

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

EPITAGORAS RODSON OLIVEIRA COSTA

**PROGNOSE DE CRESCIMENTO, REGIMES DE MANEJO E ESTRATÉGIAS DE
SECAGEM DE *Eucalyptus dunnii* MAIDEN**

CURITIBA

2015

EPITAGORAS RODSON OLIVEIRA COSTA

**PROGNOSE DE CRESCIMENTO, REGIMES DE MANEJO E
ESTRATÉGIAS DE SECAGEM DE *Eucalyptus dunnii* MAIDEN**

Tese apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, do Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial para a obtenção do título de “Doutor em Engenharia Florestal”.

Orientador: Dr. Júlio Eduardo Arce

Co-Orientadores: Dr. Edilson Batista de Oliveira

Dr. Edson Alves de Lima

CURITIBA

2015

Costa, Epitagoras Rodson Oliveira

Prognose de crescimento, regimes de manejo e estratégias de secagem de *eucalyptus dunnii* Maiden / Epitagoras Rodson Oliveira Costa. – 2015.
214 f. : il.

Orientador: Dr. Júlio Eduardo Arce

Coorientadores: Dr. Edilson Batista de Oliveira

Dr. Edson Alves de Lima

Tese (doutorado) - Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal. Defesa: Curitiba, 01/04/2015.

Área de concentração: Manejo florestal

1. Eucalipto - Crescimento - Simulação por computador. 2. Produtividade florestal - Simulação por computador. 3. Eucalipto - Aspectos econômicos. 4. Madeira como combustível. 5. Madeira - Secagem. 6. Manejo florestal. 7. Teses. I. Arce, Júlio Eduardo. II. Oliveira, Edilson Batista de. III. Lima, Edson Alves de. IV. Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Agrárias. V. Título.

CDD – 634.9

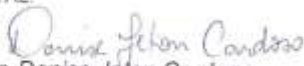
CDU – 634.0.2




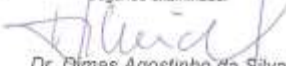
Universidade Federal do Paraná
Setor de Ciências Agrárias - Centro de Ciências Florestais e da Madeira
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal

PARECER
Defesa nº. 1110

A banca examinadora, instituída pelo colegiado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, do Setor de Ciências Agrárias, da Universidade Federal do Paraná, após arguir o(a) doutorando(a) *Epitagos Rodson Oliveira Costa* em relação ao seu trabalho de tese intitulado "**PROGNOSE DE CRESCIMENTO, REGIMES DE MANEJO E ESTRATÉGIAS DE SECAGEM DE *Eucalyptus dunni* MAIDEN**", é de parecer favorável à **APROVAÇÃO** do(a) acadêmico(a), habilitando-o(a) ao título de *Doutor* em Engenharia Florestal, área de concentração em **MANEJO FLORESTAL**.


Dr. Denise Jeton Cardoso
Embrapa Florestas
Primeiro examinador


Dr. José Mauro Magalhães Avila Paz Moreira
Embrapa Florestas
Segundo examinador


Dr. Dimas Agostinho da Silva
Universidade Federal do Paraná
Terceiro examinador


Dr. Edson Alves de Lima
Embrapa Florestas
Quarto examinador


Dr. Julio Eduardo Arce
Universidade Federal do Paraná
Orientador e presidente da banca examinadora



Curitiba, 01 de abril de 2015.


Antônio Carlos Batista
Coordenador do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal

AGRADECIMENTOS

Ninguém faz nada sozinho. Como afirma Clarice Lispector “Quem caminha sozinho, pode chegar mais rápido, mas aquele que vai acompanhado, com certeza vai mais longe. Todo o trabalho desta Tese é fruto de todas as companhias e o apoio que recebi durante os quatro anos de duração do Doutorado.

A iniciar pelo meu orientador Prof. Júlio Eduardo Arce, que sempre deu todo o apoio necessário, desde a seleção de ingresso, até a finalização do trabalho. Agradeço ao pesquisador Edilson Batista de Oliveira, da EMBRAPA Florestas, pela orientação no desenvolvimento do simulador de crescimento apresentado nesta tese e pelas sugestões em todo o trabalho.

Ao pesquisador Edson Alves de Lima, da EMBRAPA Florestas, pela amizade e grande participação na pesquisa de secagem. Agradeço ao pesquisador José Mauro Magalhães Ávila Paz Moreira, da EMBRAPA Florestas, pela preciosa orientação em economia. Reconhecimento também ao Prof. Dimas Agostinho da Silva, da UFPR, pelo apoio nas análises laboratoriais e pelo incentivo constante. Aos funcionários da Pós graduação, em especial Reinaldo e Davi pela gentileza no atendimento.

À empresa Volta Grande Reflorestamento meu especial agradecimento na pessoa do Diretor Carlos Alberto Bonacorso De Domenico, pela cessão dos dados e apoio na realização de todas as pesquisas, que foram fundamentais no desenvolvimento desta tese.

Aos funcionários da Volta Grande Reflorestamento, Daniel Maros, Charles Kupitzki, Verediano Borges de Lima e Andrei Aumari Zanluca, pela grande colaboração durante a realização dos trabalhos.

Aos meus pais, pela vida e bons exemplos recebidos. A minha família, minha esposa Cleide e meus filhos Gustavo e George, pelo amor, carinho e compreensão.

A todos muito obrigado ! Agradeço a Deus por todas as coisas maravilhosas que me foram concedidas!

Lembra-te do teu Criador, nos dias da tua mocidade,
Antes que venham os maus dias e cheguem os anos dos quais dirás.
Não tenho neles contentamento....

E o pó volte a Terra como o era. E o espírito volte a Deus que o deu.
Vaidade, tudo é vaidade (Eclesiastes, V, 12.1).

RESUMO GERAL

O *Eucalyptus dunnii* Maiden é uma das principais alternativas para a produção de madeira para energia. Todas as pesquisas foram realizadas na localidade de Volta Grande, Município de Rio Negrinho, Norte de Santa Catarina. Com dados de 749 parcelas de inventário florestal contínuo e cubagem rigorosa de 599 árvores, foram ajustadas equações de mortalidade, função de distribuição de diâmetro, equação de volume, equação de sítio e função de forma. Com este conjunto de dados foi desenvolvido em parceria com a EMBRAPA Florestas, um *software* capaz de realizar a prognose de produção da floresta de *Eucalyptus dunnii*, em qualquer idade, além de possibilitar simulações de qualquer tipo de regime de manejo. O simulador SisDunnii mostrou-se viável para a estimativa dos principais dados dendrométricos e de volume. Nas estimativas do volumes dos povoamentos, a diferença aritmética em porcentual foi de 2,58%. Também apresentou coeficiente de determinação de 98,19, erro padrão foi de 15,56 m³.ha⁻¹ e em porcentual 7,71% em relação ao média do volume existente. A espécie *Eucalyptus dunnii* pode-se constituir em opção para outros usos. Para estudo econômico, foram levantados os diversos custos de produção e colheita, bem como valores de venda da madeira e de terras. Foram realizadas, com uso do simulador SisDunnii, 153 diferentes regimes de manejo, com e sem desbastes, em três densidades de árvores com 1333, 1600 e 2.000.ha⁻¹. O melhor regime sem desbaste, entre foi o regime com 1333 árvores.ha⁻¹, com corte raso aos 12 anos. O melhor resultado dos regimes desbastados, com desbastes ao 7, 10, 14 e corte final aos 18 anos, com Valor Anual Equivalente de R\$ 781,40 .ha⁻¹. A menor densidade de árvores no plantio favorece os resultados econômicos. A realização de desbastes em povoamentos de *Eucalyptus dunnii* melhoram os resultados econômicos, em relação aos regimes sem desbaste. A secagem da biomassa pode representar uma melhoria substancial do combustível para geração de energia, como no caso do *Eucalyptus dunnii*. Com objetivo de avaliar as estratégias de secagem da madeira de *Eucalyptus dunnii* visando a redução do custo da energia de biomassa, foi realizado um experimento de secagem de madeira da espécie. A pesquisa durou cerca de 2 anos, com montagem de pilhas de secagem, com coleta quinzenais, totalizando 28 coletas anuais. Em cada coleta foi determinado o teor de umidade da madeira. Foram levantados os custos do pátio de madeira e custos de colheita da madeira. Foi utilizado apenas os dados do segundo ano de coleta, em função de alta precipitação no primeiro ano. Durante o período de estocagem de 373 dias, o teor de umidade diminuiu de 53,84% para 28,89%, representando redução de 46% do teor inicial. Durante o período de estocagem 373 dias, o poder calorífico útil aumentou, representando 74% de aumento. No período de 01 ano a densidade energética também cresceu 56%. A partir da necessidade mensal de energia necessária para as atividades industriais, realizou-se uma simulação de diversas estratégias de secagem no campo ou no pátio de madeira. Com secagem da madeira no campo e transporte para o pátio de armazenamento, as melhores opções seriam a secagem de três a cinco meses no campo, complementados com um mês de pátio. Com a opção de aumento na área física de pátio, as melhores opções seriam a secagem de três a quatro meses no campo, complementadas com dois meses de pátio.

Palavras chave: modelagem florestal; simulação, Viabilidade Econômica, umidade da madeira; poder calorífico útil.

GENERAL ABSTRACT

Eucalyptus dunnii Maiden is one of the main alternatives to wood production for energy. All searches were performed in the town of Volta Grande, municipality of Rio Negrinho, North of Santa Catarina. With data from 749 plots of continuous forest inventory and rigorous cubage of 599 trees, mortality equations were adjusted diameters structure function, volume equation, site index equation and taper function. With this data set was developed in partnership with the EMBRAPA Florestas, a software capable of performing the prognosis of production of forest of *Eucalyptus dunnii*, at any age, as well as to provide simulations of any type of scheme of management. The simulator SisDunnii proved to be viable for the estimation of the main data dendrometricos and volume. To estimate the volumes of stands the arithmetic difference in percentage was 2.58 %. Also presented determination coefficient of 98.19, standard error was 15.56 m³ .ha⁻¹ and in percentage 7.71% in relation to the average of the existing volume. The species *Eucalyptus dunnii* can constitute as an option for other uses. For economical study, were raised the various costs of production and harvesting, as well as values for the sale of timber and land. Were performed, with use of the simulator SisDunnii, 153 different management regimes, with and without thinning, in three densities of trees with 1333, 1600 and 2.000.ha⁻¹. The best without thinning regime, was among the regime with 1333 trees.ha⁻¹ with clearcutting to 12 years. The best result of thinned regimes, with thinning to 7, 10, 14 and end cut to 18 years, with Equivalent Annual Value of R\$ 781.40 .ha⁻¹. The lower density of trees in planting favors the economic results. The realization of thinnings in stands of *Eucalyptus dunnii* improve the economic results in relation to schemes without thinning . The drying of the biomass may represent a substantial improvement of the fuel for power generation. In order to evaluate the strategies *Eucalyptus dunnii* wood drying in order to reduce the cost of biomass energy, there was a wood drying experiment of the species. The search lasted about two years, with mounting drying cells, with fortnightly collection, totaling 28 annual collections. Was used only the data from the second year of data collection, due to the high precipitation that occurred in the first year. In each sample was determined the moisture content of the wood. The woodyard costs and timber harvesting costs were raised. During the storage period of 373 days, the moisture content decreases from 53.84% to 28.89 %, representing a reduction of 46% of the initial content. During the storage period 373 days, the calorific power useful increased, accounting for 74% of increase. In the period of 01 years the energy density also grew 56 % . from the need monthly energy required for the industrial activities, there was a simulation of various strategies of drying in the field or in the courtyard of wood. With wood drying in the field and transport for the courtyard of storage, the best options would be the drying of three to five months in the field, complemented with a month in wood yard. With the option to increase the physical area of courtyard, the best options would be the drying of three to four months in the field, supplemented with two months in the courtyard of storage of wood.

