783	-1,14526	-1,04610	-0,95949	-0,86708	-0,76789	-1,60388	-0,44764	0,40051	0,38098	0,37409	0,22070	2,44644	0,00000
DES	-0,00796	-0,00770	-0,00744	-0,00665	-0,00608	-0,00554	-0,00488	-0,00438	-0,00367	-0,00272	-0,00557	0,00162	0,00681	0,00663	0,00658	0,00572	0,03529	0,00000
SSRR	0,09702	0,09842	0,09877	0,09820	0,09712	0,09599	0,09442	0,09261	0,09072	0,08937	0,06772	0,04927	0,03669	0,03710	0,03734	0,03723	0,02879	0,00000
SD	0,04016	0,04175	0,04314	0,04462	0,04552	0,04611	0,04646	0,04662	0,04683	0,04715	0,05490	0,05922	0,06133	0,06208	0,06257	0,06809	0,09999	0,00000
5 RP	-1,02306	-1,04199	-1,02026	-0,92493	-0,84843	-0,78062	-0,68744	-0,61047	-0,53044	-0,44262	-1,26429	-0,11154	0,71966	0,67685	0,65324	0,49147	2,71253	0,00000
DES	-0,00414	-0,00440	-0,00447	-0,00388	-0,00337	-0,00284	-0,00215	-0,00163	-0,00093	0,00000	-0,00227	0,00519	0,01039	0,00996	0,00972	0,00886	0,03860	0,00000
SSRR	0,09299	0,09495	0,09558	0,09522	0,09419	0,09312	0,09176	0,09024	0,08875	0,08785	0,06584	0,04885	0,03703	0,03740	0,03761	0,03731	0,02936	0,00000
SD	0,04044	0,04199	0,04331	0,04474	0,04560	0,04618	0,04652	0,04669	0,04696	0,04734	0,05534	0,05946	0,06141	0,06218	0,06267	0,06817	0,10006	0,00000
6 RP	0,16730	0,25475	0,98630	0,49061	0,59170	0,67145	0,77065	0,85335	0,94155	1,03973	0,19505	0,66951	0,90660	0,82840	1,20725	0,91384	2,61412	0,00000
DES	0,00168	0,00244	0,00436	0,00440	0,00535	0,00618	0,00705	0,00770	0,00850	0,00951	0,00798	0,01228	0,01443	0,01352	0,01624	0,01447	0,03725	0,00000
SSRR	0,06889	0,07065	0,11174	0,07201	0,07183	0,07159	0,07136	0,07104	0,07072	0,07084	0,04120	0,03856	0,03460	0,03579	0,03370	0,03185	0,02493	0,00000
SD	0,03472	0,03612	0,03729	0,03873	0,03961	0,04026	0,04067	0,04092	0,04128	0,04179	0,04853	0,05366	0,05459	0,05576	0,05710	0,06184	0,09133	0,00000
Mod.																		
1	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	20	20	20	19	4	24
2	14	14	12	14	13	14	14	13	13	13	15	12	13	12	12	12	14	24
3	20	20	20	21	21	21	21	21	21	21	17	21	21	21	21	21	24	24
4	15	15	14	14	14	13	13	13	12	12	15	10	7	7	7	7	10	24
5	11	11	10	10	10	9	8	8	8	8	10	11	13	14	14	14	20	24
6	5	5	9	6	7	8	9	10	11	11	8	11	10	10	10	11	12	24

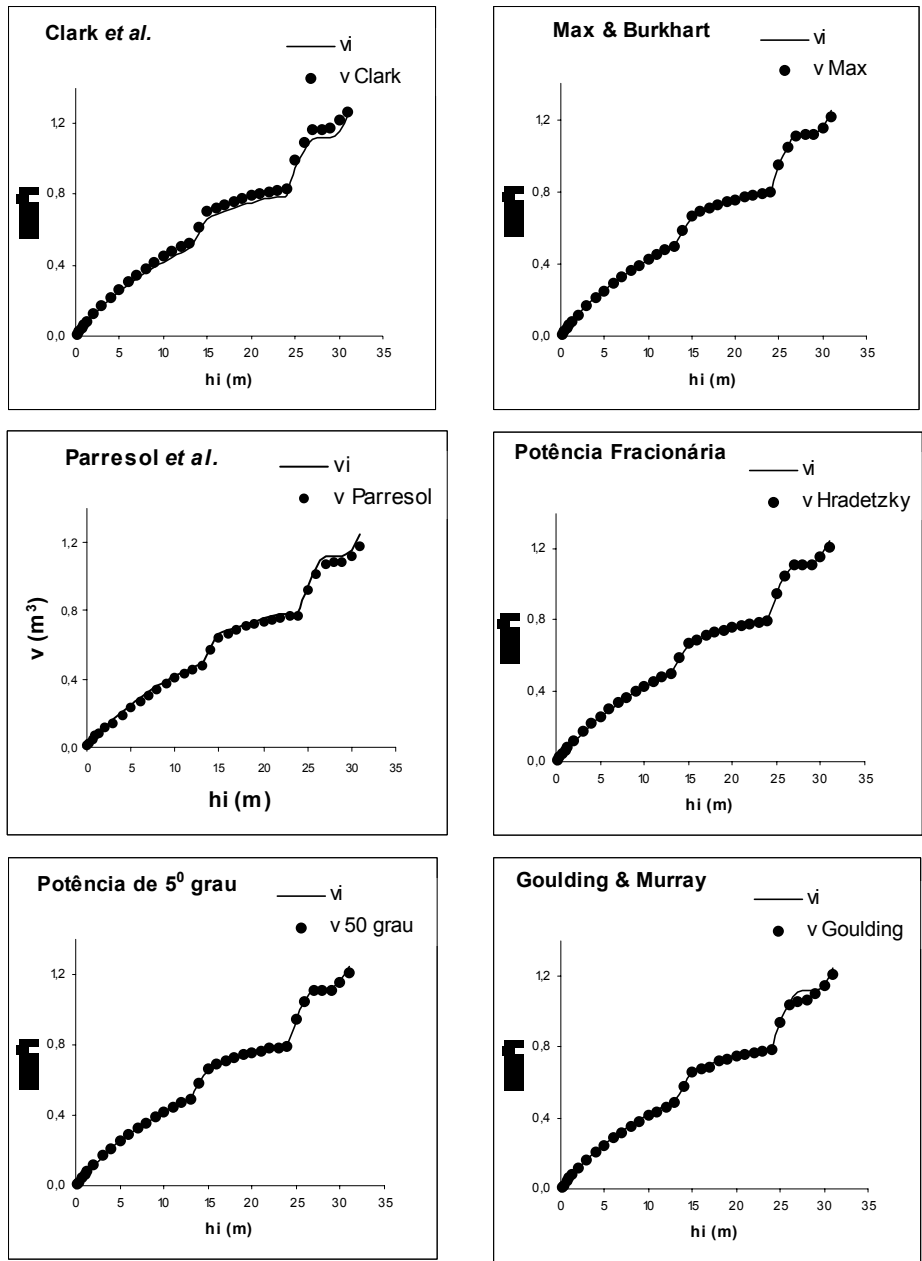
**TABELA 3.7** Melhores estimativas do volume ao longo do fuste das árvores, pelas equações segmentadas e não-segmentadas, suas respectivas posições no ranking e quantidade de vezes (%) que a equação esteve em primeiro lugar.

Alt. (m)	Clark et al.	Max e Burkhardt	Parresol et al.	Hradestzky	5 <sup>o</sup> grau	Goulding
0,1	0	0	0	0	5	0
0,3	0	0	0	0	5	0
0,7	0	0	0	0	5	0
1,0	0	0	0	0	5	0
1,3	0	2	0	0	5	0
2	0	2	0	0	0	0
3	0	2	0	0	0	0
4	0	2	0	0	0	0
5	0	2	0	0	0	0
6	0	0	0	0	5	0
7	0	0	0	0	5	0
8	0	0	0	0	5	0
9	0	0	0	0	5	0
10	0	0	0	0	5	0
11	0	0	0	0	5	0
12	0	0	0	0	5	0
13	0	0	0	0	5	0
14	0	0	0	0	5	0
15	0	0	0	0	0	6
16	0	0	0	0	0	6
17	0	0	0	0	0	6
18	0	0	0	0	0	6
19	0	0	0	0	0	6
20	0	0	0	0	0	6
21	0	0	0	0	5	0
22	0	0	0	0	5	0
23	0	0	0	0	5	0
24	0	0	0	0	5	0
25	0	0	0	0	0	6
26	0	0	0	4	0	0
27	0	0	0	4	0	0
28	0	0	0	4	0	0
29	0	0	0	4	0	0
30	0	0	0	4	0	0
31	1	0	0	0	0	0
Ocorrências em 1 <sup>o</sup> lugar	1	5	0	5	18	7
Ocorrências (%) em 1 <sup>o</sup> lugar	2,86%	14,29%	0,00%	14,29%	51,43%	20,00%



O modelo que mais vezes estimou o volume com maior acurácia foi o modelo do polinômio do quinto grau (Schöepfer, 1966) que, em mais da metade das observações (51,43%), esteve à frente dos demais. As posições ao longo do fuste nas quais o polinômio do quinto grau foi melhor foram: entre 0,10 a 1,30m; de 6,00 a 14m e entre 21,00 e 24,00m. O modelo que ocupou o segundo lugar foi o modelo de Goulding & Murray (1976), com 20,00% de presença em primeiro lugar na estimativa do volume, sendo mais eficiente entre as alturas absolutas de 15,00 a 20,00m. A terceira colocação na estimativa dos volumes coube a dois modelos, ocorrendo um empate entre os de Max & Burkhardt (1976) e do polinômio de potências fracionárias e inteiras (Hradetzky, 1976), com 14,29% de vezes em primeiro lugar. No primeiro caso, a estimativa dos volumes foi melhor entre as alturas de 1,30 e 5,00m e, no segundo, entre 26,00 e 30,00m. Em quinto lugar, ficou o Modelo de Clark et al., com 2,86% das vezes em primeiro lugar, aparecendo na posição de 31,00m. O modelo de Parresol et al. (1987) não apareceu nenhuma vez em primeiro lugar.

Os volumes estimados, quando plotados sobre a mesma curva junto com os volumes reais, mostraram que as estimativas foram precisas para quase todos os modelos testados, como se observa na Figura 3.2.



**FIGURA 3.2** Volumes médios reais e estimados ao longo dos fustes de árvores do clone, descritos pelas equações de afilamento segmentadas e não-segmentadas.

Como mostrado na Figura 3.2, os modelos de Max & Burkhart (1976), polinômio de potências fracionárias e inteiras (Hradetzky, 1976) e o modelo do polinômio do quinto grau (Schöpfer, 1966) foram os mais precisos em estimar o volume em relação ao volume real. O modelo de Clark et al. (1991) apresentou a tendência de superestimar os volumes nos dois terços finais da altura da árvore média. Os modelos de Parresol et al. (1987) e de Goulding & Murray (1976) apresentaram tendência de subestimativa dos volumes nas maiores alturas. O polinômio do quinto grau de Schöpfer (1966) foi o de melhor ajuste geral para a estimativa dos volumes ao longo das seções do fuste da árvore média.

Em uma análise final, constatou-se que o modelo que melhor estimou os diâmetros ao longo do fuste (polinômio de potências fracionárias e inteiras Hradetzky, 1976) foi diferente do modelo que estimou os volumes (polinômio do quinto grau de Schöpfer, 1966), portanto, para cada objetivo deverá ser utilizado o modelo de melhor ajuste.

## 6 CONCLUSÕES

Diante dos resultados apresentados no caso do uso de funções de afilamento para estimativa dos diâmetros e volumes a várias alturas de árvores submetidas ao regime de sistemas agroflorestais, chegou-se às seguintes conclusões:

- O modelo que melhor estimou os diâmetros ao longo do fuste foi o modelo do polinômio de potências fracionárias e inteiras, com 31,43%. Esse percentual distribuiu-se ao longo do fuste entre as alturas de 0,7 e 9,0m e, entre 26,0 e 32,0m, mostrando-se mais eficiente do que os demais para estimativas do terço inferior e do terço superior das árvores;

- O modelo do polinômio do quinto grau estimou o volume com maior acurácia em mais da metade das observações (51,43%), mantendo-se à frente dos demais. As posições ao longo do fuste estimadas pelo polinômio foram: entre 0,10 a 1,30m, de 6,00 a 14m e entre 21,00 e 24,00m.

## 7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANTUNES, F.Z. Caracterização climática dos Estado de Minas Gerais: Climatologia agrícola. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v.12, n.138, p. 9-13, jun. 1986.

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

CLARK III, A.; SOUTER, R. A.; SCHLAEGEL, B. E. **Stem profile equations for Southern tree species**. USDA – Southeastern Forest Experiment Station, 1991. 113 p. (Research Paper, SE 282).

FERREIRA, M.Z. **Estudo de funções de afilamento para representar o perfil e o volume do fuste de *Pinus taeda* L.** Lavras: UFLA, 2004. 196p. (Dissertação – Mestrado em Engenharia Florestal).

FERREIRA, S.O. **Estudo da forma do fuste de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus cloeziana*.** Lavras: UFLA, 1999. 132p. (Dissertação – Mestrado em Engenharia Florestal).

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

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

FISCHER, F.; SCOLFORO, J. R. S.; ACERBI JÚNIOR, F. W.; MELLO, J. M.; MAESTRI, R. Exatidão dos modelos polinomiais e das razões de volume para representar o perfil do tronco de *Pinus taeda*. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 11, n. 1, p. 167-188, jun. 2001.

GOULDING, C. J.; MURRAY, J. C. Polynomial taper equations that are compatible with tree volume equations. **New Zealand Journal of Forest Science**, Rotorua, v. 5, n. 3, p. 313-322, 1976.

HRADETZKY, J. **Analyse und interpretation statistischer abränger keiten. (Biometrische Beiträge zu aktuellen forschungs projekten)**. Baden: Württemberg Mitteilungen der FVA, 1976. 146 p. (Abt. Biometric und Informatik, 21).

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

PARRESOL, B. R.; HOTVEDT, J. E.; CAO, Q. V. A Volume and taper prediction system for bald cypress. **Canadian Journal of Forest Research**, Ottawa, v. 17, n. 3, p. 250-259, Mar. 1987.