Key words: forest modeling; Simulation, Economic Viability, wood moisture; calorific

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO I

FIGURA 1 – BASE BIOLÓGICA DE CRESCIMENTO E INCREMENTO	28
FIGURA 2 – ESQUEMA DE DISTRIBUIÇÃO BIVARIADA E SUA PROJEÇÃO	35
FIGURA 3 – PERPECTIVAS DE FUNÇÃO BIVARIADA	36
FIGURA 4 – REGIÃO DA COLETA DE DADOS E ÁREAS FLORESTAIS	43
FIGURA 5 – DISTRIBUIÇÃO DE RESÍDUOS DE EQUAÇÕES VOLUMÉTRICAS...59	
FIGURA 6 – DISTRIBUIÇÃO DE RESÍDUOS DAS EQUAÇÕES DE SÍTIO	62
FIGURA 7 – CURVAS DE ÍNDICE DE SÍTIO DE <i>Eucalyptus dunnii</i> PARA A REGIÃO DE RIO NEGRINHO	63

CAPÍTULO II

FIGURA 1 – DENSIDADE DE <i>Eucalyptus dunnii</i> NA AUSTRÁLIA	115
FIGURA 2 – REGIÃO DA COLETA DE DADOS	121

CAPÍTULO III

FIGURA 1 – DENSIDADE ENERGÉTICA CONFORME O TEOR DE UMIDADE DA MADEIRA DE ESPÉCIES DE <i>Eucalyptus</i> E DE BRACATINGA ...	166
FIGURA 2 – CUSTO DA ENERGIA DE ALGUMAS ESPÉCIES DE <i>Eucalyptus</i> E BRACATINGA SOB TEORES DE UMIDADE DE 20% A 60%	173
FIGURA 3 – LOCALIZAÇÃO DO EXPERIMENTO DE SECAGEM DE <i>Eucalyptus dunnii</i>	174
FIGURA 4 – AMOSTRAS NA PILHA DE SECAGEM DO EXPERIMENTO	175
FIGURA 5 – DETALHES DO EXPERIMENTO DE SECAGEM	175
FIGURA 6 – RETIRADA NAS PILHAS DE SECAGEM E PREPARO DAS AMOSTRAS	176
FIGURA 7 - ESTAÇÃO METEREOLÓGICA AUTOMÁTICA DAVIS VANTAGE PRO2	178
FIGURA 8 – VISTA DO PÁTIO INDUSTRIAL DE ARMAZENAMENTO DE MADEIRA PARA ENERGIA	180

LISTA DE GRÁFICOS

CAPÍTULO I

- GRÁFICO 1 – RELAÇÃO ENTRE DAP DAS PARCELAS DE VALIDAÇÃO E ESTIMADOS PELO SISDUNNII 68
- GRÁFICO 2 – RELAÇÃO DAS ALTURAS MÉDIAS DAS PARCELAS DE VALIDAÇÃO E ESTIMADAS PELO SISDUNNII 68
- GRÁFICO 3 – RELAÇÃO DAS ALTURAS DOMINANTES DAS PARCELAS DE VALIDAÇÃO E ESTIMADAS PELO SISDUNNII 69
- GRÁFICO 4 – RELAÇÃO DO NÚMERO DE ÁRVORES (ÁRVORES.ha⁻¹) DAS PARCELAS DE VALIDAÇÃO E ESTIMADAS PELO SISDUNNII..... 70
- GRÁFICO 5 – RELAÇÃO ENTRE OS DADOS DAS PARCELAS DE VALIDAÇÃO E OS ESTIMADOS PELO SIMULADOR SISDUNNII DA ÁREA BASAL (m².ha⁻¹) 71
- GRÁFICO 6 – RELAÇÃO ENTRE OS DADOS REAIS DAS PARCELAS DE VALIDAÇÃO E ESTIMADOS PELO SISDUNNII DA ESTIMATIVA VOLUMÉTRICA (m³.ha⁻¹) 72
- GRÁFICO 7 – VOLUMES REAIS DAS PARCELAS DE VALIDAÇÃO E VOLUMES ESTIMADOS PELO SISDUNNI (m³.ha⁻¹) 73

CAPÍTULO II

- GRÁFICO 1 – COMPARAÇÃO ENTRE A PRODUTIVIDADE DO EUCALIPTO NO BRASIL, NA AUSTRÁLIA E NOS ESTADOS UNIDOS 113
- GRÁFICO 2 – RENTABILIDADE DOS REGIMES DE *Eucalyptus dunnii* SEM DESBASTE, COM VALOR DO VAE (R\$.ha⁻¹) INCLUINDO VALOR DA TERRA, COM TRÊS DENSIDADE DE ÁRVORES.ha⁻¹ 129
- GRÁFICO 3 – RENTABILIDADE COM VALOR DA TIR (%) DOS REGIMES SEM DESBASTES DE *Eucalyptus dunnii* EM 3 DENSIDADES.ha⁻¹ .130
- GRÁFICO 4 – VALOR ANUAL EQUIVALENTE (VAE) DOS REGIMES DE *Eucalyptus dunnii*, DOS REGIMES COM DESBASTES, EM 3 DENSIDADES.ha⁻¹138
- GRÁFICO 5 – TAXA INTERNA DE RETORNO (TIR %) DOS REGIMES DE *Eucalyptus dunnii*, COM DESBASTES, EM 3 DENSIDADES.ha⁻¹.. 139
- GRÁFICO 6 – VALOR DO VET – VALOR ESPERADO DA TERRA (R\$.ha⁻¹) DOS REGIMES DE *Eucalyptus dunnii* E O LIMITE VIÁVEL PARA O PROJETO SE TORNAR VIÁVEL 143

CAPÍTULO III

GRÁFICO 1 – TEOR DE UMIDADE DE <i>Eucalyptus dunnii</i> DURANTE A SECAGEM	182
GRÁFICO 2 – TEOR DE UMIDADE E TEMPERATURA DURANTE O PERÍODO DE SECAGEM DE <i>Eucalyptus dunnii</i>	184
GRÁFICO 3 – TEOR DE UMIDADE E UMIDADE RELATIVA DO AR DURANTE O PERÍODO DE SECAGEM	185
GRÁFICO 4 – TEOR DE UMIDADE E PRECIPITAÇÃO DURANTE O PERÍODO DE SECAGEM DE <i>Eucalyptus dunnii</i>	185
GRÁFICO 5 – DISTRIBUIÇÃO DE RESÍDUOS DOS MODELOS DE SECAGEM DE <i>Eucalyptus dunnii</i> EM FUNÇÃO DO TEMPO	187
GRÁFICO 6 – TEOR DE UMIDADE REAL E TEOR DE UMIDADE AJUSTADA DE <i>Eucalyptus dunnii</i>	187
GRÁFICO 7 – COMORTAMENTO DO PODER CALORÍFICO ÚTIL (PCU) E TEOR DE UMIDADE DE <i>Eucalyptus dunnii</i> AO LONGO DE 1 ANO	189
GRÁFICO 8 – RELAÇÃO DO PODER CALORÍFICO EM FUNÇÃO DA UMIDADE DE <i>Eucalyptus dunnii</i>	189
GRÁFICO 9 – DENSIDADE ENERGÉTICA DE <i>Eucalyptus dunnii</i> AO LONGO DE 1 ANO	194
GRÁFICO 10 – DENSIDADE ENERGÉTICA EM RELAÇÃO A UMIDADE DA MADEIRA DE <i>Eucalyptus dunnii</i> AO LONGO DE 01 ANO	194
GRÁFICO 11 - CUSTO DA ENERGIA EM FUNÇÃO DO TEMPO DE SECAGEM NO CAMPO DE <i>Eucalyptus dunnii</i>	199

LISTA DE QUADROS

CAPÍTULO I

QUADRO 1 – ÁREAS FLORESTAIS E DADOS DA PESQUISA 45

QUADRO 2 – IDADE DOS INVENTÁRIOS SUCESSIVOS 45

CAPÍTULO II

QUADRO 1 – RESULTADOS DE DESBASTES EM *Eucalyptus grandis* 117

QUADRO 2 – REGIMES DE MANEJO DE *Eucalyptus dunnii* UTILIZADOS NAS
SIMULAÇÕES 126

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO I

TABELA 1 – DISTRIBUIÇÃO DAS ÁRVORES DA CUBAGEM RIGOROSA	47
TABELA 2 - EXEMPLO DE CLASSIFICAÇÃO DE DIÂMETRO NAS PARCELAS	48
TABELA 3 - EQUAÇÕES PARA A ESTIMATIVA DOS PARÂMETROS DA DISTRIBUIÇÃO S_{BB}	50
TABELA 4 – MODELOS TESTADOS PARA EQUAÇÃO DE SÍTIO PARA <i>Eucalyptus dunnii</i>	51
TABELA 5 – DISTRIBUIÇÃO DAS ÁRVORES CUBADAS POR CLASSE DE DIÂMETRO	53
TABELA 6 – EQUAÇÕES VOLUMÉTRICAS PARA ESTIMATIVA DO VOLUME COM CASCA	54
TABELA 7 – NÚMERO DE ÁRVORES POR IDADE E MORTALIDADE (%) AOS 07 ANOS, CONFORME O ÍNDICE DE SÍTIO (IS)	57
TABELA 8 – MODELOS E RESULTADOS DOS AJUSTES DOS COEFICIENTES DE EQUAÇÕES VOLUMÉTRICAS DE SIMPLES E DUPLA ENTRADA	58
TABELA 9 - RESULTADO DA ESTATÍSTICA DAS EQUAÇÕES DE VOLUME	59
TABELA 10- MODELOS E RESULTADOS DOS AJUSTES DOS COEFICIENTES PARA CLASSIFICAÇÃO DE SÍTIOS	61
TABELA 11 - RESULTADO DA ESTATÍSTICA DAS EQUAÇÕES DE SÍTIO	62
TABELA 12 - DISTRIBUIÇÃO DO NÚMERO DE PARCELAS POR CLASSE DE SÍTIO.....	64
TABELA 13 – RESULTADOS DO TESTE DE ANAMORFISMO EM DIFERENTES IDADES PARA A CLASSE II DE ÍNDICE DE SÍTIO, DE POVOAMENTOS DE <i>Eucalyptus dunnii</i>	64
TABELA 14 – RESULTADOS DO AJUSTE DE EQUAÇÃO DE POLINÔMIO DE 5ºGRAU	65
TABELA 15 – DADOS DAS ÁREAS FLORESTAIS PARA A VALIDAÇÃO DOS DADOS DO SIMULADOR SISDUNNII.....	66

TABELA 16 – DADOS REAIS E ESTIMADOS PELO SIMULADOR SISDUNNI, DO DIÂMETRO À ALTURA DO PEITO (DAP), ALTURA MÉDIA (m) E DOMINANTE DAS ÁRVORES (m)	67
TABELA 17 – DADOS DAS MÉDIAS REAIS OBSERVADAS E DAS PARCELAS DE VALIDAÇÃO DO NÚMERO DE ÁRVORES (ÁRVORES.ha ⁻¹) E ÁREA BASAL (m ² .ha ⁻¹)	70
TABELA 18 – DADOS REAIS E ESTIMADOS PELO SIMULADOR SISDUNNI NA ESTIMATIVA VOLUMÉTRICA (m ³ .ha ⁻¹)	72
TABELA 19 - RESULTADOS DE DIFERENÇA E DADOS ESTATÍSTICOS DA VALIDAÇÃO DAS VARIÁVEIS DOS POVOAMENTOS ESTUDADOS	74

CAPÍTULO II

TABELA 1 – INDICADORES CLIMÁTICOS PARA <i>Eucalyptus dunnii</i>	110
TABELA 2 – CUSTOS DE IMPLANTAÇÃO E MANUTENÇÃO DE <i>Eucalyptus dunnii</i> COM DENSIDADE DE 1.600 ÁRVORES.ha ⁻¹ , EM SETEMBRO/ 2014	122
TABELA 3 - CUSTOS DE IMPLANTAÇÃO E MANTENÇÃO DE <i>Eucalyptus dunnii</i> EM 3 DENSIDADES DE ÁRVORES.ha ⁻¹ , EM SETEMBRO/ 2014	122
TABELA 4 – SORTIMENTOS E PREÇOS DA MADEIRA DE <i>Eucalyptus dunnii</i> , COM CUSTOS DE COLHEITA E CARREGAMENTO UTILIZADOS NA VALORIZAÇÃO DA PRODUÇÃO, EM SETEMBRO/ 2014	123
TABELA 5 – CUSTOS DE SERVIÇOS DE COLHEITA E CARREGAMENTO, POR TIPO DE DESBASTE E CORTE RASO (R\$.m ⁻³)	123
TABELA 6 – GRAU DE UTILIZAÇÃO E PREÇO FINAL DA TERRA PARA PLANTIO FLORESTAL	124
TABELA 7 – RENTABILIDADE ECONÔMICA DE REGIMES DE MANEJO DE <i>Eucalyptus dunnii</i> SEM DESBASTE	128
TABELA 8 – MELHORES RENTABILIDADES DOS REGIMES SEM DESBASTES DE <i>Eucalyptus dunnii</i>	132
TABELA 9 – PRODUÇÃO TOTAL E POR SORTIMENTO DO MELHOR REGIME SEM DESBASTE DE <i>Eucalyptus dunnii</i> , REGIME Nº 6, COM CORTE RASO AOS 12 ANOS	132
TABELA 10 – RECEITA BRUTA (R\$.ha ⁻¹) DO MELHOR REGIME SEM DESBASTE (Nº 6), DE <i>Eucalyptus dunnii</i> , COM CORTE RASO AOS 12 ANOS	133

TABELA 11 - RENTABILIDADES DOS REGIMES COM DESBASTES DE <i>Eucalyptus dunnii</i> , COM DENSIDADE DE 1333 ÁRVORES.ha ⁻¹	135
TABELA 12 - RENTABILIDADES DOS REGIMES COM DESBASTES DE <i>Eucalyptus dunnii</i> , COM DENSIDADE DE 1600 ÁRVORES.ha ⁻¹	136
TABELA 13 - RENTABILIDADES DOS REGIMES COM DESBASTES DE <i>Eucalyptus dunnii</i> , COM DENSIDADE DE 2000 ÁRVORES.ha ⁻¹	137
TABELA 14 – RESULTADOS DOS 10 MELHORES RENTABILIDADES DOS REGIMES COM DESBASTES DE <i>Eucalyptus dunnii</i>	140
TABELA 15 – PRODUÇÃO TOTAL E POR SORTIMENTO DO MELHOR REGIME COM DESBASTES (Nº 49) DE <i>Eucalyptus dunnii</i> AOS 8, 10 E 14 ANOS E CORTE RASO AOS 18 ANOS	141
TABELA 16 – RECEITA BRUTA (R\$.ha ⁻¹) DO MELHOR REGIME (Nº 49) COM DESBASTE DE <i>Eucalyptus dunnii</i> , COM DESBASTE AOS 8, 10 E 14 ANOS E CORTE RASO AOS 18 ANOS	142

CAPÍTULO III

TABELA 1 – MODELOS DE ESTIMATIVA DO TEOR DE UMIDADE DA MADEIRA EM FUNÇÃO DO TEMPO	179
TABELA 2 – DATAS DAS COLETAS, INTERVALOS ENTRE COLETAS, DADOS CLIMÁTICOS E RESULTADOS DE SECAGEM DO PRIMEIRO ANO DE <i>Eucalyptus dunnii</i>	183
TABELA 3 – AJUSTE DE MODELOS DE PERDA DE UMIDADE DE LENHA DE <i>Eucalyptus dunnii</i> EM FUNÇÃO DO TEMPO DE ESTOCAGEM.....	186
TABELA 4 – ESTATÍSTICA DOS DADOS DE PODER CALORÍFICO E DENSIDADE BÁSICA DE <i>Eucalyptus dunnii</i>	188
TABELA 5 – CUSTOS DE IMPLANTAÇÃO DO PÁTIO DE MADEIRA E VALOR ANUAL DE ALUGUEL.....	191
TABELA 6 – CUSTOS DE MANUTENÇÃO ANUAL DO PÁTIO DE MADEIRA E VALOR DE ALUGUEL.	191
TABELA 7 – CUSTO DO ALUGUEL DO PÁTIO DE MADEIRA	192
TABELA 8 – CUSTOS DE LENHA POSTO PÁTIO DE <i>Eucalyptus dunnii</i>	192
TABELA 9 – FATOR DE EPILHAMENTO DE <i>Eucalyptus dunnii</i> COM 8 ANOS.....	193
TABELA 10 – DADOS TÉCNICOS E ECONÔMICOS DA ESTRATÉGIA CONSIDERADA PADRÃO	196

TABELA 11 – ESTRATÉGIAS DE SECAGEM DE <i>Eucalyptus dunnii</i>	197
TABELA 12 – MELHORES ESTRATÉGIAS DE SECAGEM SEM NECESSIDADE DE INVESTIMENTOS PARA O AUMENTO DO PÁTIO.....	201
TABELA 13 – MELHORES ESTRATÉGIAS DE SECAGEM COM NECESSIDADE DE INVESTIMENTOS PARA O AUMENTO DO PÁTIO	202
TABELA 14 – DIFERENÇAS DE CUSTO MENSAL E ANUAL ENTRE ESTRATÉGIA PADRÃO E AS ESTRATÉGIAS SELECIONADAS..	203
TABELA 15 - ÁREA FLORESTAL NECESSÁRIA (ha) DE <i>Eucalyptus dunnii</i> PARA ATENDER CONSUMO DA INDÚSTRIA	204
TABELA 16 - DIFERENÇAS DE CUSTOS DE IMPLANTAÇÃO E TERRAS DA ESTRATÉGIA PADRÃO E ESTRATÉGIAS SELECIONADA	204

SUMÁRIO

RESUMO GERAL	4
GENERAL ABSTRACT	5
1 INTRODUÇÃO GERAL	19
2 OBJETIVO GERAL	21
2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	21
REFERÊNCIAS	22
CAPÍTULO I - PROGNOSE DE CRESCIMENTO E PRODUÇÃO DE <i>Eucalyptus dunnii</i> MAIDEN	23
RESUMO	24
ABSTRACT	25
1 INTRODUÇÃO	26
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	27
2.1 MODELOS DE CRESCIMENTO E PRODUÇÃO	27
2.2 A PROGNOSE DE PRODUÇÃO	28
2.3 ATRIBUTOS PARA A PROGNOSE E CRESCIMENTO	31
2.3.1 Modelos de Mortalidade	31
2.3.2 Modelos De Distribuição Diamétrica	32
2.3.3.1 Distribuição S_{BB} Johnson	33
2.4 CLASSIFICAÇÃO DE SÍTIO	37
2.5 EQUAÇÃO HIPSOMÉTRICA	38
2.6 EQUAÇÕES DE VOLUME	38
2.7 FUNÇÕES DE AFILAMENTO	39
2.8 PESQUISAS SOBRE PROGONSE DE PRODUÇÃO E CRESCIMENTO DE EUCALYPTUS	40
3 MATERIAL E MÉTODOS	43
3.1 LOCAL DE ESTUDO	43
3.1.1 Clima e Solos	44
3.2. DADOS DO INVENTÁRIOS SUCESSIVOS	45
3.2.1 Dados das Parcelas	45
3.3 INVENTÁRIO FLORESTAL	46
3.3.1 Processamento dos dados dos Inventários Florestais	46

3.3.2 Cubagem Rigorosa	46
3.4. SISTEMA DE PROGNOSE DE CRESCIMENTO DE <i>Eucalyptus dunnii</i>	48
3.4.1 Equação de Mortalidade	48
3.4.2 Ajuste da Distribuição Diamétrica	48
3.4.3 Equação de Sítio	51
3.4.4 Cubagem Rigorosa	53
3.4.5 Modelo Volumétrico	53
3.4.6 Função de Afilamento	54
3.4.7 Estimativa da Produção	55
3.4.8 Simulação dos desbastes	55
3.4.9 Metodologia Utilizada para a Validação do Simulador	55
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	57
4.1 FUNCIONAMENTO DO SIMULADOR SISDUNNII	57
4.2 FUNÇÃO DE MORTALIDADE	57
4.3 EQUAÇÃO DE VOLUME	58
4.4 FUNÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO DIAMÉTRICA	61
4.5 EQUAÇÃO DE SÍTIO	61
4.6 EQUAÇÃO DE AFILAMENTO	65
4.7 VALIDAÇÃO DO SISTEMA DE CRESCIMENTO E PRODUÇÃO DO SOFTWARE SIS DUNNII	65
4.7.1 Considerações sobre a Validação da Prognose de <i>Eucalyptus dunnii</i>	65
4.7.2 Validação do Diâmetro, Altura Média e Altura Dominante.	67
4.7.3 Validação do Número da Árvores e Área Basal	69
4.7.4. Validação da Estimativa Volumétrica	71
4.7.5 Resumo da Validação	74
5 CONCLUSÕES	75
6 RECOMENDAÇÕES	76
REFERÊNCIAS	77
ANEXOS	84
CAPÍTULO II: REGIMES DE MANEJO DE <i>Eucalyptus dunnii</i> E RENTABILIDADE ECONÔMICA	104
RESUMO	105
ABSTRACT	106
1 INTRODUÇÃO	107