SCHOEPFER, W. **Automatisierung des Massen, Sorten und Wertberechnung stenender Waldbestände Schriftenreihe Bad.** [S. l.]: Wurt-Forstl., 1966.

SCOLFORO, J.R.S. **Modelagem do crescimento e da produção florestal para florestas plantadas e nativas**. Lavras: UFLA/FAEPE, 1998. 453p.

SCOLFORO, J.R.S.; RIOS, M.S.; OLIVEIRA, A.D.; et al. Acuracidade de equações de afilamento para representar o perfil do fuste de *Pinus Elliottii*. **Revista Cerne**, Lavras. v.4, n. p.100-122 1998.

SCHUMACHER, F. X.; HALL, F. S. Logarithmic expression of timber tree volume. **Journal of Agricultural Research**, Washington, v. 47, n. 9, p. 719-734, May 1939.

## **CAPÍTULO 4**

### **PROGNOSE DA PRODUÇÃO PRESENTE E FUTURA DE POVOAMENTOS DE EUCALIPTO CULTIVADOS EM SISTEMA AGROFLORESTAL**

## 1 RESUMO

SOUZA, Álvaro Nogueira. **Prognose da produção presente e futura de povoamentos de eucalipto cultivados em sistema agroflorestal**. 2005. Cap. 4, p. 146-175. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

O presente trabalho teve como objetivo geral prognosticar a produção presente e futura de povoamentos de clones de eucalipto submetidos a plantios em espaçamentos abertos em sistemas agroflorestais. Especificamente, pretendeu-se: modelar os atributos da floresta, como sobrevivência, diâmetro mínimo, diâmetro máximo, variância dos diâmetros e média aritmética dos diâmetros utilizando informações do povoamento; ajustar a função probabilística  $S_b$  para cinco diferentes métodos de ajustes por sítio e idade; testar o percentual do diâmetro mínimo associado ao parâmetro  $\varepsilon$  da função  $S_b$  por idade e sítio e prognosticar os sortimentos da floresta a partir de idades precoces com o auxílio de uma função de afilamento. Para proceder à classificação de sítios foi utilizado o modelo de Schumacher na sua formulação anamórfica. Os atributos do povoamento foram modelados sempre com termo em idade na variável independente, a fim de se poder gerá-los no futuro. Para estimar a distribuição diamétrica atual do povoamento, foi ajustada a função de densidade de probabilidade  $S_b$  e testado o percentual do diâmetro mínimo associado ao parâmetro  $\varepsilon$  da função. Para modelar a altura total das árvores, foi ajustado o modelo hipsométrico proposto por Scolforo (1997). A função de afilamento proposta por Schöepfer (1966) foi utilizada para estimar os sortimentos do povoamento. Com todos os modelos ajustados foi montado um sistema de prognose com saídas de sortimentos futuros. As equações dos atributos do povoamento apresentaram bons ajustes e proporcionaram a recuperação dos valores necessários para a recuperação dos parâmetros para a distribuição  $S_b$ ; O melhor método de ajuste dos parâmetros para a distribuição  $S_b$  foi o método dos momentos, com o parâmetro  $\varepsilon$  (locação) sendo considerado como 35% do diâmetro mínimo da parcela. A prognose subestimou os volumes futuros.

Palavras-chave: prognose da produção, taper, eucalipto, sistema agroflorestal, clone, multiprodutos, predição do volume.

---

Comitê de orientação: Antônio Donizette de Oliveira – UFLA (Orientador); José Roberto Soares Scolforo – UFLA (Co-orientador); Natalino Calegário – UFLA (Co-orientador).

## 2 ABSTRACT

SOUZA, Álvaro Nogueira. **Prognosis of the present and future production of eucalypt stands in agroforest system.** 2005. Chapter 4, p. 146-175. Thesis (Doctorate in Forest Engineering) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

The general aim of the present study were to prognosticate the present and future production of stands of eucalypt's clones at wide planting spacings in agroforest system. The specific aims were: to model the attributes of the forest such as survival, minimal diameter, maximal diameter, variance of the diameters and arithmetic average of the diameters using information of the stand; to adjust the probabilistic function  $S_b$  for five different methods of adjustment by site and age; to test the percentage of the minimal diameter associated to the parameter  $\epsilon$  of the function  $S_b$  by age and site; to prognosticate the assortment of the forest from precocious ages with the help of a taper function. To classify the sites, the anamorphic equation of Schumacher Model was used. The attributes of the stand were modeled always with age in the independent variable, aiming to allow their generation in the future. To estimate the present diametric distribution of the stand, it was adjusted the Density Probability Function  $S_b$ , and tested the percentage of the minimal diameter associated to the parameter  $\epsilon$  of the function. To model the total height of the trees, it was adjusted the hypsometric model proposed by Scolforo (1997). The taper function proposed by Schöepfer (1966) was used to estimate the assortment of the stand. With all models adjusted, it was set up a system of prognosis with outputs of future assortments. The equation of the attributes of the stand showed good adjusts and allowed the recovery of the values needed to the recovery of the parameters for the Distribution  $S_b$ ; The best method of adjustment of the parameter for the Distribution  $S_b$  was the Moment Method with the parameter  $\epsilon$  (location) being considered as 35% of the minimal diameter of the plot; The prognosis underestimated the future volumes.

Key-words: prognosis of the production, taper, eucalypt, agroforest system, clone, multiproducts, prediction of the volume.

---

Guidance committee: Antônio Donizette de Oliveira – UFLA (Supervisor); José Roberto Soares Scolforo – UFLA (Co-supervisor); Natalino Calegário – UFLA (Co-supervisor).



### 3 INTRODUÇÃO

Toda atividade empresarial requer da equipe de técnicos, dentro do processo produtivo, profundo envolvimento nas várias etapas a serem vencidas até a obtenção do produto final, seja este um bem ou um serviço.

Neste contexto, o planejamento das atividades conduz ao sucesso no alcance dos objetivos e ao atendimento das necessidades de cada etapa.

Na atividade florestal que tem, entre suas várias características, o longo prazo, gerando imobilização do capital por vários anos, o planejamento se torna o caminho fundamental a ser percorrido para que o suprimento de matéria-prima nas unidades fabris seja possível, sem interrupções que poderiam levar ao não cumprimento de contratos.

A modelagem do crescimento e da produção presente e futura de povoamentos florestais vem sendo aplicada com sucesso para povoamentos de coníferas e folhosas, oferecendo informações precisas de características importantes desses povoamentos que proporcionam decisões empresariais antecipadas e seguras, garantindo o sucesso do empreendimento.

A modelagem de povoamentos de eucalipto vem sendo difundida por meio de estudos realizados por Thiersch (1997), Scolforo (1998) e Abreu (2000). Tais povoamentos são plantados em espaçamentos convencionais e o resultado é considerado satisfatório.

Para situações de plantios em espaçamentos abertos, como no caso daqueles submetidos aos sistemas agroflorestais, as informações sobre a modelagem ainda não estão disponíveis e sua obtenção se justifica pelo fato de que toda a fisiologia e o comportamento do povoamento florestal são alterados e diferem dos plantios convencionais.

Soma-se a isso o cultivo consorciado com culturas anuais e perenes, situação na qual o povoamento florestal se beneficia dos tratos culturais aplicados no manejo dessas culturas. Com esses fatos ainda pode-se pensar no caso dos tratos culturais aplicados às árvores, como a poda, todos contribuindo para alterar o comportamento do crescimento dos indivíduos.

A Companhia Mineira de Metais vem trabalhando com sistemas agrossilvopastoris na região noroeste do estado de Minas Gerais, com vistas à produção de madeira para usos múltiplos (madeira serrada e madeira para produção de carvão), utilizando espaçamentos de 10 x 4 metros.

Para a obtenção de produtos na idade de corte são utilizados modelos de funções de afilamento que fornecem com precisão o volume de toras nas dimensões desejadas pela empresa de acordo com o uso.

Para que a empresa tenha o conhecimento da produção futura dos povoamentos, a fim de apresentar com segurança o volume futuro e aí aplicar as funções de afilamento, é que se faz necessário o uso da modelagem da produção, que também oferece informações que ajudarão na tomada de decisão com relação à idade de corte do povoamento florestal.

Diante dessas considerações, o presente trabalho teve como objetivo geral prognosticar a produção presente e futura de povoamentos de clones de eucalipto submetidos a plantios em espaçamentos abertos em sistemas agroflorestais.

Especificamente pretendeu-se:

- modelar os atributos da floresta, como sobrevivência, diâmetro mínimo, diâmetro máximo, variância dos diâmetros e média aritmética dos diâmetros, utilizando informações do povoamento;
- ajustar a função probabilística  $S_b$  para cinco diferentes métodos de ajustes por sítio e idade;

- testar o percentual do diâmetro mínimo associado ao parâmetro  $\varepsilon$  da função  $S_b$  por idade e sítio;
- prognosticar os sortimentos da floresta a partir de idades precoces com o auxílio de uma função de afilamento.

## 4 MATERIAL E MÉTODOS

### 4.1 Localização e caracterização da área de estudo

A área de estudo pertence à Companhia Mineira de Metais (CMM) Grupo Votorantin, localizada no município de Vazante, na região noroeste do estado de Minas Gerais. A latitude é de 17°36'09'' e a longitude é de 46°42'02'' oeste de Greenwich. A altitude é de 550m. O clima é do tipo Aw, tropical úmido de savana, com inverno seco e verão chuvoso, segundo a classificação de Köppen (Antunes, 1986). A temperatura média anual é de 24°C e a precipitação média anual é de 1.450mm.

As unidades de estudo foram compostas por talhões de um clone de híbridos naturais de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus camaldulensis*, plantados em consórcio com arroz, soja e pastagem, no espaçamento 4 x 10 metros, objetivando produzir madeira para serraria e para energia.

### 4.2 Descrição do sistema agroflorestal

O início do projeto é marcado pelo plantio de arroz e eucalipto no ano zero do eucalipto. A CMM iniciou os seus sistemas agroflorestais em dezembro

de 1993, utilizando mudas de clones produzidas no seu próprio viveiro florestal. O preparo da área envolve uma aração profunda e duas gradagens niveladoras, além de aplicação de calcário zínico MMA 85% de PRNT, à razão de 2,5t/ha.

As linhas de plantio do eucalipto são orientadas no sentido leste-oeste, a fim de permitir maior insolação às culturas consorciadas. As entrelinhas de eucalipto serão consorciadas com arroz (*Orizya sativa*, cultivar Guarany) plantado no espaçamento 0,45m.

A próxima cultura que entra no sistema é a soja (*Glycine max* (L.) Merrill, cultivar Conquista), no espaçamento de 0,45 metro. Esse plantio ocorre normalmente no ano 1 do eucalipto.

A formação da pastagem inicia-se aos 2 anos do eucalipto, com o plantio de *Brachiaria brizantha*. No terceiro ano do eucalipto, é realizada uma adubação nitrogenada de cobertura na pastagem. Nos anos 3, 5, 7 e 9 do plantio de eucalipto são adquiridos animais que utilizarão a pastagem para engorda e a sombra do eucalipto para proteção e repouso.

O povoamento florestal passa por três intervenções de tratos silviculturais. Com um ano e meio de idade, a primeira intervenção é realizada utilizando-se foice e serrote para desrama artificial até a altura de 2 metros. Aos dois anos e meio, o povoamento passa por novos tratos silviculturais. Desta vez, com uso do serrote, as árvores são podadas até a altura de 4 metros. Com três anos e meio de idade, o povoamento passa por mais uma intervenção, quando a poda atinge 6 metros de altura, ficando esta parte do fuste para crescimento livre de nós.

### **4.3 O levantamento de campo**

Os projetos que participaram do presente estudo foram implantados nos anos de 1994, 1996, 1997, 1999 e 2000. Portanto, no início do experimento

(outubro de 2001), as árvores amostradas tinham, respectivamente, 0,5; 1,5; 3,5; 4,5 e 6,5 anos de idade. Foram realizados 4 inventários nas seguintes datas: outubro de 2001, abril de 2002, outubro de 2002 e abril de 2003. Assim, foram feitas medições em dois períodos secos e dois períodos chuvosos.

#### **4.3.1 Tamanho das parcelas e variáveis mensuradas no povoamento florestal**

Cada parcela com área de 400m<sup>2</sup> apresentou 10 árvores (duas fileiras de 5 árvores cada) em que foram mensuradas a circunferência à altura do peito (CAP), a altura total e a altura média das árvores dominantes.

#### **4.4 Classificação de sítios florestais**

Para proceder à classificação de sítios, foi utilizado o modelo de Schumacher na sua formulação anamórfica, como apresentado a seguir:

$$Hd_2 = Hd_1 e^{\left\{ \beta_1 \left[ \left( \frac{1}{I_1} \right) - \left( \frac{1}{I_2} \right) \right] \right\}}$$

em que:

Hd<sub>2</sub> = altura média das árvores dominantes na idade de interesse;

Hd<sub>1</sub> = altura média das árvores dominantes na idade atual;

I<sub>1</sub> = idade atual;

I<sub>2</sub> = idade de interesse;

e = base do logaritmo natural.

Foi realizado um teste de estabilidade para verificar se as alturas médias das árvores dominantes em cada parcela, permaneceram ou mudaram de classe entre as quatro medições.

#### 4.5 Modelagem dos atributos do povoamento

Os atributos do povoamento, como diâmetro mínimo, diâmetro máximo, diâmetro médio, sobrevivência das árvores e variância dos diâmetros, foram modelados. Dessa forma, a modelagem da predição foi possível e, uma vez modelada a predição, os mesmos modelos foram utilizados para a projeção, pois todos eles possuíam um termo em idade como variável independente. Os vários modelos testados foram estudados por Scolforo (1998).

Adicionalmente, o diâmetro médio quadrático da parcela foi obtido pela seguinte expressão:

$$Dg = \sqrt{\frac{G}{0,0000758398 \times N}}$$

em que:

Dg: diâmetro médio quadrático;

G: área basal por ha;

N: número de árvores por ha.

Os critérios de seleção das equações mais precisas foram coeficiente de determinação ( $R^2$ ), erro padrão residual (Syx) e a distribuição gráfica dos resíduos.