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	109
2.1 O <i>Eucalyptus dunnii</i> Maiden	109
2.2 PLANTIO DE FLORESTAS ENERGÉTICAS	110
2.2 A MADEIRA DE <i>Eucalyptus dunnii</i> E SUAS UTILIZAÇÕES DA MADEIRA	111
2.3 ALGUNS ASPECTOS DE MANEJO FLORESTAL PARA <i>Eucalyptus</i>	113
2.4 CONCEITOS ECONÔMICOS NA AVALIAÇÃO DE FLORESTAS	119
3 MATERIAL E MÉTODOS	121
3.1 REGIÃO DE ESTUDO	121
3.2 CUSTOS DE IMPLANTAÇÃO DAS FLORESTAS	121
3.3 MERCADO E PREÇO DA MADEIRA	123
3.4 CUSTOS DE COLHEITA E CARREGAMENTO	123
3.5 VALOR DE TERRAS E OCUPAÇÃO	124
3.6 BASE DA PROGNÓSE DE PRODUÇÃO NO SIMULADOR SISDUNNII	125
3.7 CRITÉRIOS ECONÔMICOS PARA ANÁLISE ECONÔMICA E TAXA MÍNIMA DA ATRATIVIDADE (TMA)	125
3.8 REGIMES DE MANEJO E PROGNÓSE DE PRODUÇÃO	126
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	127
4.1 REGIMES SEM DESBASTE DE <i>Eucalyptus dunnii</i>	127
4.1.1 Melhores Rentabilidades dos Regimes de Manejo Sem Desbaste	131
4.2 REGIMES COM DESBASTES DE <i>Eucalyptus dunnii</i>	133
4.2.1 Melhores Rentabilidade dos Regimes de Manejo com Desbaste	140
4.3 VALOR ESPERADO DA TERRA (VET) PARA TODOS OS REGIMES	143
5 CONCLUSÕES	145
6 RECOMENDAÇÕES	146
REFERÊNCIAS	147
CAPÍTULO III - ESTRATÉGIAS DE SECAGEM AO AR LIVRE DE MADEIRA PARA ENERGIA DE <i>Eucalyptus dunnii</i> Maiden	152
RESUMO	153
ABSTRACT	154
1 INTRODUÇÃO	155
2 REVISÃO DE LITERATURA	156
2.1 MADEIRA COMO FONTE ENERGÉTICA E <i>Eucalyptus dunnii</i> PARA ENERGIA.....	156
2.2 A ÁGUA NA MADEIRA	156

2.3 O PONTO DE SATURAÇÃO DAS FIBRAS (PSF)	157
2.4 O TEOR DE UMIDADE DA MADEIRA	158
2.5 SECAGEM DA MADEIRA ROLIÇA (EM TORAS)	160
2.6 PODER CALORÍFICO DA MADEIRA	162
2.7 UMIDADE E PODER CALORÍFICO DA MADEIRA	164
2.8 DENSIDADE DA MADEIRA E DENSIDADE ENERGÉTICA	165
2.9. MODELAGEM E EXPERIMENTOS COM SECAGEM DE MADEIRA	167
2.10 AVALIAÇÃO ECONÔMICA DA SECAGEM	170
2.10.1 Conceitos de Avaliação Econômica	170
2.10.2 Avaliação Econômica da Madeira para Energia	172
3 MATERIAL E MÉTODOS	174
3.1 LOCAL E DESCRIÇÃO DO EXPERIMENTO	174
3.1.1 Condições Climáticas da Região	175
3.2 COLETA DOS DADOS DO TEOR DE UMIDADE DA MADEIRA	176
3.3 ANÁLISES LABORATORIAIS	177
3.3.1 Determinação da Umidade da Madeira	177
3.3.2 Determinação do Poder Calorífico e Densidade da Madeira	177
3.4. DADOS CLIMÁTICOS	177
3.5 MODELOS PARA ESTIMATIVA DO TEOR DE UMIDADE EM FUNÇÃO DO TEMPO DE SECAGEM	179
3.6 CUBAGEM DA MADEIRA E FATOR DE EMPILHAMENTO	179
3.7 CUSTOS DO PÁTIO DE LENHA	180
3.8 CUSTO DE LENHA DE EUCALYPTUS ATÉ O PÁTIO	181
3.9 CÁLCULO DA DENSIDADE ENERGÉTICA	181
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	182
4.1 RESULTADOS DO PRIMEIRO ANO DO EXPERIMENTO DE SECAGEM DE <i>Eucalyptus dunnii</i>	182
4.2 RESULTADOS DO SEGUNDO ANO DO EXPERIMENTO DE SECAGEM DE <i>Eucalyptus dunnii</i>	182
4.3 AJUSTE DE MODELOS PARA ESTIMATIVA DO TEOR DE UMIDADE DE <i>Eucalyptus dunnii</i> EM FUNÇÃO DO TEMPO DE SECAGEM AO AR LIVRE ..	186
4.3.1 Teor de Umidade Real e Teor de Umidade Ajustada	187
4.4 PODER CALORÍFICO E DENSIDADE BÁSICA DA MADEIRA DE <i>Eucalyptus dunnii</i>	188

4.5 TEOR DE UMIDADE E PODER CALORÍFICO	188
4.6 CUSTOS DE ARMAZENAMENTO EM PÁTIO	190
4.6.1 Custos de Implantação e Manutenção do Pátio Industrial	190
4.6.2 Custos de Aluguel do Pátio Industrial	190
4.7 CUSTOS DE COLHEITA DE <i>Eucalyptus dunnii</i>	192
4.8 CÁLCULO DA DENSIDADE ENERGÉTICA DURANTE A SECAGEM	192
4.8.1 Fator de empilhamento da Madeira	193
4.8.2 Cálculo da Densidade Energética	193
4.9. ESTRATÉGIAS DE SECAGEM DA MADEIRA DE <i>Eucalyptus dunnii</i>	195
4.9.1 Cálculo da Demanda Energética Mensal	195
4.9.2. Estratégias de Secagem da Madeira de <i>Eucalyptus dunnii</i>	195
4.9.3 Escolha da Estratégia de Secagem da Madeira.....	199
4.9.3.1 Com opção de não aumento do pátio de Madeira.....	201
4.9.3.2 Com opção de aumento do pátio de Madeira	202
4.9.3.3 Comparação de Custos entre Estratégia Padrão e Estratégias Selecionadas.....	203
4.10 PRODUÇÃO FLORESTAL DE <i>Eucalyptus dunnii</i> NECESSÁRIA PARA ATENDER CONSUMO	203
4.11 COMPARAÇÃO COM OUTRAS PESQUISAS DE SECAGEM DE MADEIRA ROLIÇA	205
5 CONCLUSÕES	206
6 RECOMENDAÇÕES	207
REFERÊNCIAS	208
ANEXO	214

1 INTRODUÇÃO GERAL

Em Santa Catarina o Balanço Energético do setor industrial mostrou destaque para o uso de do biomassa (lenha, serragem e resíduos florestais), totalizando 64,5% do consumo total da energia consumida, principalmente nos setores de alimentos, cerâmico, têxtil, papel e celulose (GOVERNO DO ESTADO DE SANTA CATARINA, 2014).

No setor de papel e celulose, a madeira se destaca com 66% da energia consumida em 2012, alcançando a marca de 87% para a biomassa, quando contabilizada a lixívia utilizada na geração de eletricidade e vapor de processo. No setor de papel e celulose, observou-se uma redução gradual e significativa no uso de óleo combustível (GOVERNO DO ESTADO DE SANTA CATARINA, 2014).

Toda esta demanda por energia renovável pode ser satisfeita pelas florestas plantadas. O Brasil é um dos poucos países em que existem florestas energéticas em larga escala, principalmente pela excepcional produtividade dessas florestas. Na última década, o setor florestal experimentou um salto tecnológico surpreendente, que resultou no aprimoramento de técnicas de implantação, manejo e exploração. O Brasil passou a ter uma das melhores produtividades do mundo com relação a florestas de eucalipto. Todo esse desenvolvimento qualifica o país para a exploração de florestas plantadas, por meio do aproveitamento da sua biomassa, sem promover o desmatamento de florestas nativas (VIDAL e HORA, 2011).

A madeira de *Eucalyptus* se apresenta como grande alternativa para a produção de madeira nos próximos anos e a indústria já aposta na sua disponibilidade para os futuros suprimentos de matéria-prima (SILVA, 2005).

A utilização de madeira proveniente de florestas de *Eucalyptus* é uma das alternativas viáveis para o abastecimento de vários setores industriais, em especial a produção de energia e madeira para a indústria moveleira, de papel, celulose e outros. Para produtores rurais, a espécie é supridora de madeira para várias utilizações dentro das propriedades (energia, construções rurais, cercas, postes) e fonte de receitas.

Em Santa Catarina existem poucas espécies de *Eucalyptus* adaptadas ao clima frio predominante nas principais regiões produtoras do estado, localizadas na região serrana do sul do estado, parte da região oeste e Planalto Norte do estado.

O *Eucalyptus dunnii* Maiden é uma das espécies tolerantes ao frio e atualmente é das mais plantadas para a produção de energia no Estado de Santa Catarina, substituindo gradativamente as florestas de Pinus no Estado, segundo a Associação Catarinense de Empresas Florestais (ACR), 2014).

Apesar da grande importância desta espécie, a mesma é muito carente de pesquisas e informações, que orientem produtores e empresas florestais, tanto nos aspectos silviculturais, como de produção em geral.

Neste trabalho procura-se ocupar lacunas desta carência, como a capacidade de se prever as futuras produções de florestas plantadas de *Eucalyptus dunnii*, com o desenvolvimento de um simulador de crescimento e produção, capaz de prever o crescimento volumétrico e a produção por sortimento, conforme a capacidade produtiva dos sítios florestais, presente no Capítulo I.

No capítulo II foram estudadas as alternativas de manejo florestal para a produção de *Eucalyptus dunnii*, tornando a espécie produtora de multiprodutos para diversos setores industriais, analisando também a viabilidade econômica dos regimes.

O Brasil está evoluindo no desenvolvimento de tecnologias para a utilização da biomassa como fonte geradora de energia, porém, ainda enfrenta problemas na qualidade da matéria prima para uso industrial, principalmente o alto teor de umidade que influencia consideravelmente o poder calorífico e a combustão.

No Capítulo III a umidade da madeira de *Eucalyptus dunnii* é estudada, conjuntamente com as estratégias entre as áreas de produção e armazenamento nos pátios industriais, visando aumentar o ganho econômico decorrente da perda de umidade da madeira. No final deste capítulo III foi realizada uma integração com os capítulos anteriores, estimando-se a área de produção necessária para atender os consumos industriais, baseado no simulador desenvolvido no Capítulo I e utilizando dados de custos de plantio e terras do Capítulo II.

Este tese procura romper barreiras disciplinares, buscando a interdisciplinaridade nos temas estudados, pois nossa realidade não aceita fragmentação do conhecimento em áreas especializadas. Assim, tão importante quanto prever ou quantificar volumes de florestas, é realizar práticas de manejo florestal capazes de melhorar a renda dos produtores, utilizando a madeira produzida dentro de características tecnológicas que permitam os melhores retornos econômicos.

3 OBJETIVO GERAL

- Desenvolver um simulador de crescimento e produção de *Eucalyptus dunnii* Maiden;
- Avaliar as alternativas de manejo florestal e rentabilidades econômicas de *Eucalyptus dunnii* Maiden;
- Definir estratégias de secagem de lenha energética de *Eucalyptus dunnii* Maiden.

4 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Construir equação de sítio para *Eucalyptus dunnii*;
- Ajustar equações de volume e de afilamento;
- Validar sistema de prognose e produção;
- Levantar custos de produção e de mercado para *Eucalyptus dunnii*;
- Simular regimes de crescimento e produção, para densidades de 2.000; 1.600 e 1.333 árvores.ha⁻¹.
- Avaliar os resultados econômicos de regimes alternativos, com e sem desbastes;
- Ajustar equação de perda de umidade da madeira de *Eucalyptus dunnii* em função do tempo;
- Determinar o poder calorífico e a densidade energética de *Eucalyptus dunnii*;
- Definir estratégias de secagem de lenha de ao ar livre de *Eucalyptus dunnii*.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO CATARINENSE DE EMPRESAS FLORESTAIS (ACR). **Anuário Estatístico Base Florestal para o Estado de Santa Catarina**. Lages: ACR. 2014. 92 p.

GOVERNO DO ESTADO DE SANTA CATARINA. **Balanco Energético de Santa Catarina: Setor Industrial: Ano Base 2006 – 20012**. Florianópolis: UFSC/LabCET, 2014. 67 p.

NOGUEIRA, L.A.D.; LORA, E.E.S. **Dendroenergia: Fundamentos e Aplicações**. 2ª. Ed. Interciência: Rio de Janeiro, 2003. 199 p.

SILVA, J. C. Cresce presença de eucalipto no Brasil. **Revista da Madeira**, n. 92, 2005.

VIDAL, A.; HORA, A.B.. Perspectivas do setor de biomassa de madeira para a geração de energia. **BNDES Setorial**, n. 33, mar. 2011, p. 261-314, 2011.

**CAPÍTULO I - PROGNÓSE DE CRESCIMENTO E PRODUÇÃO DE
Eucalyptus dunnii Maiden**

RESUMO

O objetivo do trabalho foi desenvolver um simulador de crescimento e produção de *Eucalyptus dunnii* Maiden, denominado SisDunnii. Os dados para a construção foram originários da região de Rio Negrinho (SC) de 749 parcelas de inventário florestal contínuo. Também foram cubadas 509 árvores. O *software* foi desenvolvido em parceria com a EMBRAPA Florestas e possibilita a prognose de produção da floresta, em qualquer idade, além de possibilitar simulações de qualquer tipo de regime de manejo. Foram ajustadas equações de mortalidade, função de distribuição de diâmetros, equação de volume, equação de sítio e função de forma. Para a validação, foram utilizadas 184 parcelas que não participaram do ajuste do simulador. O simulador mostrou-se viável para a estimativa dos resultados de crescimento e de produção da espécie *Eucalyptus dunnii*, para as variáveis diâmetro à altura do peito (DAP), altura média, altura dominante e número de árvores. Na estimativa do volumes dos povoamentos diferença aritmética em porcentual foi de 2,85%. Também apresentou coeficiente de determinação de 98,19, erro padrão foi de 15,56 m³.ha⁻¹ e em porcentual 7,71% em relação a média do volume existente.

Palavras chave: eucalipto; modelagem florestal; simulação; SisDunnii; software florestal.

ABSTRACT

The objective of this work was to develop a simulator for growth and production for *Eucalyptus dunnii* Maiden called SisDunnii. The data for the construction were originating in the region of Rio Negrinho (SC) of 749 inventory plots continuous forest. 509 trees were also cubed. The software was developed in a partnership with EMBRAPA Florestas and can predict the growth and forest production, at any age. It also uses a thinning simulator, allowing simulate and test any management regime. Were adjusted equations of mortality, distribution function of diameters, equation for volume, equation of site index and taper function. For the validation, were used 184 plots that did not participate in the adjustment of the simulator. The simulator proved viable to estimate the growth of data and production of *Eucalyptus dunnii*, with variable diameter, average height, dominant height and number of trees. To estimate the volumes of stands arithmetic difference in percentage was 2.85 %. Also presented determination coefficient of 98.19, standard error was 15.56 m³ .ha⁻¹ and in percentage 7.71% in relation to the average of the existing volume.

Key words: Eucalyptus; forest modeling; simulation; SisDunnii; forestry software.

1 INTRODUÇÃO

A espécie *Eucalyptus dunnii* Maiden é uma das mais importantes para a região Sul do Brasil, aliando bom potencial produtivo e resistência a geadas.

Os dados do anuário estatístico de base florestal da Associação Catarinense de Empresas Florestais (ACR) (2014), mostram uma área plantada de *Eucalyptus* de 106.600 ha, a maioria dos plantios localizados na região do Planalto Sul, Planalto Norte e Oeste. Também é destacado o crescimento da área plantada com *Eucalyptus* no estado, com taxa de crescimento ao redor de 8% ao ano.

Esta área plantada foi implantada para suprir as demandas estaduais por madeira para diversos segmentos industriais. Como a maior parte desta área plantada está situada em regiões de clima frio (ASSOCIAÇÃO CATARINENSE DE EMPRESAS FLORESTAIS (ACR), 2014), estima-se que espécie *Eucalyptus dunnii* deva ocupar área significativa de plantio

Isto evidencia a importância desta espécie para o Estado de Santa Catarina e em extensão para todo o Sul Brasileiro, onde também ocupa grandes áreas no Estado do Rio Grande do Sul e Paraná.

Apesar de toda esta importância estratégica, faltam pesquisas sobre a espécie em geral, importantes para o produtor florestal e para as empresas consumidoras de matéria prima, especialmente das expectativas de produção e produtividade esperadas.

Neste capítulo é relatado a pesquisa para o desenvolvimento de um simulador de crescimento e produção, capaz de prever o crescimento volumétrico conforme a capacidade produtiva de diversos sítios florestais. O simulador foi desenvolvido em parceria com a unidade da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), Centro Nacional de Pesquisas de Florestas, localizado em Colombo, Estado do Paraná.

O simulador recebeu a denominação “SisDunnii: Simulador de Crescimento e Produção de Plantações de *Eucalyptus dunnii*”, licenciado para a EMBRAPA Florestas, utilizando a mesma base de programação e desenvolvimento de outros simuladores da EMBRAPA, descritos por OLIVEIRA (2011).

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 MODELOS DE CRESCIMENTO E PRODUÇÃO

Um modelo de crescimento deve auxiliar pesquisadores e gestores florestais na capacidade de prever os rendimentos futuros e explorar as diversas opções de gerenciamento e alternativas silviculturais (VANCLAY, 1994).

Um modelo de produção é um sistema lógico de expressar o crescimento ou incremento (acréscimo do elemento dendrométrico considerado) e a respectiva produção florestal (crescimento acumulado). Um modelo pode expressar diferentes sistemas silviculturais e diferentes níveis de complexidade, podendo representar populações de florestas plantadas, desbastadas ou não, e florestas nativas de diferentes idades, homogêneas ou mistas (SCOLFORO, 1998).

O crescimento ocorre quando se tem um acréscimo nas dimensões (altura, diâmetro, área basal, volume) ou no valor de um sistema orgânico (árvores individuais ou povoamentos), enquanto a produção é relacionada ao seu tamanho final após um período definido de observação. A curva (ideal) de crescimento mostra um aumento progressivo e uma diminuição depois de um ponto de inflexão. O crescimento e o incremento (FIGURA 1) são ligados matematicamente: se y for o crescimento, a derivação dy/dt é o incremento (SPATELF e NUTTO, 2000).

Os modelos de crescimento e produção tentam representar a dinâmica da floresta através de um conjunto de equações matemáticas (VANCLAY, 1994).

O modelo biológico de Chapmann e Richards foi desenvolvido a partir dos estudos de Richards (1959), com uma função de crescimento de animais desenvolvida por Von Bertalanffy (1951), que permitiu uma generalização das funções de crescimento Monomolecular, Logística e Gompertz (SCOLFORO, 1998).

Chapmann (1960) em estudo de crescimento de peixes chegou as mesmas conclusões de Richards. Esta função foi introduzida no meio florestal, batizada de modelo de Chapmann e Richards (SCOLFORO, 1998; MAESTRI, 2003).