#### 4.6 Ajustes da distribuição diamétrica $S_b$

Para estimar a distribuição diamétrica atual do povoamento, foi ajustada a função de densidade de probabilidade, proposta por Johnson (1949), conhecida na literatura como distribuição  $S_b$  de Johnson. Esta distribuição foi adotada por ser flexível e se apresentar em diversas formas, de acordo com o comportamento

de seus parâmetros de assimetria e curtose. Sua fórmula geral está apresentada a seguir:

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

sendo:

$$\varepsilon < d < \varepsilon + \lambda$$

$$-\infty < \varepsilon < \infty$$

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

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

em que:

$\varepsilon$  : parâmetro de locação (equivalente a um percentual do diâmetro mínimo);

$\lambda$  : parâmetro de escala (é o diâmetro máximo da parcela);

$d$  : diâmetro do centro de classe ou da *i*-ésima árvore da parcela;

$\delta$  e  $\gamma$  : expressam a forma da distribuição. Quando  $\delta$  aumenta, implica em grande aumento na forma; aumentos no valor absoluto de  $\gamma$  implicam em mais assimetria, ou seja,  $\delta$  é o parâmetro curtose e  $\gamma$  é o parâmetro que expressa assimetria.

Os métodos de estimativa dos parâmetros  $\delta$  e  $\gamma$  utilizados no estudo encontram-se na Tabela 4.1.

**TABELA 4.1** Métodos de ajuste dos parâmetros  $\delta$  e  $\gamma$  para a distribuição  $S_b$  utilizados no estudo.

Método de estimativa – Máxima verossimilhança (Johnson, 1949)	
$\hat{\gamma} = \frac{-\bar{f}}{s_f}$	e $\hat{\delta} = \left[ n / \sum_{i=1}^n (f_i - \bar{f})^2 \right]^{1/2} = \frac{1}{s_f}$
Método de estimativa – Momentos (Johnson & Kitchen, 1971)	
$\gamma \cong \delta \ln \left( \frac{1-\mu}{\mu} \right) + \left( \frac{0,5-\mu}{\delta} \right) \therefore \mu = \frac{\bar{d} - \varepsilon}{\lambda}$ $\delta \cong \frac{\mu(1-\mu)}{Sd(x)} + \frac{Sd(x)}{4} \left[ \frac{1}{\mu(1-\mu)} - 8 \right]$	
Método de estimativa – Knoebel & Burkhart (1991)	
$\gamma = -\delta \ln \left( \frac{D_{50} - \varepsilon}{\varepsilon + \lambda - D_{50}} \right)$ $\delta = \frac{Z_{95}}{\ln \left( \frac{D_{95} - \varepsilon}{\varepsilon + \lambda - D_{95}} \right) - \ln \left( \frac{D_{50} - \varepsilon}{\varepsilon + \lambda - D_{50}} \right)}$	
Método de estimativa – Moda (Hafley & Buford, 1985)	
$\frac{2(x_m - \varepsilon)}{\lambda} - 1 = \delta \left[ \gamma + \delta \ln \left( \frac{x_m - \varepsilon}{\lambda + \varepsilon - x_m} \right) \right]$ $\delta = \frac{\lambda}{4\sigma_x}$	
Método de estimativa – Regressão linear (Zhou & McTague, 1996)	
$\hat{\gamma} = \bar{Z} - \hat{\delta} \bar{f}$ $\hat{\delta} = \frac{\sum_{i=1}^n f_i Z_i - n \bar{f} \bar{Z}}{\sum_{i=1}^n f_i^2 - n \bar{f}^2}$	

em que:

$\mu$  = Média aritmética

$\bar{f}$  : média aritmética da variável  $f_i$  ;



$S_f$  : desvio padrão da variável  $f_i$  ;  
 $S^2_f$  : variância da variável  $f_i$  ;  
 $Sd(x)$  : desvio padrão modificado;  
 $\sigma$  : desvio padrão da parcela.  
 $D_{50}$  : diâmetro percentil 50;  
 $D_{90}$  : diâmetro percentil 90;  
 $X_m$  : moda de  $x$ ;  
 $Ln$  : logaritmo natural;  
 $\bar{Z}$  : média da variável normal padronizada;  
 $Z_i$  : variável normal padronizada;  
 $n$  : número de observações ou número de árvores na parcela;  
 $f_i$  : transformação do diâmetro de cada árvore da parcela;  
 $d_i$  : diâmetro da árvore na parcela;  
 $\bar{d}$  : média aritmética dos diâmetros da parcela;  
 $d_{\min}$  : menor diâmetro da parcela;  
 $d_{\max}$  : maior diâmetro da parcela.  
Os demais termos já foram definidos anteriormente.

Para selecionar o melhor método de estimativa das distribuições diamétricas teóricas, no caso de se testar mais de uma, utiliza-se o teste de aderência de Kolmogorov-Sminorv. Este teste compara as frequências teóricas estimadas pelos métodos com a frequência observada por classe diamétrica em cada parcela. O ponto de maior divergência entre as duas distribuições é o valor  $D$  de Kolmogorov-Smirnov. Assim:

$$D = \text{MAX} [F(X) - S(X)]$$

em que:

F(x): valor da função de distribuição de frequência acumulativa teórica;

S(x): valor da função de distribuição de frequência acumulativa observada.

No caso do presente estudo, este teste foi utilizado para determinar o melhor método de estimativa dos parâmetros  $\delta$  e  $\gamma$  para a distribuição  $S_b$ .

Especificamente para os métodos de estimativa da máxima verossimilhança e dos momentos, na obtenção do valor de “ $\varepsilon$ ” compreendido entre zero e o diâmetro mínimo da parcela, foram considerados os seguintes percentuais em relação ao diâmetro mínimo: 0,05x dmin, 0,15x dmin, 0,25x dmin, 0,35x dmin, 0,55x dmin, 0,55x dmin, 0,65x dmin, 0,75x dmin, 0,85x dmin, 0,95x dmin e 1, para se observar qual percentual do diâmetro mínimo proporcionaria melhores ajustes.

#### 4.7 Ajuste de modelos hipsométricos

Uma vez que se modelou a distribuição dos diâmetros, torna-se necessária a modelagem da altura total das árvores nas parcelas, a fim de, na idade de prognose, idade na qual se deseja conhecer a produção, se reconstituir a árvore em diâmetro e altura. Para tanto, foi utilizado o modelo de relação hipsométrica genérica, proposto por Scolforo (1997). Tal modelo tem a seguinte expressão:

$$\text{Ln}(\overline{H}) = \beta_0 + \beta_1 \text{Ln}Hd + \beta_2 \left( \frac{Dg}{Di} \right) + \beta_3 \left( \frac{1}{I_2 \times Di} \right) + \beta_4 \left( \frac{1}{Di} \right)$$

em que:

$\overline{H}$ : altura média das árvores na iésima classe de diâmetro;

Hd: altura média das 100 árvores de maior diâmetro por hectare;

$D_i$ : valor central da  $i$ ésima classe de diâmetro;

$I_2$ : idade de projeção.

Os demais termos já foram definidos anteriormente.

#### 4.8 Função de afilamento

No capítulo 3 foram estimadas as funções de afilamento a partir de dados da cubagem rigorosa. Essas funções permitem o sortimento dos produtos, fornecendo, aliadas à prognose da produção, o volume de diferentes produtos na idade de interesse, além do volume total das árvores. A função selecionada para estimar o volume foi o polinômio do quinto grau (Schöepfer, 1966), que tem a fórmula de volume pela integração da seguinte função:

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

em que:

$d_i$  : diâmetro comercial (cm) ou diâmetro correspondente a qualquer altura  $h_i$ , especificada ou comercial;

$D$  : diâmetro a 1,3 m de altura (cm);

$H$  : altura total (m);

$h_i$  : altura comercial (m);

$\beta_{is}$  : parâmetros a serem estimados;

$e_i$  : erro de estimativa.

Por integração da função de afilamento, obteve-se a função de volume, dada por:

$$\begin{aligned}
V = KD^2 & \left[ c_0^2 h_i + c_0 c_1 h_i^2 + \left( \frac{2}{3} c_0 c_2 + \frac{1}{3} c_1^2 \right) h_i^3 + \left( \frac{1}{2} c_0 c_3 + \frac{1}{2} c_1 c_2 \right) h_i^4 + \right. \\
& + \left( \frac{2}{5} c_0 c_4 + \frac{2}{5} c_1 c_3 + \frac{1}{5} c_2^2 \right) h_i^5 + \left( \frac{1}{3} c_0 c_5 + \frac{1}{3} c_1 c_4 + \frac{1}{3} c_2 c_3 \right) h_i^6 + \\
& + \left( \frac{2}{7} c_1 c_5 + \frac{2}{7} c_2 c_4 + \frac{1}{7} c_3^2 \right) h_i^7 + \left( \frac{1}{4} c_2 c_5 + \frac{1}{4} c_3 c_4 \right) h_i^8 + \\
& \left. + \left( \frac{2}{9} c_3 c_5 + \frac{1}{9} c_4^2 \right) h_i^9 + \frac{1}{5} c_4 c_5 h_i^{10} + \frac{1}{11} c_5^2 h_i^{11} \right]_{h_1}^{h_2}
\end{aligned}$$

em que:

$$c_0 = \beta_0; \quad c_1 = \frac{\beta_1}{H}; \quad c_2 = \frac{\beta_2}{H}; \quad \dots; \quad c_5 = \frac{\beta_5}{H}$$

#### 4.9 Prognose da produção

Para proceder à prognose do crescimento e da produção por classe diamétrica, utilizaram-se as equações dos atributos da floresta, todas com termo em idade. Assim, para a idade de interesse, foram levados os atributos que permitiram a estimativa dos parâmetros da função  $S_b$ , na idade de prognose.

A partir do modelo de produção foram obtidos os coeficientes para a equação de área basal. O sítio, variável independente no modelo, foi modelado por meio da fórmula de Schumacher, formulação anamórfica.

Obtidas as informações do povoamento por ha, o passo seguinte foi a modelagem dos atributos com informações das parcelas, para que se

trabalhassem os parâmetros da distribuição  $S_b$  e se estimasse a distribuição das árvores por classe de diâmetro nas parcelas.

Nesse caso, foram ajustados os modelos para diâmetro mínimo, diâmetro máximo, diâmetro médio, variância dos diâmetros e sobrevivência das árvores expressa na forma de número de indivíduos por ha.

Com os atributos estimados foi possível trabalhar a função  $S_b$  de Johnson, selecionar o melhor método de ajuste e o percentual do diâmetro mínimo para o parâmetro de locação. Na idade de prognose, como há um termo em idade nas equações dos atributos, bastou colocar no lugar da idade atual o valor relativo àquela idade em que se pretendia conhecer os volumes por classe diamétrica.

A seleção do método de ajuste e do percentual do diâmetro mínimo para o parâmetro de locação foi realizada com o auxílio de um ranking entre as 25 opções possíveis: método dos momentos com  $\varepsilon = 1$ , método da máxima verossimilhança com  $\varepsilon = 1$ , método de Knoebel e Burkhart, método da moda, método da regressão linear e a variação no percentual do diâmetro mínimo de  $0,05x d_{min}$ ,  $0,15x d_{min}$ ,  $0,25x d_{min}$ ,  $0,35x d_{min}$ ,  $0,55x d_{min}$ ,  $0,55x d_{min}$ ,  $0,65x d_{min}$ ,  $0,75x d_{min}$ ,  $0,85x d_{min}$ ,  $0,95x d_{min}$ , para os métodos momentos e máxima verossimilhança.

O ranking foi obtido da seguinte forma: foi observado e quantificado o número de vezes em que cada uma das 25 situações descritas anteriormente teve o menor valor no teste de Kolmogorov-Sminorv, ou seja, ficou em primeiro lugar e assim para as demais colocações, até a vigésima quinta.

Para a primeira colocação foi atribuído peso zero; a segunda recebeu peso um, a terceira peso dois e assim sucessivamente, até a última colocação. Multiplicando-se o número de vezes quantificado para cada colocação pelo seu peso, foi obtido o valor ponderado, de forma que aquela situação que no somatório recebeu o menor valor ponderado foi a adotada.

Como a distribuição apresenta a probabilidade de árvores ocorrerem em determinada classe de diâmetro, a função de sobrevivência de árvores na idade de prognose permitiu conhecer o número de indivíduos por classe diamétrica, multiplicando-se o centro da classe pela probabilidade de ocorrerem árvores.

Com a relação hipsométrica genérica ajustada foi possível reconstituir a altura das árvores no centro de cada classe diamétrica. Com diâmetro e altura, a função de afileamento calculou o volume por classe diamétrica, que foi extrapolado para o hectare.

Para efeito de comparação da eficiência da prognose da produção, foram prognosticados os volumes a partir da primeira medição para as outras medições num dado conjunto de parcelas. Os modelos testados que compuseram o sistema de prognose encontram-se na Tabela 4.2.

**TABELA 4.2** Modelos utilizados no sistema de prognose da produção para clones de eucaliptos sob regime de sistemas agroflorestais.

Variável Dependente	Modelo
Volume	$\text{Ln}V_2 = \beta_0 + \beta_1 \times \left(\frac{1}{S}\right) + \beta_2 \times \left(\frac{1}{I_2}\right) + \beta_3 \times \left(\frac{I_1}{I_2}\right) \times \text{Ln}(G_1) + \beta_4 \times \left(1 - \frac{I_1}{I_2}\right) + \beta_5 \times \left(1 - \frac{I_1}{I_2}\right) \times S$
Área basal	$\text{Ln}G_2 = \left(\frac{I_1}{I_2}\right) \times \text{Ln}(G_1) + \alpha_0 \times \left(1 - \frac{I_1}{I_2}\right) + \alpha_1 \times \overline{Hd} \times \left(1 - \frac{I_1}{I_2}\right)$
Sítio	$Hd_2 = Hd_1 e^{\left\{ \beta_1 \left[ \left(\frac{1}{I_1}\right) - \left(\frac{1}{I_2}\right) \right] \right\}}$
Diâmetro mínimo	$\text{Ln}D_{\min} = \beta_0 + \beta_1 \text{Ln}Dg + \beta_2 \text{Ln}S + \beta_3 \left(\frac{1}{I}\right) + \beta_4 \left(\frac{1}{I^2}\right)$
Diâmetro máximo	$\text{Ln}D_{\max} = \beta_0 + \beta_1 \text{Ln}Dg + \beta_2 \text{Ln}S + \beta_3 I + \beta_4 I^2$
Diâmetro médio	$\text{Ln}D_{\text{med}} = \beta_0 + \beta_1 \text{Ln}Dg + \beta_2 \left(\frac{1}{I}\right) + \beta_3 \left(\frac{1}{I^2}\right)$
Variância dos diâmetros	$\text{Ln}(Dg^2 - d^2) = \beta_0 + \beta_1 D_{\min} + \beta_2 D_{\text{med}} + \beta_3 D_{\max} + \beta_4 \left(\frac{1}{I^2}\right) + \beta_5 Dg$
Sobrevivência	$N_2 = N_1 \times e^{\left[ \beta_0 (I_2^{-1} - I_1^{-1}) + \beta_1 \text{Ln} \left(\frac{I_2}{I_1}\right) \right]}$
Altura total	$\text{Ln}HT = \beta_0 + \beta_1 \times \text{Ln}(h_{\text{med}}) + \beta_2 \times \text{Ln}\left(\frac{Dg}{DAP}\right) + \beta_3 \times \left(\frac{1}{I \times DAP}\right) + \beta_4 \times \left(\frac{1}{DAP}\right)$

em que:

$V_2$ : volume na idade de prognose;

S: índice de sítio;

G: área basal;

$I_1$  e  $I_2$ : idade atual e idade de prognose, respectivamente;

Hd: altura média das árvores dominantes;

Dg: diâmetro médio quadrático;

Dmin: diâmetro mínimo da parcela;

Dmax: diâmetro máximo da parcela;

Dmed: diâmetro médio da parcela;

$N_1$  e  $N_2$ : número de árvores por ha na idade atual e na idade de prognose respectivamente;

HT: altura total das árvores na parcela.

## **5 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **5.1 Classificação de sítios florestais**

A equação que estima a altura média das árvores a partir do modelo de Schumacher na forma anamórfica apresentou um  $R^2$  ajustado de 89,32% e um Syx de 0,9865m. O povoamento apresentou 4 classes de sítio, com os limites inferior e superior situados entre 14,5 e 31,5 metros, com uma amplitude de classe de 4 metros.

O teste de estabilidade mostrou que muitas parcelas mudaram de classe de sítio em um comportamento atípico. Tal fato pode ser esclarecido pelo alto índice de árvores quebradas nas parcelas, fruto da pouca resistência das árvores em função do espaçamento amplo no qual cada indivíduo tem uma área de crescimento de  $40m^2$ , enquanto em plantios convencionais essa área situa-se entre  $6m^2$  e  $9m^2$ . Com o acentuado número de quebras, as alturas das árvores foram se alterando durante o período do levantamento de campo.

### **5.2 Modelagem dos atributos do povoamento**

As equações dos atributos da floresta, aquelas que permitiram o funcionamento do sistema de prognose, estão apresentadas na Tabela 4.3, que traz também os valores das estatísticas  $R^2$  e Syx.



Como pode ser observado na Tabela 4.3, os ajustes para os atributos do povoamento apresentaram boas estatísticas. O modelo para área basal não apresentou estatísticas porque os parâmetros foram obtidos da equação de volume pela seguinte relação:

$$\alpha_0 = \frac{\beta_4}{\beta_3} \text{ e } \alpha_1 = \frac{\beta_5}{\beta_3}$$

Um ponto importante, quando se trata do sistema de prognose da produção, é que todas as equações trabalham juntas e uma equação que apresentou boas estatísticas pode interferir na performance de outras equações. Assim, em alguns casos, foi necessário ajustar modelos com outras variáveis independentes.

Para sistematizar a prognose da produção, o ajuste dos atributos do povoamento foi o primeiro passo para permitir que a função de densidade de probabilidade fosse estimada.

**TABELA 4.3** Equações utilizadas no sistema de prognose da produção para clones de eucalipto sob regime de sistemas agroflorestais, estatísticas e significância das variáveis independentes.

Variável independente	Modelo	R <sup>2</sup> %	Syx
Volume	$LnV_2 = 2,94948 - 23,5028 \times \left(\frac{1}{S}\right) - 18,662 \times \left(\frac{1}{I_2}\right) + 1,1119 \times \left(\frac{I_1}{I_2}\right) \times Ln(G_1) + 5,23659 \times \left(1 - \frac{I_1}{I_2}\right) - 0,0827714 \times \left(1 - \frac{I_1}{I_2}\right) \times S$	98,56	0,1901
Área basal	$LnG_2 = \left(\frac{I_1}{I_2}\right) \times Ln(G_1) + 4,709587193 \times \left(1 - \frac{I_1}{I_2}\right) - 0,0744414066 \times \overline{Hd} \times \left(1 - \frac{I_1}{I_2}\right)$	--	--
Sítio	$Hd_2 = Hd_1 e^{\left\{20,01098 \left[\left(\frac{1}{I_1}\right) - \left(\frac{1}{I_2}\right)\right]\right\}}$	89,32	0,9865
Diâmetro mínimo	$LnDmin = -2,73083 + 1,60404 \times LnDg + 0,104388 \times LnS + 18,8021 \times \left(\frac{1}{I}\right) - 85,1029 \left(\frac{1}{I^2}\right)$	92,68	0,1860
Diâmetro máximo	$LnDmax = 0,490009 + 0,889554 \times LnDg - 0,0581035 \times LnS + 0,00289747 \times I - 0,0000098241 \times I^2$	99,54	0,0354
Diâmetro médio	$LnDmed = -0,0743208 + 1,01895 \times LnDg + 0,657779 \times \left(\frac{1}{I}\right) - 3,69516 \left(\frac{1}{I^2}\right)$	99,98	0,0600
Variância dos diâmetros	$Ln(Dg^2 - \overline{d^2}) = -1,136 - 0,27876 \times Dmin - 3,61938 \times Dmed + 0,388978 \times Dmax - 75,6505 \left(\frac{1}{I^2}\right) + 3,50248 Dg$	90,27	0,3675
Sobrevivência	$N_2 = N_1 \times e^{\left[-0,00124359 \times (I_2^{-1} - I_1^{-1}) + 0,0208715 \times Ln\left(\frac{I_2}{I_1}\right)\right]}$	81,21	6,2019
Altura total	$LnHT = 0,491307 + 0,911082 \times Ln(hmed) - 0,0217843 \times Ln\left(\frac{Dg}{DAP}\right) + 26,0189 \times \left(\frac{1}{I \times DAP}\right) - 4,13041 \times \left(\frac{1}{DAP}\right)$	96,82	0,1087

### **5.3 Ajustes da distribuição diamétrica $S_b$**

Com os atributos estimados foi possível trabalhar a Função  $S_b$ , selecionar o melhor método de ajuste e o percentual do diâmetro mínimo para o parâmetro de locação. Uma vez recuperados os parâmetros, foi possível selecionar a melhor situação para a função  $S_b$ . Os resultados do ajuste da distribuição encontram-se na Tabela 4.4.

**TABELA 4.4** Número de vezes que a frequência teórica foi semelhante à frequência observada, para os métodos de ajustes e percentuais do diâmetro mínimo.

$S_{NM01}$	$S_{M01}$	$S_{NB}$	$S_{M4}$	$S_{B1}$	$S_{NM05}$	$S_{M15}$	$S_{M75}$	$S_{M15}$	$S_{M45}$	$S_{M55}$	$S_{M65}$	$S_{M75}$	$S_{M85}$	$S_{M95}$	$S_{NM05}$	$S_{M15}$	$S_{M75}$	$S_{M15}$	$S_{M45}$	$S_{M55}$	$S_{M65}$	$S_{M75}$	$S_{M85}$	$S_{M95}$
19	13	11	14	30	27	21	18	5	3	7	3	9	13	22	32	9	11	8	5	3	2	3	15	20
19	34	4	2	5	24	15	11	10	6	5	1	6	21	20	21	18	15	9	4	10	7	11	25	20
24	27	7	2	8	13	19	23	8	8	5	3	11	18	11	15	13	9	10	7	10	9	24	24	15
19	15	1	0	9	15	23	13	7	9	5	10	19	23	9	19	24	16	6	14	5	14	21	18	9
7	12	2	3	6	10	30	21	13	9	10	11	20	11	5	11	19	10	22	9	6	20	31	15	10
11	4	5	4	2	8	26	24	11	19	9	26	25	9	1	2	25	17	18	13	10	23	17	8	6
11	7	4	4	1	5	10	25	16	16	15	25	16	7	5	5	11	21	30	9	21	26	17	11	5
10	8	6	0	2	6	3	21	27	24	27	26	11	2	2	1	12	26	20	16	20	32	11	5	5
5	4	6	3	6	3	1	11	26	30	34	24	16	4	0	8	6	18	26	23	25	21	10	9	4
7	6	2	5	4	4	4	5	30	37	42	22	4	5	1	2	5	10	30	29	34	13	5	12	5
4	4	1	4	3	1	4	11	25	43	26	13	11	3	0	3	5	11	28	51	40	10	14	5	3
0	8	4	4	3	5	9	13	15	48	24	21	6	10	2	4	5	13	19	56	21	11	12	8	2
3	3	2	7	6	3	10	18	23	24	25	10	18	8	6	1	9	5	22	35	49	15	16	4	1
4	4	4	1	4	6	10	17	27	22	49	14	8	8	4	4	7	15	26	13	31	20	12	6	7
7	4	8	3	5	3	15	22	25	14	20	15	8	12	3	6	7	13	23	9	21	46	14	16	4
12	9	4	5	6	7	21	23	19	6	13	41	8	5	7	7	15	25	9	11	2	31	17	12	8
14	12	11	7	11	12	14	15	10	2	2	23	24	11	8	10	17	32	8	9	9	15	33	10	4
9	11	8	12	15	11	17	12	8	1	4	18	34	14	5	17	23	28	4	7	3	5	28	22	7
16	19	11	9	14	19	22	10	8	2	1	11	22	21	7	10	22	9	3	1	2	1	25	36	22
26	20	17	17	15	16	16	2	7	0	0	5	27	34	13	13	22	8	0	2	0	1	0	31	31
26	24	17	13	18	31	16	7	2	0	0	1	17	43	17	20	7	6	1	0	0	1	2	22	32
28	20	34	21	23	36	8	0	1	0	0	0	3	27	40	33	14	3	1	0	1	0	0	5	25
13	22	34	27	36	29	3	0	0	0	0	0	0	13	58	35	10	0	0	0	0	0	0	4	39
13	19	53	52	52	20	4	1	0	0	0	0	0	1	47	23	10	1	0	0	0	0	0	0	27
16	14	67	104	39	9	2	0	0	0	0	0	0	0	30	21	8	1	0	0	0	0	0	0	12

em que:

$S_{bMo}$ :  $S_b$  momentos com  $\varepsilon = 1$ ;

$S_{bMa1}$ :  $S_b$  máxima verossimilhança com  $\varepsilon = 1$ ;

$S_{bKb}$ :  $S_b$  Knoebel-Burkhart;

$S_{bMd}$ :  $S_b$  moda;

$S_{bRI}$ :  $S_b$  regressão linear;

Os demais são as variações dos percentuais do diâmetro mínimo entre 5% e 95% para os métodos momentos e máxima verossimilhança.

A verificação de qual a melhor situação foi facilitada pelo ranking que está apresentado na Tabela 4.5.

Como pôde ser observado, a ponderação proporcionou uma melhor avaliação da situação que apareceu mais vezes nas primeiras colocações porque a ponderação busca uma forma de avaliar, ao longo de todas as situações, aquela que mais se aproximou da frequência observada. Assim, o método de estimativa dos parâmetros para a distribuição  $S_b$  selecionado, no caso estudado, foi o método dos momentos, com o parâmetro  $\varepsilon$  (locação) sendo considerado como 35% do diâmetro mínimo da parcela. Essa situação apresentou nota 2.862, sendo a menor entre as 25 testadas. Scolforo et al. (2003) encontraram 25% do diâmetro mínimo para o valor de  $\varepsilon$  estudando a distribuição em *Pinus taeda*.

**TABELA 4.5** Número de vezes que a frequência teórica foi semelhante à frequência observada, com a ponderação proposta e o resultado do ranking.

$S_{iM01}$	$S_{iM01}$	$S_{iM02}$	$S_{iM03}$	$S_{iM04}$	$S_{iM05}$	$S_{iM05}$	$S_{iM05}$	$S_{iM05}$	$S_{iM05}$	$S_{iM05}$	$S_{iM05}$	$S_{iM05}$	$S_{iM05}$	$S_{iM05}$	$S_{iM05}$	$S_{iM05}$	$S_{iM05}$	$S_{iM05}$	$S_{iM05}$	$S_{iM05}$	$S_{iM05}$	$S_{iM05}$	$S_{iM05}$	$S_{iM05}$
19	34	4	2	5	24	15	11	10	6	5	1	6	21	20	21	18	15	9	4	10	7	11	25	20
48	54	14	4	16	26	38	46	16	16	10	6	22	36	22	30	26	18	20	14	20	18	48	48	30
57	45	3	0	27	45	69	39	21	27	15	30	57	69	27	57	72	48	18	42	15	42	63	54	27
28	48	8	12	24	40	120	84	52	36	40	44	80	44	20	44	76	40	88	36	24	80	124	60	40
55	20	25	20	10	40	130	120	55	95	45	130	125	45	5	10	125	85	90	65	50	115	85	40	30
66	42	24	24	6	30	60	150	96	96	90	150	96	42	30	30	66	126	180	54	126	156	102	66	30
70	56	42	0	14	42	21	147	189	168	189	182	77	14	14	7	84	182	140	112	140	224	77	35	35
40	32	48	24	48	24	8	88	208	240	272	192	128	32	0	64	48	144	208	184	200	168	80	72	32
63	54	18	45	36	36	36	45	270	333	378	198	36	45	9	18	45	90	270	261	306	117	45	108	45
40	40	10	40	30	10	40	110	250	430	260	130	110	30	0	30	50	110	280	510	400	100	140	50	30
0	88	44	44	33	55	99	143	165	528	264	231	66	110	22	44	55	143	209	616	231	121	132	88	22
36	36	24	84	72	36	120	216	276	288	300	120	216	96	72	12	108	60	264	420	588	180	192	48	12
52	52	52	13	52	78	130	221	351	286	637	182	104	104	52	52	91	195	338	169	403	260	156	78	91
98	56	112	42	70	42	210	308	350	196	280	210	112	168	42	84	98	182	322	126	294	644	196	224	56
180	135	60	75	90	105	315	345	285	90	195	615	120	75	105	105	225	375	135	165	30	465	255	180	120
224	192	176	112	176	192	224	240	160	32	32	368	384	176	128	160	272	512	128	144	144	240	528	160	64
153	187	136	204	255	187	289	204	136	17	68	306	578	238	85	289	391	476	68	119	51	85	476	374	119
288	342	198	162	252	342	396	180	144	36	18	198	396	378	126	180	396	162	54	18	36	18	450	648	396
494	380	323	323	285	304	304	38	133	0	0	95	513	646	247	247	418	152	0	38	0	19	0	589	589
520	480	340	260	360	620	320	140	40	0	0	20	340	860	340	400	140	120	20	0	20	40	440	640	
588	420	714	441	483	756	168	0	21	0	0	0	63	567	840	693	294	63	21	0	21	0	105	525	
286	484	748	594	792	638	66	0	0	0	0	0	0	286	1276	770	220	0	0	0	0	0	88	858	
299	437	1219	1196	1196	460	92	23	0	0	0	0	0	23	1081	529	230	23	0	0	0	0	0	621	
384	336	1608	2496	936	216	48	0	0	0	0	0	0	0	720	504	192	24	0	0	0	0	0	288	
4088	4050	5950	6217	5268	4348	3318	2898	3228	2920	3098	3408	3629	4105	5283	4380	3740	3345	2862	3097	3089	3079	3200	3580	4720

#### 5.4 Prognose da produção

A equação de relação hipsométrica foi apresentada na Tabela 4.3 com um bom ajuste e a função de afilamento selecionada foi a do polinômio do quinto grau, no Capítulo 3.