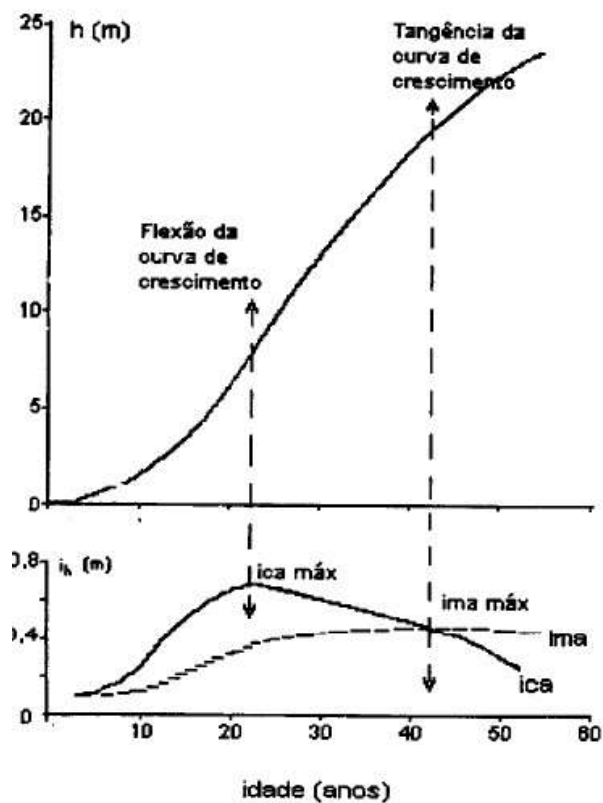


FIGURA 1 – CURVAS DE CRESCIMENTO E INCREMENTO
 Fonte: SPATELF e NUTTO, 2000

3 A PROGNOSE DE PRODUÇÃO

Vanclay (1994) descreve um modelo de crescimento como uma forma de abstração da dinâmica natural que ocorre na vida de um povoamento florestal, abrangendo vários aspectos de crescimento, mortalidade, e outras mudanças em sua estrutura. Normalmente estes modelos são constituídos a partir de um sistema de equações, capazes de prever o futuro crescimento e produção de um povoamento florestal, sob uma ampla variedade de condições.

Os modelos de crescimento podem compreender uma série de equações matemáticas, dotados de certa lógica, resultando em tabelas de produção e curvas, representando o aumento das dimensões de um ou mais indivíduos de um povoamento florestal, ao longo de um determinado período (VANCLAY, 1994).

Um modelo de crescimento pode ser considerado uma maneira lógica de expressar o crescimento, podendo ser caracterizado por gráficos e tabelas, por uma equação ou conjunto de equações (SCOLFARO, 1998).

Os modelos de crescimento podem ser classificados de diversas maneiras dependendo das variáveis envolvidas:

- Modelo de estimativas ao nível de 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.

Os modelos de produção normal foram desenvolvidos na Alemanha no século XVII, para florestas naturais em povoamentos com densidade normal, bastante estocados e sem desbastes. Estes modelos geram tabelas de dupla entrada, onde o volume é função da idade e do sítio. Este tipo de tabela não é aplicado no caso de povoamentos manejados (SCOLFORO, 1998).

Os modelos empíricos são semelhantes aos de produção normal. Não consideram a biologia da espécie na predição do crescimento. Aplicam-se a povoamentos completamente estocados (copas das árvores cobrem mais de 100% da superfície do terreno) ou a povoamentos sub estocados (copas das árvores cobrem menos de 100% da superfície do terreno), considerando a densidade média do povoamento (SCOLFORO, 1998).

Os modelos de produção de densidade variável relacionam a produção como dependente de sítio, idade e da densidade, tratada como uma parte dinâmica do sistema de equações e não uma constante. Seu uso se adequa a povoamentos submetidos a desbastes, com diferentes áreas basais remanescentes (SCOLFORO, 1998; CAMPOS E LEITE, 2009).

Os modelos de produção por classe diamétrica utilizam os diâmetros distribuídos em classes e consideram as informações das equações que estimam a altura média por classe de diâmetro, o volume e/ou função de forma individual, para o cálculo da produção por classe e por área (SCOLFORO, 1998; CAMPOS E LEITE, 2009).

Nos modelos de crescimento para árvores individuais, a unidade básica de modelagem é a árvore (SANQUETA, 1996). Consideram o crescimento em diâmetro de árvores, expresso como incremento em diâmetro ou em área basal, bastante correlacionado com o crescimento em volume atingido por uma árvore (VANCLAY, 1994). Alguns modelos dependem da distância entre as árvores (CLUTTER *et al.*, 1983; SCOLFORO, 1998).

A estimativa de produção pode ser feita a partir de atributos em nível de povoamento, como: idade, área basal e índice de sítio local. Como exemplo, Campos e Leite (2009), mencionam modelos de densidade variável, que usam a densidade como uma das variáveis do sistema de equação.

Os modelos de crescimento e produção podem estimar a produção e o crescimento cumulativo como uma função da idade inicial do povoamento, da área basal inicial, do índice de sítio local e da idade futura. Quando a idade futura é igual à idade atual, o modelo de projeção é reduzido a um modelo convencional de produção. Assim, ele é simultaneamente um modelo de produção para condições atuais e um modelo de projeção ou crescimento para condições futuras (SANTANA *et al.*, 2005

O modelo de Clutter é o modelo mais difundido no Brasil para se estimar crescimento e produção (CAMPOS e LEITE, 2009), utilizado por diversos autores para estimar produção em diferentes espécies e sistemas silviculturais, como Santana *et al.* (2005); Couto, Bastos e Lacerda (1989); Retslaff (2010); Soares *et al.* (2003) e Da Cruz *et al.* (2008).

O modelo de Clutter pode expressar a produção em função das idades atual e futura, do índice de sítio do local e das densidades atual e futura (CAMPOS E LEITE, 2009). Possui algumas características, como de ser um modelo do tipo povoamento total, estimando o volume por unidade de área, independente das dimensões das árvores, e de também de densidade variável, permitindo estimar a produção para diferentes níveis de área basal inicial. (CAMPOS E LEITE, 2009).

Um simulador de produção florestal, segundo Sanqueta (1996), deve ser desenvolvido para uso em aplicações práticas, sendo mais uma ferramenta útil para o manejo da floresta em várias aplicações, seja na predição (projeção ou prognose) da produção florestal, na simulação das intervenções a serem realizadas na floresta ou na indicação da opção ótima de manejo florestal.

O sistema computacional denominado SIsPinus é atualmente o sistema de prognose mais utilizado para prognosticar o crescimento das espécies *Pinus taeda* e *Pinus elliottii*, utilizando função probabilística e modelos de classe de diâmetros (EISFELD, 2004).

O SisPinus propicia uma adequada prognose do crescimento e da produção de florestas de Pinus, utilizando distribuição probabilística denominada S_{BB} Johnson, que tem como característica principal o uso de duas variáveis, diâmetro e Altura. (OLIVEIRA, 1995).

O *software* utiliza também funções de afilamento para cálculo do volume total e do volume de madeira para usos múltiplos (OLIVEIRA, 1995).

Os programas do sistema denominado de SIS, como o SisPinus e SisEucalipto, são amplamente utilizados no Brasil, permitindo a simulação de desbastes em florestas plantadas, com previsão de crescimento e produção anual do povoamento e o sortimento de madeira por classe de diâmetro para uso múltiplo, a ser retirado dos desbastes programados e no corte final (OLIVEIRA, 2014).

3 ATRIBUTOS PARA A PROGNOSE E CRESCIMENTO

4.1 Modelos de Mortalidade

A mortalidade é um dos parâmetros principais que determinam mudanças nas populações arbóreas, devendo estar presente na predição do crescimento (DÍAZ e COUTO, 1999).

São muitos os modelos de mortalidade utilizados na estimativa em povoamentos e em árvores individuais, entre eles a função logística, função logística modificada, modelo baseado na função de Weibull, função exponencial negativa, modelo baseado na função de Richards, modelo linear, modelo McDill-Amateis, Modelo de Piennar e Schiver (MARTINS, 2011).

O modelo Binomial Negativo se mostrou bastante eficiente na estimativa da mortalidade das árvores, fornecendo importantes dados para os futuros planos de manejo florestal (DÍAZ e COUTO, 1999).

A distribuição binomial negativa de acordo com Bliss (1953), também relatada por Oliveira, Machado e Figueiredo Filho (1998), pode ser descrita por:

$$P(x) = \frac{(K+x-1)!}{x! (k-1)!} (1 + m/k)^{-k} (m/m+k)^x$$

Em que,

X= número de árvores mortas;

P(X) = Probabilidade da existência de “x” árvores mortas

K= parâmetro referente à taxa de mortalidade

M= altura média das árvores

As estimativas dos parâmetros são obtidas pela expressão:

$$K = m^2 / S_x^2 - m$$

Em que:

M= média aritmética;

S_x^2 = Variância amostral.

As estimativas de mortalidade podem ser relacionadas com o índice de sítio (IS), segundo Oliveira, Machado e Figueiredo Filho (1998),

4.2 Modelos de Distribuição Diamétrica

Em florestas plantadas a distribuição diamétrica é a base para a prognose (SCOLFORO, 1998). Os modelos de distribuição por classe de diâmetros permitem a predição do porte das árvores do povoamento, facilitando o planejamento da produção florestal e as simulações futuras, de acordo com o regime de manejo adotado (TEMPS, 2005), ocupando um lugar de destaque na modelagem de crescimento e produção florestal (OLIVEIRA, 1995).

A estrutura diamétrica se realiza através de distribuições matemáticas, denominadas de função de probabilidade (fdp), que permitem descrever as alterações ocorridas na estrutura do povoamento, nas relações hipsométricas e nas taxas de mortalidade (SCOLFORO, 1998).

As distribuições mais comumente utilizadas são as distribuições Gamma, Lognormal, Beta, SB Johnson, S_{BB} de Johnson, Weibull, Exponencial e Normal (SCOLFORO, 1998). Estas distribuições são amplamente utilizadas para a descrição dos diâmetros em povoamentos florestais (OLIVEIRA, 1995).

O modelo de Weibull apresenta flexibilidade para assumir diferentes formas de assimetria, muito apropriada para ajustes de dados em diferentes locais, que o torna um dos mais empregados entre os modelos de distribuição diamétrica (WENDLING, 2007).

FELDE (2010) utilizou a função Weibull com dois parâmetros para a espécie *Eucalyptus dunnii*, alcançando bom ajuste na frequência por classe diamétrica. A mesma função também foi utilizada por SCOLFORO (1992) em *Pinus caribaea*.

Para ajustes com *Eucalyptus grandis*, Glade (1986) utilizou diversas funções probabilísticas, com melhores resultados para as funções Weibull, SB e Beta.

Cunha Neto *et al.* (1994) utilizou a função de Weibull com três parâmetros, para representar a distribuição diamétrica em diferentes idades, densidades e classes de produtividade de sítios, para a predição presente e futura de *Eucalyptus grandis*.

Silva *et al.* (2009) realizou prognose de produção presente e futura de *Eucalyptus camadulensis* Dehnh, com uso da distribuição S_b de Johnson.

A função de Weibull foi ajustada pelo método dos percentis, na distribuição diamétrica de *Eucalyptus urophylla* (S.T. Blake) na região Norte do Estado de Goiás, segundo Miguel (2009).

Também Retslaff *et al.* (2012), relata o uso da função de densidade de Weibull, para gerar a distribuição diamétrica de *Eucalyptus grandis* submetidos a desbastes.

O ajuste de funções probabilísticas Beta, Weibull e S_b é relatado por Abreu *et al.*(2002), para prognose de *Eucalyptus grandis*. A prognose da produção de *Eucalyptus camaldulensis* Delnh utilizou a distribuição diamétrica Função S_B de Johnson ajustada pelo método dos momentos (SILVA *et al.*, 2009).