Todos os atributos foram modelados e os parâmetros de locação ( $\epsilon$ ), escala ( $\lambda$ ), assimetria ( $\gamma$ ) e curtose ( $\delta$ ), foram recuperados.

A função de distribuição acumulada é o resultado de uma integral que para a Distribuição  $S_b$ , ainda não foi resolvida. Assim, foi feita uma adaptação, estreitando ao máximo o intervalo de classe de diâmetro para 1 cm.

Dessa forma foi possível obter a probabilidade de ocorrerem árvores nas classes de diâmetro. A função de sobrevivência multiplicada por essa probabilidade resultou no número de árvores por classe de diâmetro na idade de prognose.

Com a relação hipsométrica aplicada a cada centro de classe, foi possível determinar a altura de cada centro de classe. Assim, com as dimensões conhecidas e conhecendo-se as dimensões dos produtos de interesse, aplicou-se a função de afilamento e foi possível obterem-se os volumes de cada produto em cada classe diamétrica.

Os valores dos volumes estimados pela prognose realizada para o sistema agroflorestal estudado, para os índices de sítio 17,5m, 21,5m e 25,5m são apresentados nas Tabelas 4.6, 4.7 e 4.8, respectivamente. Nestas tabelas pode-se também observar o comportamento do incremento médio anual para cada sítio. A prognose foi realizada a partir de três anos e nove meses de idade para as idades de 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11 e 12 anos.

**TABELA 4.6** Volume de madeira prognosticado para 8 idades e respectivos valores de incremento médio anual (IMA) para o índice de sítio 17,5m.

Idade prognosticada (anos)	Volume (m <sup>3</sup> /ha)	IMA (m <sup>3</sup> /ha.ano)
5	70,50	14,10
6	91,20	15,20
7	108,80	15,54
8	123,70	15,46
9	136,80	15,20
10	148,00	14,80
11	157,70	14,33
12	166,30	13,86

**TABELA 4.7** Volume de madeira prognosticado para 8 idades e respectivos valores de incremento médio anual (IMA) para o índice de sítio 21,5m.

Idade prognosticada (anos)	Volume (m <sup>3</sup> /ha)	IMA (m <sup>3</sup> /ha.ano)
5	101,22	20,24
6	127,90	21,32
7	139,70	19,96
8	150,50	18,81
9	159,40	17,71
10	166,80	16,80
11	173,90	15,81
12	179,90	15,00

Os valores dos volumes estimados mostraram-se abaixo do esperado para as idades prognosticadas, embora o sistema agroflorestal apresente uma densidade muito baixa de indivíduos (250 árvores/ha). Soma-se a isso, o alto índice de árvores quebradas pela ação do vento.

Os incrementos médios anuais apresentaram tendências coerentes em relação à produtividade dos sítios. No sítio menos produtivo (17,5m) o máximo incremento médio anual se deu aos 7 anos, de acordo com a prognose, enquanto para os sítios mais produtivos (21,5m e 25,5m), o máximo incremento ocorreu



aos 6 anos de idade. A diferença entre as idades de máximo IMA é esperada e define a rotação silvicultural da floresta.

**TABELA 4.8** Volume de madeira prognosticado para 8 idades e respectivos valores de incremento médio anual (IMA) para o índice de sítio 25,5m.

Idade prognosticada (anos)	Volume (m <sup>3</sup> /ha)	IMA (m <sup>3</sup> /ha.ano)
5	102,84	20,57
6	136,00	22,67
7	142,00	20,29
8	147,20	18,40
9	151,12	16,79
10	154,60	15,46
11	158,20	14,38
12	161,90	13,49

De forma geral, os valores mostraram que existe uma certa proporção entre os volumes nas diferentes idades, porém, a prognose subestimou os volumes em todas as classes de sítios.

## 6 CONCLUSÕES

Diante dos resultados alcançados, chegou-se às seguintes conclusões:

- as equações dos atributos do povoamento apresentaram bons ajustes e proporcionaram a recuperação dos valores necessários para a recuperação dos parâmetros para a distribuição  $S_b$ ;
- o melhor método de ajuste dos parâmetros para a distribuição  $S_b$  foi o método dos momentos com o parâmetro  $\epsilon$  (locação) sendo considerado como 35% do diâmetro mínimo da parcela;

- a prognose da produção para o clone de eucalipto submetido aos sistemas agroflorestais apresentou valores coerentes de volume nas diferentes idades dado o alto índice de quebras e a baixa densidade de plantio;
- o incremento médio anual de acordo com a prognose teve seu valor máximo em diferentes idades definindo diferentes rotações silviculturais.

## 7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU, E.C.R. **Modelagem da prognose precoce do volume por classe diamétrica para *Eucalyptus grandis***. Lavras: UFLA. 2000. 70p. (Dissertação – Mestrado em Engenharia Florestal).

ANTUNES, F.Z. Caracterização climática dos Estado de Minas Gerais: Climatologia agrícola. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v.12, n.138, p. 9-13, jun. 1986.

HAFLEY, W.L.; BUFORD, M.A. A bivariate model for growth and yield prediction. **Forest Science** **31**. 1985. p. 237-247.

JOHNSON, N.L. Systems of frequency curves generated by methods of translation. **Biometrika**, Grean Britain, v.36, p.149-176. 1949.

JOHNSON, N.L.; KITCHEN, J.O. Some notes on tables to facilitate fitting SB curves. **Biometrika**, Grean Britain, v.58, n.1, p.223-226, jan. 1971.

KNOEBEL, R.B.; BURLHART, H.E. A bivariate distribution approach to modeling forest diameter distributions at two points in time. **Biometrics** **36**. 1991. 241-253.

SCHOEPFER, W. **Automatisierung des Massen, Sorten und Wertberechnung stenender Waldbestande Schriftenreihe Bad.** [S. l.]: Wurttt-Forstl., 1966.

SCOLFORO, J.R.S. **Biometria Florestal Técnicas de Regressão Aplicada para Estimar: volume, biomassa, relação hipsométrica e múltiplos produtos da madeira.** Lavras: UFLA/FAEPE, 1997. 292p.

SCOLFORO, J.R.S. **Modelagem do crescimento e da produção florestal para florestas plantadas e nativas.** Lavras: UFLA/FAEPE, 1998. 453p.

SCOLFORO, J.R.S.; TABAI, F.C.V.; MADECDO, R.L.G.; ACERBI JR., F.W.; ASSIS, A.L.  $S_b$  distribution's accuracy to represent the diameter distribution of *Pinus taeda*, through five fitting methods. **Forest Ecology and Management** **173**. Madison, 2003. p.489-496.

THIERSCH, A. **Eficiência das distribuições diamétricas para a prognose de produção de *Eucalyptus camaldulensis*.** Lavras: UFLA, 1997. 155p. (Dissertação – Mestrado em Engenharia Florestal).

ZHOU, B.; McTAGUE, J.P. Comparison and evaluation of five methods of estimation of the Johnson system parameters. **Journal of Forest Res.** **26**, 1986. p. 928-935.

## **CAPÍTULO 5**

### **ANÁLISE ECONÔMICA DE UM SISTEMA AGROFLORESTAL COM EUCALIPTO**

## 1 RESUMO

SOUZA, Álvaro Nogueira. **Análise econômica de um sistema agroflorestal com eucalipto**. 2005. Cap. 5, p. 176-203. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

O objetivo geral deste estudo foi analisar a viabilidade econômica de um sistema agroflorestal com eucalipto implantado em região de cerrado. Os objetivos específicos foram: determinar a rotação econômica dos plantios de eucalipto considerando as situações de venda de madeira colhida para serraria e para carvão e venda de madeira serrada e de carvão; realizar análise econômica da agregação de valor aos produtos florestais; analisar diversos cenários para testar o efeito que mudanças nos parâmetros especificados a seguir provocam na viabilidade econômica do SAF: produtividades da madeira, do arroz e da soja; preços da madeira, do carvão, do boi gordo, do arroz e da soja; percentual de madeira utilizada para serraria e para carvão e taxa de juros. A rotação econômica dos plantios de eucalipto foi determinada levando-se em conta duas situações: a) venda de madeira colhida para serraria e para carvão; b) venda de madeira serrada e de carvão para siderurgia. A estimativa do volume de madeira foi feita usando-se um modelo de prognose da produção. Para a análise econômica, foram utilizados os métodos do valor presente líquido (VPL) e do benefício periódico equivalente. Determinada a rotação, realizaram-se diversos cenários para se detectar a sensibilidade do sistema às variações na taxa de desconto, preços (madeira, carne bovina, arroz e soja), produtividade (eucalipto, arroz e soja) e percentual de madeira utilizada para serraria e para carvão. A análise de sensibilidade, com relação às taxas de desconto, consistiu na aplicação de taxas de 6%, 8%, 10%, 12% e 14% ao ano, no cálculo do VPL. A rotação econômica foi entre 6 e 9 anos. Houve um ganho significativo quando se agregou valor ao produto, utilizando-se a maior parte da madeira do sistema para a serraria. O sistema como um todo é viável, do ponto de vista econômico, para taxas de juros menores que 11,5%a.a. Quando utilizou-se toda a madeira para serraria, obtiveram-se os maiores lucros.

Palavras-chave: carvão, serraria, madeira serrada, eucalipto, sistema agroflorestal, clone, multiprodutos, rotação, análise econômica.

---

Comitê de orientação: Antônio Donizette de Oliveira – UFLA (Orientador); José Roberto Soares Scolforo – UFLA (Co-orientador); Natalino Calegário – UFLA (Co-orientador).

## 2 ABSTRACT

SOUZA, Álvaro Nogueira. **Economic analysis of an agroforest system with eucalypt**. 2005. Chapter 5, p. 176-203. Thesis (Doctorate in Forest Engineering) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

The general aim of this study was to assess the economic viability of an agroforest system with eucalypt at the Cerrado region. The specific objectives were: To determine the economic rotation of the eucalypt stands considering the following situations: selling of the wood for sawmill and for charcoal production; selling of sawed wood and charcoal; to perform economic analysis of the value aggregation to the forest products; to analyse several scenarios for testing the effect of changes in the following parameters on the economic viability of the agroforest system: productivities of the wood, rice and soybean; prices of the wood, charcoal, cattle, rice and soybean; percentage of wood used for sawmill and charcoal, and discount rate. The economic rotation of the eucalypt stands was determined considering two situations: a) selling of the wood for sawmill and for charcoal production; b) selling of sawed wood and charcoal for siderurgy. The estimative of the wood volume was done using a model of prognosis of the production. For the economic analysis, the methods of the Net Present Value and the Annual Equivalent Benefit were used. After determining the rotation, several scenarios were set up in order to detect the sensibility of the system to the variations in the discount rate, prices (wood, beef, rice and soybean), productivity (eucalypt, rice and soybean) and percentage of wood used for sawmill and charcoal. The analysis of sensibility, regarding the discount rate, consisted of the application of yearly taxes of 6, 8, 10, 12 and 14%, in the calculation of the VPL. The economic rotation was between 6 and 9 years. There was a significant gain when value was aggregated to the product, using the wood from the system mostly for the sawmill. The system as a whole is economically viable for discount rate smaller than 11.5% per year. When all wood was used for sawmill, the highest profits were obtained.

Key-words: Charcoal, sawmill, sawed wood, eucalypt, agroforest system, clone, multiproducts, rotation, economic analysis.

---

Guidance committee: Antônio Donizette de Oliveira – UFLA (Supervisor); José Roberto Soares Scolforo – UFLA (Co-supervisor); Natalino Calegário – UFLA (Co-supervisor).

### 3 INTRODUÇÃO

Uma forma de diversificar a produção utilizando-se de várias atividades e culturas na propriedade e que vem ganhando força é a prática dos sistemas agroflorestais em suas modalidades: sistema agroflorestal, sistema silvopastoril e o mais completo deles, o Sistema agrossilvopastoril que pode envolver, além de várias culturas agrícolas, várias essências florestais e juntar atividades agrícola, florestal e pecuária num só sistema, com vistas à maximização do lucro.

A diversificação da produção nas empresas agrícolas é uma estratégia de proteção entre as várias atividades praticadas. O sucesso de uma determinada cultura ou atividade pode ser de grande ajuda para o caso do insucesso de outras culturas ou atividades. Vários trabalhos têm estudado os sistemas agroflorestais como Daniel et al. (2000) e (Dube et al., 2002), Franco (2000), Macdicken & Vergara (1990).

Quando se trata desse tipo de sistema, o produto final que vai completar o ciclo é a madeira da essência florestal que, seguindo os conceitos atuais de múltiplos usos, deverá ser destinada a tantos mercados quanto for conveniente sob o ponto de vista econômico, agregando-se valor à árvore de modo que a cada parte de seu fuste se destine o produto de maior valor.