4.2.1 Distribuição S_{BB} Johnson

A função com distribuição bivariada, denominada S_{BB} Johnson, apresenta bastante flexibilidade e eficiência para a descrição das características dos povoamentos em diferentes idades, alcançando também sucesso na obtenção da estimativa conjunta de diâmetros e alturas das árvores de plantios de *Pinus taeda* (OLIVEIRA, 1995).

Hafley, Smith e Buford (1982) descrevem a distribuição S_{BB} Johnson como uma técnica matemática para descrever a estrutura de suporte e projeção de rendimento para povoamentos desbastados e não desbastados. Apresenta como um diferencial para os programas de modelagem uma abordagem bivariada, envolvendo ajustes de altura e diâmetros nos desbastes.

Oliveira (2011) cita que a distribuição S_{BB} Johnson é baseada na distribuição SB, juntamente com a distribuição Normal bivariada.

Considerando o diâmetro (D) e a altura total das árvores (H), respectivamente tem-se:

que:

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

Considerando o D e H, como DAP e altura total das árvores, respectivamente, tem-se:

$$z_D = \gamma_D + \delta_D \ln\left(\frac{x_D - \xi_D}{\lambda_D + \xi_D - x_D}\right) \quad \text{e} \quad z_H = \gamma_H + \delta \ln\left(\frac{x_H - \xi_H}{\lambda_H + \xi_H - x_H}\right)$$

Considerando que Z_D e Z_H possuem distribuição Normal bivariada ρ .

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

Os parâmetros ξ_D e ξ_H representam respectivamente, os valores mínimos alcançados por D e H na população, λ_D e λ_H representam as amplitudes de D e H.

Os parâmetros não podem ser relacionados às características individuais do povoamento, mas sim pelas expressões:

$$\hat{\delta} = \frac{\lambda}{4\sigma_x} \quad \text{e} \quad \hat{\gamma} = \frac{2x_m - \xi - \lambda}{\lambda\delta} - \delta \ln\left(\frac{x_m - \xi}{\lambda + \xi - x_m}\right)$$

Sendo que:

$$\sigma_x = \text{desvio padrão de } X \text{ (} x=H \text{ ou } D \text{) e } X_m = \text{moda de } x.$$

Prossegue Oliveira (2011), comentando que o valor de X_m é definido pelo valor de x que satisfaz a seguinte expressão:

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

A distribuição S_{BB} passou a ser utilizada por Hafley *et al.* (1982) na construção de tabelas de produção para *Pinus taeda* não desbastados.

Posteriormente Hafley e Buford (1985) modificaram a distribuição para permitir a prognose de crescimento e produção de povoamentos com desbastes.

Oliveira (1995) comenta que os trabalhos de Hafley *et al.* (1982) e Hafley e Buford (1985), serviram para o desenvolvimento do Simulador do Crescimento e Produção de *Pinus elliottii* e *Pinus taeda*, que originou o Programa SisPinus.

A FIGURA 2 demonstra de maneira prática a abrangência da distribuição S_{BB} Johnson.

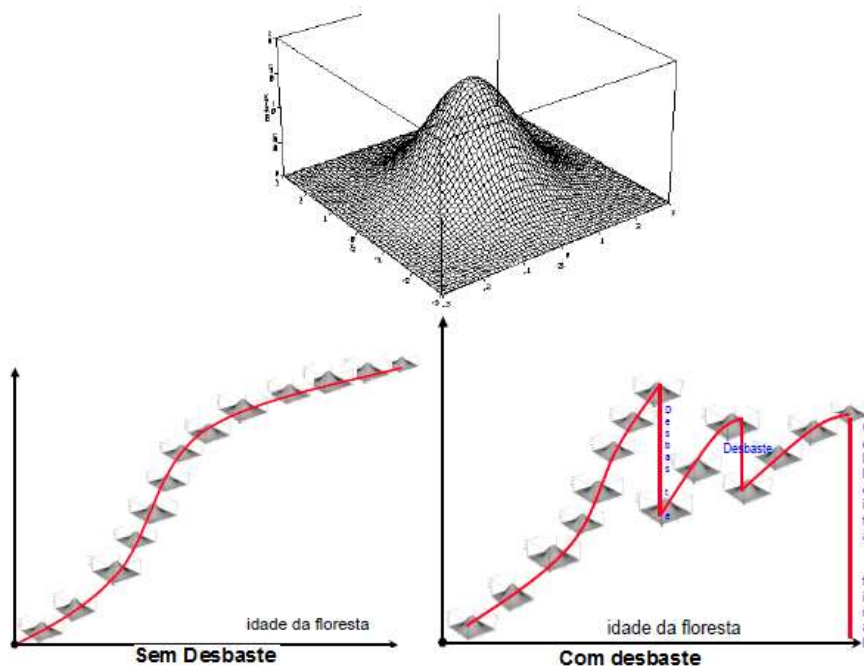


FIGURA 2 – ESQUEMA DE DISTRIBUIÇÃO BIVARIADA E SUA PROJEÇÃO
 Fonte: Oliveira (2011)

Hafley e Schreuder (1976) mostraram que a distribuição de diâmetro e altura oferecida pela distribuição S_B apresenta resultados mais consistentes que as distribuições Weibull, beta, gama, lognormal, e distribuições normais. A extensão bivariada das distribuições S_B e S_{BB} oferecem dados mais realistas, com maiores informações do que a abordagem tradicional.

Esta distribuição permite a geração de frequências bivariadas para diâmetro e altura. Mostra uma relação nova entre altura e diâmetro, comparado as mais comumente usadas nos ajustes de modelo de regressão para altura e diâmetro.

Poucos modelos cumprem a função da distribuição conjunta de diâmetros e alturas, como o modelo S_{BB} , um dos únicos publicados na literatura até o momento, como no exemplo de Wang, Upadhyay e Zhangm (2010), para ajustar dados de *Cunninghamia lanceolata* Cordeiro.

Zucchini, Schmidt e Gadov (2001) mostra que na distribuição bivariada de diâmetro e altura (FIGURA 3), é possível existirem duas subpopulações de árvores e que a relação altura e diâmetro podem diferir nestas subpopulações. A mais representativa subpopulação (com cerca de 80% do total) compreende árvores com maiores dimensões.

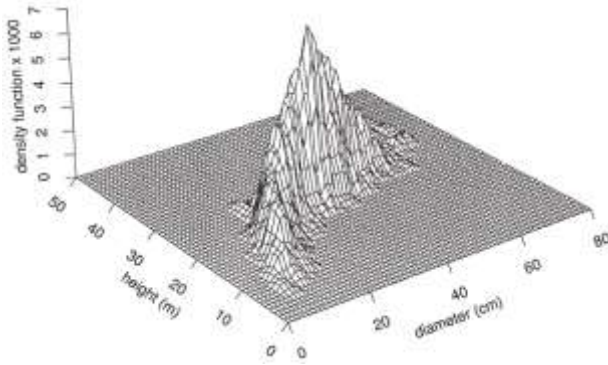


FIGURA 3 – PERSPECTIVAS DE FUNÇÃO BIVARIADA
 Fonte: Zucchini, Schmidt e Gadow (2001)

O ajuste da função bivariada S_{BB} foi relatado por Dorado, González e González (2001), permitindo modelar a relação altura e diâmetro para *Pinus pinaster* com maior exatidão do que os modelos tradicionais.

A mesma função com modificações, foi utilizada por Gorgoso Varela *et al.* (2009) em *Pinus pinaster*, com coeficiente de determinação de 91,46% e baixo erro padrão de 1,60 metros. Siipilehto (2000) estudou a comparação de dois métodos de previsão de diâmetro e altura das árvores de *Picea abies* K. e *Pinus sylvestris* L., com uso da distribuição S_{BB} Johnson e a distribuição bivariada de Johnson. As duas distribuições tiveram sucesso, porém, cita que o modelo S_{BB} traz a vantagem da descrição melhor das alturas.

A função S_{BB} se mostrou precisa para descrever a estrutura diamétrica e de alturas de *Pinus pinaster*, que indica que a relação desta função com variáveis de volume, são suficientes para obter tabelas de produção, com um modelo prático de predição da estrutura diamétrica de florestas, conforme Gorgoso Varela *et al.*, (2009).

Dorado, González e González (2001), citam que a função S_{BB} Johnson foi precisa na modelagem da relação diâmetro-altura de *Pinus pinaster*, com maior precisão em relação a alguns modelos mais tradicionais.

Tewaria e Gadowb (1999) descrevem que a distribuição bivariada S_{BB} Johnson é bem realista e fornece informações mais úteis do que a abordagem tradicional de descrever a relação entre diâmetro e altura de um povoamento.

A diferença é que a S_{BB} permite a geração de frequências bivariadas para diâmetros e alturas, enquanto que a abordagem atual produz apenas frequências marginais de diâmetros.

4.3 CLASSIFICAÇÃO DE SÍTIO

No crescimento de um povoamento florestal, as variáveis que exercem grande influência são a idade, a capacidade produtiva do local e a densidade de árvores (CAMPOS e LEITE, 2009).

A altura dominante é a variável dendrométrica mais utilizada para medir a qualidade do sítio, sendo menos influenciada pelos desbastes e pela densidade do povoamento (SCOLFORO, 1997).

Até que surjam métodos confiáveis que possam traduzir a influência dos fatores ambientais na produtividade, a altura dominante na idade de referência, ainda é universalmente aceito para se quantificar numericamente a potencialidade do sítio (CUNHA NETO *et al.*, 1994). O índice de sítio contribui para a medição qualitativa e quantitativa da floresta permitindo a classificação produtiva dos povoamentos (OLIVEIRA, OLIVEIRA e HAFLEY, 1990).

Com a determinação dos índices de sítio, pode-se comparar as tendências de crescimento em altura, servindo como subsídio na escolha de áreas para novos plantios e comprovar a necessidade de se fazer e utilizar diferentes tabelas de produção nesses locais, auxiliando na prognose de produção (TONINI *et al.*, 2002).

A capacidade de produção de determinada área pode ser expressa pelas curvas de índice de sítios, que avaliam o crescimento em altura de parcelas permanentes ou temporárias, ou ainda obtidas por análise de tronco (CLUTTER *et al.*, 1983; OLIVEIRA *et al.*, 1998).

O conhecimento do potencial do sítio de uma espécie auxilia o planejamento regional ou local da atividade florestal. O método de índice de sítio (baseia-se na altura das árvores dominantes na idade de referência) é utilizado em todo o mundo para definir a potencialidade dos sítios florestais. As curvas de índice de sítio são fundamentais para o planejamento da produção florestal (SCOLFORO E MACHADO, 1988).