Como se trata de um sistema com imobilização de recursos por um longo prazo, é necessário que todo o planejamento, que envolve desde o preparo do solo para as primeiras culturas até a negociação do produto, a madeira, seja conduzido para que haja disponibilidade de produtos variados, chamados sortimentos, e com o prévio conhecimento dos volumes de produtos de acordo com as especificações do mercado.

Assim, o emprego de técnicas, como as funções de afilamento, a prognose da produção florestal e a modelagem da produtividade da serraria, se tornam uma ferramenta indispensável para o sucesso do sistema.

O objetivo geral deste estudo foi analisar a viabilidade econômica de um sistema agroflorestal com eucalipto implantado em região de cerrado. Os objetivos específicos foram:

- determinar a rotação econômica dos plantios de eucalipto considerando as seguintes situações: venda de madeira colhida para serraria e para carvão; venda de madeira serrada e de carvão;
- realizar análise econômica da agregação de valor aos produtos florestais, a medida em que se aumenta seu grau de industrialização;
- analisar diversos cenários para testar o efeito que mudanças nos parâmetros especificados a seguir provocam na viabilidade econômica do SAF: produtividades da madeira, do arroz e da soja, preços da madeira, do carvão, do boi gordo, do arroz e da soja, percentual de madeira utilizada para serraria e para carvão, e, taxa de juros.

## **4 MATERIAL E MÉTODOS**

### **4.1 Localização e caracterização da área de estudo**

A área de estudo pertence a Companhia Mineira de Metais (CMM) Grupo Votorantin localizada no município de Vazante na região Noroeste do estado de Minas Gerais. A latitude é 17°36'09'' e a longitude é 46°42'02'' oeste de Greenwich. A altitude é de 550m. O clima é do tipo Aw, tropical úmido de savana, com inverno seco e verão chuvoso, segundo a classificação de Köppen



(Antunes, 1986). A temperatura média anual é de 24°C e a precipitação média anual é de 1450mm.

As unidades de estudo foram compostas por talhões de um clone de híbridos naturais de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus camaldulensis*, plantado em consórcio com arroz, soja e pastagem no espaçamento 10 x 4 metros, objetivando produzir madeira para serraria e para energia.

#### **4.2 Descrição do Sistema Agroflorestal**

O início do projeto se deu em dezembro de 1993, com o plantio de arroz e eucalipto (Tabela 5.1). As mudas utilizadas foram de clones e produzidas no viveiro florestal da CMM. O preparo da área envolveu uma aração profunda e duas gradagens niveladoras, além de aplicação de calcário zinal MMA 85% de PRNT, à razão de 2,5t/ha. As linhas de plantio do eucalipto foram orientadas no sentido leste-oeste, a fim de se permitir maior insolação às culturas consorciadas. As entrelinhas de eucalipto foram consorciadas com arroz (*Orizya sativa*, cultivar Guarany) plantado no espaçamento 0,45m.

A cultura que entrou no sistema no seu primeiro ano foi a soja (*Glycine max* (L.) Merrill, cultivar Conquista) cultivada no espaçamento de 0,45 metros. Nessa fase o eucalipto se encontrava com um ano de plantio.

A formação da pastagem iniciou-se aos 2 anos do eucalipto, com o plantio de *Brachiaria brizantha*. No terceiro ano do eucalipto foi realizada uma adubação nitrogenada de cobertura na pastagem. A partir daí foram adquiridos novilhos que utilizaram a pastagem para engorda e a sombra do eucalipto para proteção e repouso.

O povoamento florestal passou por três intervenções de tratamentos silviculturais. Com um ano e meio de idade a primeira intervenção foi realizada utilizando-se foice e serrote para desrama artificial até a altura de 2 metros. Aos

dois anos e meio o povoamento passou por novos tratamentos silviculturais, desta vez com uso do serrote, as árvores foram podadas até a altura de 4 metros. Com três anos e meio de idade o povoamento passou por mais uma intervenção, quando a poda atingiu 6 metros de altura, ficando esta parte de madeira livre de nós.

**TABELA 5.1** Descrição do SAF da CMM.

<b>Ano</b>	<b>Descrição das atividades</b>
0	Plantio de eucalipto e arroz
1	Plantio de soja
2	Plantio de capim
3	Início do período de utilização das pastagens para engorda de bois

#### **4.3 Estrutura de custos**

Os custos das diversas atividades relacionadas ao sistema agroflorestal estão na Tabela 5.2. Para o eucalipto foram considerados os custos de implantação, manutenções anuais, colheita, transporte e carbonização da madeira, transporte do carvão. No caso da soja e do arroz, o custo de cultivo agregou todos os gastos desde o plantio até a colheita, já que estas atividades têm ciclo de produção que ocorre num período menor que um ano. Para a pecuária de corte, os custos das diversas atividades foram especificados de acordo com a época de ocorrência, uma vez que se encontram dispersos ao longo dos anos. É colocado 1,5 animal por hectare e os novilhos para engorda são adquiridos com 8,25 arrobas. Considerou-se que cada animal ganha 5,5 arrobas de peso por ano, o que resulta em um ganho de peso equivalente a 8,25 arrobas/ha.ano. O custo da terra foi considerado como sendo os juros sobre o seu valor.

**TABELA 5.2** Custos das diversas atividades do sistema agroflorestal.

Discriminação do custo	Ano	Valor <sup>1</sup>
Implantação (R\$/ha)	0	1.956,78
Cultivo de arroz (R\$/ha)	0	690,40
Manutenção do eucalipto (R\$/ha)	1	299,24
Cultivo de soja (R\$/ha)	1	856,91
Manutenção do eucalipto (R\$/ha)	2	263,81
Formação de pastagem (R\$/ha)	2	323,42
Manutenção do eucalipto (R\$/ha)	3	237,08
Infra-estrutura da pecuária (R\$/ha)	3	171,31
Manutenção do eucalipto (R\$/ha)	4 a n-1	144,17
Manutenção do eucalipto (R\$/ha)	n <sup>3</sup>	188,31
Insumos da pecuária (R\$/ha)	3 a n	64,03
Mão-de-obra da pecuária (R\$/ha)	3 a n	17,69
Depreciação de bens relacionados à pecuária (R\$/ha) <sup>1</sup>	3 a n	2,49
Aquisição de novilhos para engorda (R\$/ha)	3 a n	519,75
Administração (R\$/ha)	1 a n	99,24
Terra (R\$/ha)	1 a n	90,00
Colheita (R\$/m <sup>3</sup> )	n	11,54
Transporte da madeira até a carvoaria ou serraria(R\$/m <sup>3</sup> )	n	10,25
Carbonização (R\$/MDC) <sup>4</sup>	n	7,42
Transporte do carvão até a siderúrgica (R\$/MDC) <sup>2</sup>	n	15,00

<sup>1</sup>Os bens relacionados a pecuária são: moradia para vaqueiros, depósito, curral, cerca elétrica, aguadas e saieiras de alvenaria, arreios e outros acessórios para montaria, animais de serviço (cavalos). O valor da depreciação dos bens relacionados as demais atividades já se encontra acrescido ao seu custo.

<sup>2</sup> A distância da CMM ao mercado siderúrgico é de cerca de 450 km.

<sup>3</sup> n é a idade de corte do eucalipto, a ser definida com base em critérios econômicos.

<sup>4</sup>Taxa de conversão st de madeira/MDC de carvão = 2,2 .

Taxa de conversão: m<sup>3</sup> de madeira/MDC de carvão = 1,47.

Fator de empilhamento: 1,5.

\* Paridade: US\$1.00 = R\$3,102.

Os custos da serraria por metro cúbico de madeira serrada encontram-se na Tabela 5.3. Não foram incluídos os custos devido ao pagamento de taxas e impostos (ICMS), ou seja, o custo/m<sup>3</sup> de madeira serrada se refere apenas aos gastos para serrar a madeira e estocá-la no pátio da indústria.

**TABELA 5.3 Custos da serraria.**

Discriminação	R\$/m <sup>3</sup> de madeira serrada
Mão-de-obra (salário+encargos)	51,01
Materiais e peças	2,86
Energia elétrica	7,92
Depreciação da Infra-estrutura	5,86
Total	67,65

### 4.3. Estrutura de receitas

Os preços, as quantidades produzidas e receitas obtidas pela venda dos produtos agrícolas e de boi gordo encontram-se na Tabela 5.4. No caso dos produtos florestais, são apresentados apenas os preços, já que as quantidades produzidas e as receitas variam de acordo com a idade de corte a ser determinada pelas análises econômicas.

**TABELA 5.4 Preços, quantidades e receitas dos produtos do SAF.**

Discriminação	Ano	Unidade	Preço (R\$/un)	Quantidade/ha	Receita (R\$/ha)
Arroz	0	Saca	26,00	20,16	524,16
Soja	1	Saca	29,00	21,60	626,40
Boi gordo	3 a n	@	57,00	16,50	940,50
Material lenhoso proveniente da limpeza de área	0	St	12,00	41,25	495,00
Madeira colhida para energia <sup>1</sup>	n	m <sup>3</sup>	42,00	-	-
Madeira colhida para serraria <sup>1</sup>	n	m <sup>3</sup>	102,00	-	-
Carvão para siderurgia entregue na siderúrgica <sup>2</sup>	n	MDC	100,00	-	-
Produto 1	n	m <sup>3</sup>	400,00 <sup>3</sup>	-	-
Produto 2	n	m <sup>3</sup>	420,00 <sup>4</sup>	-	-

<sup>1</sup>Entregue no local de corte.

<sup>2</sup>A distância da CMM ao mercado siderúrgico é de cerca de 450 km.

<sup>3</sup>O preço de venda é para o produto com dimensões especificadas, entregue no pátio da serraria. C = comprimento; L = largura; E = espessura.

<sup>4</sup>O rendimento do desdobra de toras na serraria foi determinado no capítulo 2 e foi de 38,57% para o produto 1 e de 37,05% para o produto 2 .

<sup>5</sup>As quantidades dos produtos florestais não foram colocadas na tabela, pois variam com a idade de corte e com o sítio em que foram produzidos.

<sup>6</sup>Tábuas: C = 2,80m; L = 10cm; E = 20mm.

<sup>7</sup>Tábuas: C = 2,80m; L = 14cm; E = 37mm.

#### 4.5 Determinação da rotação econômica para o eucalipto

A rotação econômica dos plantios de eucalipto foi determinada levando-se em conta duas situações: a) venda de madeira colhida para serraria e para carvão e b) venda de madeira serrada e de carvão para siderurgia.

A estimativa do volume de madeira em tora para serraria e para carvão, por hectare, a ser obtido em cada idade, para os sítios 17,5, 21,1 e 25,5 é apresentada nas Tabelas 5.5, 5.6 e 5.7. Considerou-se o aproveitamento de 50% do volume para energia e 50% para serraria. Os valores foram obtidos usando o modelo de prognose ajustado no capítulo 4. As tabelas mostram também o volume de madeira serrada e de carvão a serem obtidos por hectare, em cada idade.

**TABELA 5.5** Volume de madeira em tora para carvão e para serraria, volume de madeira serrada (produtos 1 e 2) e de carvão, para diversas idades de corte da floresta, no sítio 17,5m.

Idade de corte (anos)	Vol. de madeira em tora (m <sup>3</sup> /ha)		Vol. de madeira serrada (m <sup>3</sup> /ha)		Vol. de carvão (MDC/ha) <sup>3</sup>
	Para carvão	Para serraria	Produto 1 <sup>1</sup>	Produto 2	
5	35,25	35,25	13,59	13,06	24,03
6	45,60	45,60	17,58	16,89	31,09
7	54,40	54,40	20,98	20,15	37,09
8	61,85	61,85	23,85	22,91	42,17
9	68,40	68,40	26,38	25,34	46,63
10	74,00	74,00	28,54	27,41	50,45
11	78,85	78,85	30,41	29,21	53,76
12	83,15	83,15	32,07	30,80	56,69

<sup>1</sup>Os rendimentos para os produtos 1 e 2 são de 38,57% e 37,05%, respectivamente.

<sup>2</sup> O rendimento da carbonização é de 2,2st de madeira/MDC ou 1,467m<sup>3</sup> de madeira/MDC.

<sup>3</sup> Este é o volume de carvão produzido com a madeira destinada a esta finalidade.

**TABELA 5.6** Volume de madeira em tora para carvão e para serraria, volume de madeira serrada (produtos 1 e 2) e de carvão, para diversas idades de corte da floresta, no sítio 21,5m.

Idade de corte (anos)	Vol. de madeira em tora (m <sup>3</sup> /ha)		Vol. de madeira serrada (m <sup>3</sup> /ha)		Vol. de carvão (MDC/ha) <sup>3</sup>
	Para carvão	Para serraria	Produto 1 <sup>1</sup>	Produto 2	
5	50,61	50,61	19,52	18,75	34,50
6	63,95	63,95	24,66	23,69	43,59
7	69,85	69,85	26,94	25,87	47,62
8	75,25	75,25	29,02	27,88	51,30
9	79,70	79,70	30,74	29,52	54,33
10	83,40	83,40	32,16	30,89	56,85
11	86,95	86,95	33,53	32,21	59,27
12	89,95	89,95	34,69	33,32	61,32

<sup>1</sup>Os rendimentos para os produtos 1 e 2 são de 38,57% e 37,05%, respectivamente.

<sup>2</sup> O rendimento da carbonização é de 2,2 st de madeira/MDC ou 1,467 m<sup>3</sup> de madeira/MDC.

<sup>3</sup> Este é o volume de carvão produzido com a madeira destinada a esta finalidade.

**TABELA 5.7** Volume de madeira em tora para carvão e para serraria, volume de madeira serrada (produtos 1 e 2) e de carvão, para diversas idades de corte da floresta, no sítio 25,5m

Idade de corte (anos)	Vol. de madeira em tora (m <sup>3</sup> /ha)		Vol. de madeira serrada (m <sup>3</sup> /há)		Vol. de carvão (MDC/ha) <sup>3</sup>
	Para carvão	Para serraria	Produto 1 <sup>1</sup>	Produto 2	
5	51,42	51,42	19,83	19,04	35,05
6	68,00	68,00	26,22	25,19	46,35
7	71,00	71,00	27,38	26,30	48,40
8	73,60	73,60	28,38	27,26	50,17
9	75,56	75,56	29,14	27,99	51,51
10	77,30	77,30	29,81	28,63	52,69
11	79,10	79,10	30,50	29,30	53,92
12	80,95	80,95	31,22	29,99	55,18

<sup>1</sup>Os rendimentos para os produtos 1 e 2 são de 38,57% e 37,05%, respectivamente.

<sup>2</sup> O rendimento da carbonização é de 2,2 st de madeira/MDC ou 1,467 m<sup>3</sup> de madeira/MDC.

<sup>3</sup> Este é o volume de carvão produzido com a madeira destinada a esta finalidade.

Para a análise econômica foram utilizados os métodos do valor presente líquido (VPL) e do benefício periódico equivalente (BPE) ou valor anual equivalente (VAL), considerando uma taxa de juros alternativa de mercado de

10% a.a. Segundo Rezende & Oliveira (2001) o VPL e o BPE podem ser calculados pelas seguintes fórmulas:

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

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

em que:

$R_j$  = receitas no final do ano;

$C_j$  = custos no final do ano;

$n$  = idade de corte do eucalipto;

$i$  = taxa de juros alternativa de mercado;

$t$  = número de períodos de capitalização;

#### 4.6 Análise de sensibilidade

Após determinar a rotação econômica para cada situação analisada no item anterior, realizou-se uma análise de diversos cenários teóricos para detectar a sensibilidade do VPL e do BPE às variações na taxa de desconto, preços (madeira, carne bovina, arroz e soja), produtividade (eucalipto, arroz e soja) e percentual de madeira utilizada para serraria e para carvão.

A análise de sensibilidade, com relação às taxas de desconto, consistiu na aplicação de taxas de 6%, 8%, 10%, 12% e 14% ao ano, no cálculo do VPL. Essas taxas foram consideradas por abrangerem os valores mais usados nos projetos florestais. Tais análises também foram feitas por Oliveira et al. (2000).

## **5 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **5.1 Determinação da rotação econômica**

O fluxo de caixa para o SAF implantado no sítio 17,5m, considerando a venda de madeira colhida com o corte da floresta aos 10 anos de idade encontram-se na Tabela 5.8. Considerados isoladamente, os cultivos de arroz e de soja são inviáveis economicamente, já que os custos destas atividades superam as receitas advindas da venda dos produtos. Entretanto, deve-se considerar o sistema agroflorestal como um todo e, assim, os benefícios proporcionados pelas atividades anuais, como adubações e tratos culturais que, indiretamente favorecem o crescimento do eucalipto. Nos 3 primeiros anos o saldo anual é negativo, ou seja, os custos são maiores que as receitas. No quarto ano ocorre o primeiro saldo positivo e, a partir daí, há saldo positivo até o décimo ano quando ocorre a venda de madeira para serraria e energia. Fluxos de caixa semelhantes a estes foram construídos para idades variando de 5 a 12 anos e os valores de VPL e BPE calculados para estas situações se encontram nas Tabelas 5.9, 5.10 e 5.11, para os três sítios em estudo.



**TABELA 5.8** Fluxo de caixa para o SAF, considerando a venda de madeira colhida para serraria e para carvão, para o sítio 17,5m.

Ano	Receitas		Custos		Saldo (R\$/ha)
	Fonte de receita	R\$/ha	Tipo de custo	R\$/ha	
0	Material lenhoso da limpeza da área	495,00	Implantação de eucalipto	1.956,78	
	Venda de arroz	524,16	Cultivo de arroz	690,40	
	<b>Sub-total</b>	<b>1.019,16</b>		<b>2.647,18</b>	
1	Venda de soja	626,40	Manutenção do eucalipto	299,24	
			Cultivo de soja	856,91	
			Despesas administrativas	99,24	
			Terra	90,00	
<b>Sub-total</b>	<b>626,40</b>	<b>1.345,39</b>	<b>-718,99</b>		
2			Manutenção do eucalipto	263,81	
			Despesas administrativas	99,24	
			Formação de pastagem	323,42	
			Terra	90,00	
<b>Sub-total</b>	<b>0,00</b>	<b>676,47</b>	<b>-776,47</b>		
3	Venda de boi	940,50	Manutenção do eucalipto	237,08	
			Despesas administrativas	99,24	
			Infra-estrutura da pecuária	171,31	
			Insumos da pecuária	64,03	
			Mão-de-obra da pecuária	17,69	
			Depreciação	2,49	
			Aquisição de novilhos	519,75	
			Terra	90,00	
<b>Sub-total</b>	<b>940,50</b>	<b>1.201,59</b>	<b>-261,09</b>		
4	Venda de boi	940,50	Manutenção do eucalipto	144,17	
			Despesas administrativas	99,24	
			Insumos da pecuária	64,03	
			Mão-de-obra da pecuária	17,69	
			Depreciação	2,49	
			Aquisição de novilhos	519,75	
			<b>Sub-total</b>	<b>940,50</b>	

Continuação....

Ano	Receitas		Custos		Saldo (R\$/ha)
	Fonte de receita	R\$/ha	Tipo de custo	R\$/ha	
5	Venda de boi	940,50	Manutenção do eucalipto	144,17	
			Despesas administrativas	99,24	
			Insumos da pecuária	64,03	
			Mão-de-obra da pecuária	17,69	
			Depreciação	2,49	
			Aquisição de novilhos	519,75	
			Terra	90,00	
	<b>Sub-total</b>	<b>940,50</b>		<b>937,37</b>	<b>3,13</b>
6	Venda de boi	940,50	Manutenção do eucalipto	144,17	
			Despesas administrativas	99,24	
			Insumos da pecuária	64,03	
			Mão-de-obra da pecuária	17,69	
			Depreciação	2,49	
			Aquisição de novilhos	519,75	
			Terra	90,00	
	<b>Sub-total</b>	<b>940,50</b>		<b>937,37</b>	<b>3,13</b>
7	Venda de boi	940,50	Manutenção do eucalipto	144,17	
			Despesas administrativas	99,24	
			Insumos da pecuária	64,03	
			Mão-de-obra da pecuária	17,69	
			Depreciação	2,49	
			Aquisição de novilhos	519,75	
			Terra	90,00	
	<b>Sub-total</b>	<b>940,50</b>		<b>937,37</b>	<b>3,13</b>
8	Venda de boi	940,50	Manutenção do eucalipto	144,17	
			Despesas administrativas	99,24	
			Insumos da pecuária	64,03	
			Mão-de-obra da pecuária	17,69	
			Depreciação	2,49	
			Aquisição de novilhos	519,75	
			Terra	90,00	
	<b>Sub-total</b>	<b>940,50</b>		<b>937,37</b>	<b>3,13</b>

Continuação...

Ano	Receitas		Custos		Saldo (R\$/ha)
	Fonte de receita	R\$/ha	Tipo de custo	R\$/ha	
9	Venda de boi	940,50	Manutenção do eucalipto	144,17	
			Despesas administrativas	99,24	
			Insumos da pecuária	64,03	
			Mão-de-obra da pecuária	17,69	
			Depreciação	2,49	
			Aquisição de novilhos	519,75	
			Terra	90,00	
		<b>Sub-total</b>	<b>940,50</b>		
10	Venda de boi	940,50	Manutenção do eucalipto	188,31	
	Venda de madeira colhida p/ serraria	7.548,00	Despesas administrativas	99,24	
	Venda de madeira colhida p/ carvão	3.108,00	Insumos da pecuária	64,03	
			Mão-de-obra da pecuária	17,69	
			Depreciação	2,49	
			Aquisição de novilhos	519,75	
			Terra	90,00	
			Colheita	1.707,92	
	<b>Sub-total</b>	<b>11.596,50</b>		<b>2.685,43</b>	<b>8.911,07</b>

Como se observou na Tabela 5.9, a venda da madeira, apenas na forma de tora, apresenta menores valores de VPL e BPE quando se compara às vendas da madeira serrada e da madeira para carvão.

No caso de um único corte da floresta seguido da substituição da atividade, o VPL apontou como idade ótima de corte para as três situações estudadas, a idade de 9 anos. Para o caso de continuidade da atividade, ou seja, novas implantações a cada corte da floresta, o BPE mostrou que a idade ótima de corte do povoamento florestal seria aos 8 anos.

A lucratividade da atividade por ha aumentou consideravelmente quando se abandonou a idéia de venda da madeira em tora, optando-se pela venda de madeira serrada e madeira para carvão. A diferença por ha no caso de se

trabalhar com o produto 1 para serraria (VPL = 860,57) e não com a venda da madeira em tora (VPL = R\$379,68) foi de R\$480,89.

**TABELA 5.9** VPL e BPE considerando a venda de madeira em tora, de madeira serrada e de carvão, para diversas idades de corte da floresta, no índice de sítio 17,5 m.

Idade (anos)	Venda de madeira em tora		Venda de madeira serrada (produto 1) e carvão		Venda de madeira serrada (produto 2) e carvão	
	VPL (R\$/ha)	BPE (R\$/ha)	VPL (R\$/ha)	BPE (R\$/ha)	VPL (R\$/ha)	BPE (R\$/ha)
5	-496,21	-130,90	-133,37	-35,18	-81,75	-21,57
6	-26,10	-5,99	400,60	91,98	461,30	105,92
7	240,86	49,47	703,64	144,53	769,47	158,05
8	357,77	67,06	836,09	156,72	904,13	169,47
9	379,68	65,93	860,57	149,43	928,98	161,31
10	324,78	52,86	797,75	129,83	865,03	140,78
11	219,35	33,77	677,50	104,31	742,67	114,34
12	83,63	12,27	522,84	76,73	585,32	85,90

Pelos dados da Tabela 5.10 observa-se o efeito do sítio na idade de corte da floresta. Com sítios mais produtivos e o máximo incremento em volume acontecendo mais cedo, era de se esperar que a idade de corte do ponto de vista econômico, seguisse a mesma tendência, fato observado pela antecipação em três anos da idade de corte da floresta que, para o sítio 17,5m foi aos 9 anos e, para o sítio 21,5m, foi aos 6 anos.

Um ponto importante a ser considerado sobre o sítio mais produtivo é a antecipação da maximização do lucro. Se num sítio mais pobre era preciso esperar 9 anos para a obtenção do lucro máximo, com um sítio mais produtivo, como é o caso dos sítios 21,5m e 25,5m, antecipou-se em três anos essa maximização. Tal fato é importante quando se considera a quantidade de recursos imobilizados durante a fase de maturação do projeto.

**TABELA 5.10** VPL e BPE considerando a venda de madeira em tora, de madeira serrada e de carvão, para diversas idades de corte da floresta, no índice de sítio 21,5 m.

Idade (anos)	Venda de madeira em tora		Venda de madeira serrada (produto 1) e carvão		Venda de madeira serrada (produto 2) e carvão	
	VPL (R\$/ha)	BPE (R\$/ha)	VPL (R\$/ha)	BPE (R\$/ha)	VPL (R\$/ha)	BPE (R\$/ha)
5	657,05	173,33	1.177,99	310,75	1.252,10	330,30
6	1.226,40	281,59	1.824,82	418,99	1.909,94	438,54
7	1.199,55	246,39	1.793,76	368,45	1.878,29	385,81
8	1.113,66	208,75	1.695,61	317,83	1.778,40	333,35
9	959,17	166,55	1.519,50	263,85	1.599,21	277,69
10	763,01	124,18	1.296,05	210,93	1.371,88	223,27
11	562,65	86,63	1.067,86	164,41	1.139,72	175,48
12	345,63	50,73	820,76	120,46	888,35	130,38

Na Tabela 5.11 observa-se mais fortemente o efeito do sítio mais produtivo na lucratividade. A idade de corte permaneceu aos 6 anos, porém, a diferença máxima entre os 3 usos possíveis para a madeira, ou seja, venda da madeira em tora (VPL = R\$1.502,83) contra venda da madeira para carvão e serraria para o produto 2 (VPL = R\$2.229,67) foi de R\$1.176,84/ha.

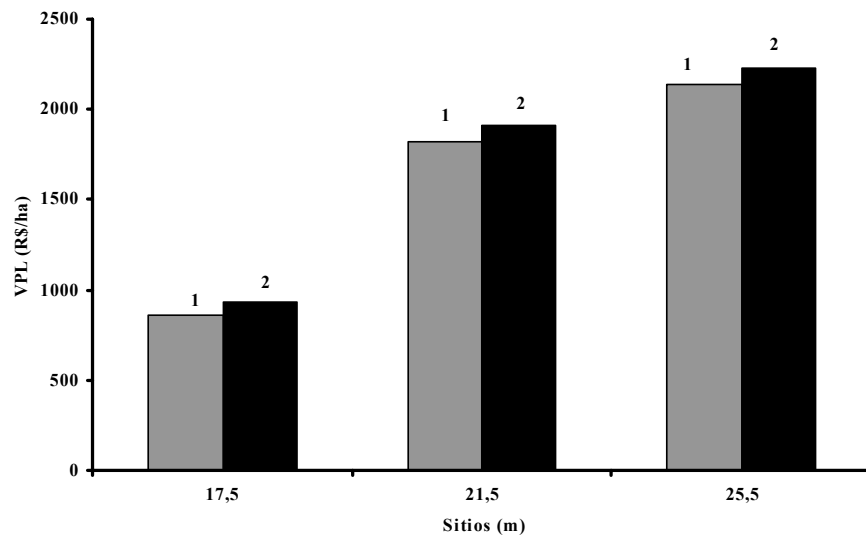
**TABELA 5.11** VPL e BPE considerando a venda de madeira em tora, de madeira serrada e de carvão, para diversas idades de corte da floresta, no índice de sítio 25,5 m.

Idade (anos)	Venda de madeira em tora		Venda de madeira serrada (produto 1) e carvão		Venda de madeira serrada (produto 2) e carvão	
	VPL (R\$/ha)	BPE (R\$/ha)	VPL (R\$/ha)	BPE (R\$/ha)	VPL (R\$/ha)	BPE (R\$/ha)
5	717,49	189,27	1.246,72	328,88	1.322,01	348,74
6	1.502,83	345,06	2.139,15	491,16	2.229,67	511,95
7	1.270,91	261,05	1.874,90	385,12	1.960,82	402,76
8	1.020,59	191,30	1.589,77	297,99	1.670,75	313,17
9	747,12	129,73	1.278,38	221,98	1.353,95	235,10
10	478,63	77,89	972,68	158,30	1.042,97	169,74
11	229,95	35,40	689,55	106,16	754,93	116,23
12	-1,13	-0,17	426,46	62,59	487,28	71,52

## 5.2 Viabilidade econômica do SAF

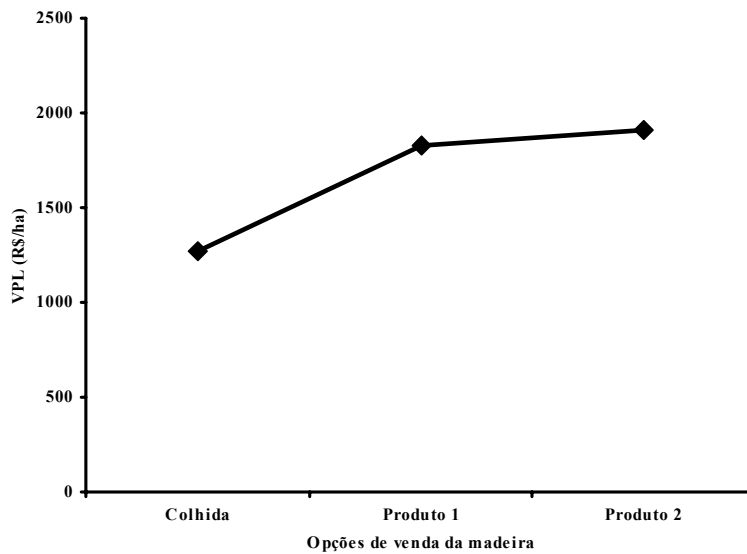
Uma vez determinada a idade ótima de corte em 9 anos para o sítio 17,5m e em 6 anos para os sítios 21,5m e 22,5m, as análises passaram a ser realizadas sempre com base nessas idades. A Figura 5.1 apresenta uma situação para a qual 50% do volume de madeira foram destinados para fins de energia e 50% para fins de desdobro em serraria (dados das Tabelas 5.9, 5.10 e 5.11).

Os valores dos VPLs mostraram que, independente do sítio, o melhor preço alcançado pelo produto 2 o torna mais atrativo que o produto 1. O efeito do sítio ficou evidenciado, mostrando o maior valor para os 2 produtos no sítio mais produtivo.



**FIGURA 5.1** VPL para as situações de venda de madeira, na idade ótima de corte, considerando o aproveitamento de 50% para serraria e 50% para energia, para os sítios em estudo.

O efeito da agregação de valor ao produto pode ser visualizado na Figura 5.2 (dados da Tabela 5.10), que apresenta o VPL para as três condições de venda da madeira: madeira colhida (aproveitamento para serraria e carvão); madeira serrada (produto 1) e carvão para siderurgia e madeira serrada (produto 2) e carvão para siderurgia. A tendência é que quanto mais trabalhado for o produto, maior valor será atingido por esse produto no mercado.



**FIGURA 5.2** Agregação de valor à madeira (sítio 21,5m).

Uma vez que foi mostrada a influência do sítio nas análises, deste ponto em diante do estudo, todas as condições trabalhadas são referentes ao sítio médio de 21,5m.

### 5.3 Análise de sensibilidade

#### 5.3.1 Variações na quantidade de madeira aproveitada para carvão e para serraria

Pela Tabela 5.12 constata-se que, para a venda da madeira em tora, o SAF não é uma alternativa viável economicamente, se toda a madeira for aproveitada para carvão. Nesta situação o VPL é de -R\$939,49. Como é de se esperar, à medida que a proporção de madeira colhida vendida para serraria aumenta, o VPL também aumenta em virtude da maior agregação de valor ao produto. Assim, quando for aproveitado 25% da madeira para serraria e 75% para carvão, o VPL atinge R\$143,35.

O mesmo efeito foi sentido quando se utilizou a madeira para os produtos 1 e 2.

**TABELA 5.12** VPL considerando variações nas percentagens de aproveitamento da madeira para serraria e para carvão – venda de madeira em tora.

Percentagem de madeira		VPL
Carvão	Serraria	(R\$/ha)
100%	0%	-939,49
75%	25%	143,35
50%	50%	1.226,40
25%	75%	2.309,34

Para o caso anterior, foi necessário que, no mínimo, 23% do volume da madeira tivessem sido destinados para serraria, para que o sistema começasse a dar lucro. Nesse caso, o VPL foi de R\$56,82.

Seguindo a mesma linha, os dados da Tabela 5.13 mostrou uma situação em que a agregação de valor ao produto influencia no valor presente líquido. Neste caso, bastou que no mínimo 17% do volume de madeira fossem destinados à venda de madeira serrada para o sistema começar a dar lucro, que foi de R\$30,88.



**TABELA 5.13** VPL considerando variações nas percentagens de aproveitamento da madeira para serraria e para carvão – venda de madeira serrada (produto 1) e carvão.

Percentagem de madeira		VPL
Carvão	Serraria	(R\$/ha)
100%	0%	-893,27
75%	25%	465,77
50%	50%	1.824,82
25%	75%	3.183,86

A situação máxima em termos de retorno encontra-se na Tabela 5.14, sendo que, ao se utilizar 75% da madeira serrada, obteve-se um lucro de R\$3.311,55. Nesse caso, 16% do volume total tendo sido destinado à venda de madeira serrada para o produto 2 já tornou o negócio lucrativo.

**TABELA 5.14** VPL considerando variações nas percentagens de aproveitamento da madeira para serraria e para carvão – venda de madeira serrada (produto 2) e carvão.

Percentagem de madeira		VPL
Carvão	Serraria	(R\$/ha)
100%	0%	-893,27
75%	25%	508,34
50%	50%	1.909,94
25%	75%	3.311,55

### 5.3.2 Variações em produtividade dos produtos do SAF

Os dados da Tabela 5.15 mostram as simulações de variações na produtividade dos produtos do SAF, para o caso de venda de madeira serrada (produto 2) e de carvão, que é a situação de maior viabilidade econômica. As simulações foram feitas considerando-se um aproveitamento de 20% da madeira para a serraria e 80% da madeira para carvão. Nesse caso, a produtividade de madeira precisa cair a menos de 120,49 m<sup>3</sup>/ha para que o SAF se torne uma

alternativa inviável economicamente. Nota-se que, a esta produtividade, o VPL e o BPE têm o valor zero.

Havendo queda na safra de soja, ou seja, se a produtividade desta cultura for a 60%, o SAF também vai apresentar VPL e BPE igual a zero. Para a cultura do arroz, uma perda na safra de 56,5% implica em VPL e BPE iguais a zero. Qualquer percentual abaixo dos apresentados para cada componente do SAF inviabiliza o sistema.

**TABELA 5.15** VPL e BPE para diversos níveis de produtividade da madeira, da soja e do arroz, considerando a venda de madeira serrada (produto 2) e de carvão.

madeira (m <sup>3</sup> /ha)	Produtividade		VPL (R\$/ha)	BPE (R\$/ha)
	soja (saca/ha)	arroz (saca/ha)		
127,90	21,60	20,16	228,01	52,35
120,49			<b>0,00</b>	<b>0,00</b>
127,90	21,60	20,16	228,01	52,35
	12,96		<b>0,00</b>	<b>0,00</b>
127,90	21,60	20,16	228,01	52,35
		11,39	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>

\* Para a madeira considerou-se um aproveitamento de 20% para serraria e 80% para carvão.

A situação apresentada mostrou que as atividades que compõem o SAF são dependentes umas das outras, e que o sistema agroflorestal deve ser avaliado como um todo e não por atividade.

### 5.3.3 Variações nos preços dos produtos do SAF

As simulações de mudanças nos preços dos produtos do SAF mostraram que, no caso de venda de madeira em pé (Tabela 5.16), mantendo-se constante o preço da madeira para carvão (R\$100,00/m<sup>3</sup>), o preço da madeira para serraria precisaria cair a R\$ 377,38/m<sup>3</sup> para que o VPL e o BPE se igualassem a zero.

Por outro lado, mantendo-se constante o preço de venda da madeira para serraria (R\$ 420,00/m<sup>3</sup>), se o preço do carvão caísse de R\$100,00 para R\$94,00 os valores de VPL e BPE seriam zero. Essa pouca flexibilidade às variações no preço do carvão foi devido ao uso de 80% do volume total para esse fim.

Mantendo-se o preço dos demais produtos constante, o sistema aceitou, ainda, queda no preço da arroba do boi para R\$51,72 e mesmo assim se atingiria o lucro zero.

No caso das culturas anuais, a soja poderia sofrer alterações de preço até uma redução em 40% no preço atual para que o VPL e o PBE atingissem valor zero. Com o arroz, queda de até 43,5% no preço de mercado levou o VPL e o BPE a zero.

Com essas análises, observa-se que no sistema como um todo, a atividade florestal e a pecuária têm pesos maiores que as culturas anuais, embora o sistema sempre deva ser avaliado em seu conjunto.

**TABELA 5.16** VPL e BPE para diversos preços de venda da madeira serrada (produto 2), do carvão, do boi gordo, da soja e do arroz.

Madeira serrada (R\$/m <sup>3</sup> )	Preço				VPL (R\$/ha)	BPE (R\$/ha)
	carvão (R\$/MDC)	boi (R\$/@)	soja (R\$/saca)	arroz (R\$/saca)		
420,00	100,00	57,00	29,00	26,00	228,01	52,35
377,38	100,00	57,00	29,00	26,00	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>
420,00	94,00	57,00	29,00	26,00	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>
420,00	100,00	51,72	29,00	26,00	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>
420,00	94,00	57,00	17,40	26,00	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>
420,00	100,00	57,00	29,00	14,69	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>

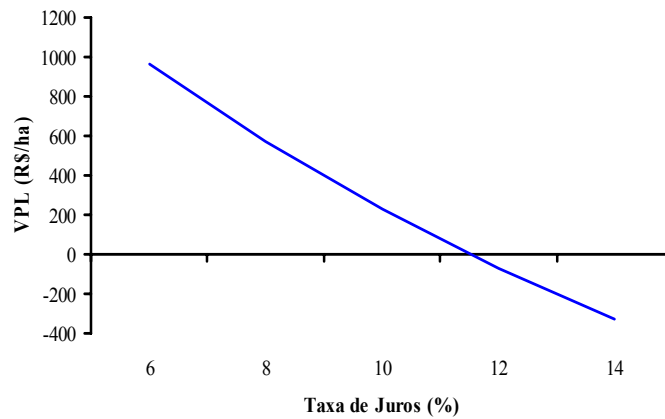
\* Para a madeira considerou-se uma produtividade de 127,9 m<sup>3</sup>/ha.

\* Para a madeira considerou-se um aproveitamento de 20% para serraria e 80% para carvão.

### 5.3.4 Variações na taxa de juros

As variações nas taxas de juros e os valores assumidos pelo VPL para a situação apresentada na primeira linha da Tabela 5.16, estão apresentados na Figura 5.3, a seguir.

Observou-se que taxas de juros superiores a 11,5% tornam o sistema inviável sob o ponto de vista econômico.



**FIGURA 5.3** Representação gráfica do VPL em função de variações na taxa de juros.

## 6 CONCLUSÕES

Diante dos resultados alcançados, pôde-se chegar às seguintes conclusões:

- a idade de corte do povoamento florestal no SAF sofreu influência do sítio, tendo sido de 9 anos para o sítio menos produtivo e aos 6 anos para os sítios mais produtivos, considerando um único ciclo para o sistema agroflorestal;
- para diversos ciclos, a idade ótima de corte do povoamento foi aos 8 anos para o sítio menos produtivo e de 6 anos para o sítio mais produtivo;
- os sítios mais produtivos proporcionaram maior lucro e menos tempo de imobilização do capital;
- a agregação de valor ao produto apresentou grande diferença na lucratividade do SAF, tendo, a diferença entre a madeira colhida para o produto 1 (menor valor agregado) para a madeira para colhida para o produto 2 e energia (maior valor agregado) foi de R\$683,54, representando um aumento de 55,75% no lucro;
- o VPL aumentou com o aumento do uso da madeira para serraria em detrimento do seu uso para carvão;
- à madeira do SAF foi preciso, necessariamente, dar um mínimo de uso (16%) para que o sistema começasse a dar lucro;
- a situação máxima de lucro foi obtida com o uso da madeira para serraria para o produto 2;
- as variações nas produtividades, e nos preços dos produtos que compõem o SAF mostraram que a viabilidade econômica do mesmo depende mais da

atividade florestal e da pecuária do que das atividades anuais. Houve maior tolerância às variações nos preços e nas produtividades da soja e do arroz;

- a influência da taxa de juros no SAF provocou queda na lucratividade quando se aumentou seu valor de 6% para 8% e em seguida 10%. Quando a taxa de juros chegou a 11,5%, o sistema se tornou inviável do ponto de vista econômico, considerando a situação em que o aproveitamento da madeira foi 20% para a serraria e 80% para carvão.

## 7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANTUNES, F.Z. Caracterização climática dos Estado de Minas Gerais: Climatologia agrícola. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v.12, n.138, p. 9-13, jun. 1986.

DANIEL, O.; COUTO, L.; SILVA, E.; PASSOS, C.A.M.; JUCKSCH, I.; GARCIA, R. Sustentabilidade em sistemas agroflorestais: indicadores socioeconômicos. **Revista Ciência Florestal**. v.10, n.1, p.161-177. Santa Maria, Jun. 2000.

DUBE, F.; COUTO, L.; SILVA, M.L.; LEITE, H.G.; GARCIA, R.; ARAÚJO, G.A.A. A simulation model for evaluating technical and economic aspects os na industrial eucalyptus-based agroforestry system in Minas Gerais, Brasil. **Agroforestry Systems**. 55: p.73-80. Dordrecht, 2002.

FRANCO, F.S. **Sistemas agroflorestais: uma contribuição para a conservação dos recursos naturais na Zona da Mata de Minas Gerais**. UFV. Viçosa, 2000. 147p. Tese de Doutorado.

MACDICKEN, N.K.; VERGARA, N.T. **Agroforestry: Classification and management**. New York: John Wiley and Sons, 1990. 382p.

OLIVEIRA, A.D.; SCOLFORO, J.R.S.; SILVEIRA, V. de P. Análise econômica de um sistema agro-silvo-pastoril com eucalipto implantado em região de cerrado. **Revista Ciência Florestal**. v.10, n.1, p. 1-19. Santa Maria, Jun.2000.

REZENDE, J.L.P.; OLIVEIRA, A.D. **Análise Econômica e Social de Projetos Florestais**. Editora UFV. Viçosa, 2001. 389p.