Segundo Machado *et al.* (1997), a classificação de sítios é fundamental na estratificação dos povoamentos florestais, tanto para fins de inventário, como para fins de exploração, com base num rendimento sustentado, ou ainda para classificar as possibilidades e riscos para o manejo das florestas, sendo o sítio uma variável a ser considerada em planejamento local ou regional, de curto ou de longo prazo.

Existem diversos modelos lineares e não lineares para se efetuar o ajuste da altura dominante em função da idade do povoamento. Diversos autores fizeram uso destes modelos para elaboração de curvas de sítio para diversas espécies.

Miguel (2009) construiu curvas para índice de sítio para *Eucalyptus grandis* utilizando o modelo de Chapman & Richards. Felde *et al.* (2010) geraram uma tabela de altura dominantes para cada índice de sítio de *Eucalyptus dunnii*, na região Central do Paraná, com emprego da função de Chapman e Richards.

Vários autores elaboraram curvas de sítio para diversas espécies de *Eucalyptus*, como Tonini, Schneider e Finger (2006), Couto, Bastos e Lacerda (1989), Santana *et al.* (2005), Demolinari *et al.* (2007), Oliveira (2013) e Retslaff (2010).

4.4 EQUAÇÃO HIPSOMÉTRICA

A relação entre a variável altura e os diâmetros das árvores é uma relação controversa, porém de grande utilidade nas avaliações florestais, principalmente pela dificuldade e custo de se medir as alturas das árvores de grande porte e a margem de erro das estimativas (CAMPOS e LEITE, 2009). Quanto maior a uniformidade da população, maior a possibilidade da utilização dessa relação. Nos casos de povoamentos mais antigos ou mal conduzidos, a relação hipsométrica é menor, com baixa correlação entre o diâmetro e a altura das árvores (SCOLFORO, 1993).

Vários fatores que influenciam a relação hipsométrica, entre eles a idade das árvores, as condições de sítio, a densidade, a posição sociológica da árvore, o tamanho da copa e a espécie considerada. Avaliando a influência de tais fatores, é possível analisar a viabilidade de uma equação genérica que permita estimativas de altura para um conjunto de dados oriundos de povoamentos com características heterogêneas (CARDOSO *et al.*, 1989; SCOLFORO, 1993).

4.3 EQUAÇÕES DE VOLUME

A quantificação do volume de um povoamento requer ferramentas ou procedimentos, que permitam uma avaliação rápida e segura dos volumes individuais das árvores, com ou sem casca, e que tenha praticidade em seu uso (MACHADO *et al.*, 2008).

As equações de volume cumprem esta finalidade, permitindo o cálculo de volumes, com emprego de variáveis de fácil obtenção no campo, como o diâmetro à altura do peito (DAP) e da altura das árvores. Diversos modelos se prestam a esta finalidade, como os modelos de Spurr, Schumacher-Hal, Gordon, Brenac, Meyer e outros (CAMPOS e LEITE, 2009; SCOLFORO, 1993)

4.4 FUNÇÕES DE AFILAMENTO

Segundo Scolforo e Figueiredo (1998), a forma das árvores pode ser descrita como o afilamento natural que ocorre ao longo do tronco. Também chamada de conicidade, adelgaçamento, afilamento, taper, podendo ser expressa de forma absoluta ou relativa. A partir de uma função de afilamento ou de taper é possível estimar diretamente o diâmetro em qualquer altura do fuste (CAMPOS e LEITE, 2009).

A integral das funções de afilamento ou de taper, permite o cálculo do volume (SOARES; PAULA NETO; SOUZA, 2006; CAMPOS E LEITE, 2009). Permitem estimar o volume em qualquer altura ao longo do fuste, a partir das variáveis como o DAP e a altura total. Também se prestam a estimar a altura, onde um determinado diâmetro ocorre e o volume de partes do fuste, ou seja, quantificam os vários multiprodutos produzidos (CAMPOS E LEITE, 2009; SCOLFORO, 1993).

Diversos modelos são utilizados na representação do perfil do fuste, entre eles, modelo de Prodan, Kozack, Munro e Smith, Cluter, Demaerschalk, Max e Burkhart, Hadestzki e Schöpfer.

O polinômio de quinto grau, proposto por Schöpfer (1966), é um dos modelos mais utilizados no Brasil para o cálculo do volume por sortimento (MIGUEL, 2009), sendo a sua expressão matemática definida por:

$$\frac{d_i}{d_{1,3}} = \beta_0 + \beta_1 \left(\frac{h_i}{hf} \right) + \beta_2 \left(\frac{h_i}{hf} \right)^2 + \beta_3 \left(\frac{h_i}{hf} \right)^3 + \beta_4 \left(\frac{h_i}{hf} \right)^4 + \beta_5 \left(\frac{h_i}{hf} \right)^5 + e_i$$

Sendo que: β_1 ; β_2 ; β_3 ; β_4 ; β_5 = parâmetros a serem estimados;

d_i = diâmetro mensurado às diferentes alturas h_i ao longo do fuste;

$d_{1,3}$ = diâmetro a 1,30 m de altura;

hf = altura do fuste (m);

h_i = altura i (m) de um referido diâmetro;

e_i = erro de estimativa.

4.5 PESQUISAS SOBRE PROGNOSE DE PRODUÇÃO E CRESCIMENTO DE EUCALYPTUS

A prognose de produção deve gerar estimativas confiáveis da produção futura dos plantios florestais, bem como simular tabelas de produção. A precisão da prognose de produção é relativamente alta para espécies bem adaptadas, que apresentem elevada sobrevivência até o final da rotação, como a espécie *Eucalyptus dunnii* (FERRARI *et al.* 2005).

Atualmente existem poucos trabalhos disponíveis no Brasil sobre a modelagem de plantações de eucalipto, tendo como principal obstáculo a carência de dados (SANTANA, 2008).

As previsões volumétricas e a análise econômica podem subsidiar a tomada de decisões referentes à idade ótima de corte, nível de densidade de plantio, fertilizações minerais, reforma, etc. (COUTO, BASTOS E LACERDA, 1989).

A quantificação do volume sólido em povoamentos florestais é imprescindível para os planos de manejo sustentáveis das florestas. Porém se faz necessário o estudo do crescimento e da produção da espécie, para garantir a sustentabilidade destes recursos (MIGUEL, 2009).

Dois modelos de prognose de produção volumétrica de madeira foram testados para espécies do gênero *Eucalyptus* plantados no estado de São Paulo, destacando-se o modelo de Clutter para regimes de alto fuste. No sistema de condução da floresta por talhadia, o modelo das equações lineares simultâneas foi o que obteve melhor resultado (COUTO, BASTOS E LACERDA, 1989).

As estimativas de crescimento e produção do povoamento de *Eucalyptus urophylla*, localizado na Região norte do Estado de Goiás foi estudada por MIGUEL (2009). Pelos resultados analisados, o modelo de Trorey, foi considerado o mais confiável para a estimativa da variável altura total, bem como a altura comercial em função da altura total. Na estimativa do volume total e comercial com e sem casca, o modelo de simples entrada de Brenac se mostrou superior. Nos modelos de dupla entrada se destacou o modelo de Takata.

Na região de Misiones (Argentina), Barth *et al.* (2008) ajustaram o modelo de Curtis para crescimento em altura, modelo de Schumacher e Hal para volume individual por árvore, modelo de Clutter para área basal presente e futura, mesmo modelo utilizado para o volume presente e futuro, para a espécie *Eucalyptus dunnii*.

Ferrari *et al.* (2005) realizaram uma prognose para volumes individuais de árvores de *Eucalyptus*, utilizando o método de regressões sucessivas, na região Centro Sul do Paraná. A modificação na forma exponencial dos modelos, com a inclusão do volume na idade de três anos, e a expectativa de sobrevivência ao longo da rotação, demonstraram possibilidades de aplicação das regressões sucessivas. Os melhores resultados foram obtidos com o modelo de Chapman e Richards.

Pereira *et al.* (1986) observaram produção de até 203 m³.ha⁻¹ aos quatro anos e meio de idade, avaliando procedências de *Eucalyptus dunnii*, fato que destaca a espécie como uma das principais alternativas para o sul do País.

Santana *et al.* (2005) utilizaram o modelo de Clutter para a do volume de *Eucalyptus grandis* na região nordeste do Paraná.

Na prognose de crescimento podem ser incluídos variáveis ambientais, como a precipitação pluviométrica, temperaturas (máximas e mínimas) e evapotranspiração. O ambiente influencia o crescimento dos povoamentos, sendo possível se ajustar os modelos biométricos combinados com dados de variáveis climáticas (TEMPS, 2005; MAESTRI, 2003).

O comportamento das variáveis do povoamento (área basal, altura, diâmetro e outras) foi estudado por Demolinari *et al.* (2007), em espécies de *Eucalyptus* no Estado do Pará, verificando-se a estreita relação entre estas variáveis e a capacidade produtiva do local, apresentando diferentes taxas de crescimento ao longo do tempo.

O estudo de modelos de afilamento com polinomiais segmentados e não segmentados, utilizados na prognose presente e futura de sistemas agrossilvipastoris, em plantios de clones de *Eucalyptus*, foi pesquisado por Souza (2005), apresentando valores coerentes de volume nas diferentes idades.

Salles (2010) realizou modelagem de produção e crescimento de clones de *Eucalyptus* em sistema agroflorestal, com ajuste de modelo em nível de povoamento e modelagem a nível de árvore individual. Para o autor, ambos os sistemas são eficientes na estimativa do volume e área basal.

O desenvolvimento de um simulador de crescimento e produção de plantios não desbastados de *Eucalyptus dunnii* foi o objetivo da pesquisa de Felde (2010), com o uso de diferentes métodos de ajuste da função de probabilidade Weibull. A função Weibull com dois parâmetros foi ajustada por mínimos quadrados ordinários em dois estágios e pelo método dos mínimos quadrados, sendo o último considerado mais eficiente estatisticamente.

O *Softwares* do sistema denominado de SIS, como o SisPinus (para *Pinus elliottii* e *Pinus taeda*) e SisEucalipto (para *Eucalyptus grandis*), são amplamente utilizados no Brasil e outros países, permitindo a simulação de desbastes em florestas, com previsão de crescimento e produção anual do povoamento e o sortimento de madeira por classe de diâmetro para uso múltiplo dos desbastes programados e do corte final (OLIVEIRA, 2014).

Diversos outros autores realizaram estudos de prognose e crescimento para a espécie *Eucalyptus*, utilizando metodologias diversas, como Moraes e Silva *et al.* (2009), Miranda (2012), Santana (2008) e Carvalho (2010).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 LOCAL DE ESTUDO

Os dados para a construção do modelo de crescimento e produção de *Eucalyptus dunnii*, foram originários da região de Volta Grande, Sul do Município de Rio Negrinho, situado na região do Planalto Norte Catarinense. Na FIGURA 4, constam a área de estudo e as 07 áreas florestais envolvidas.

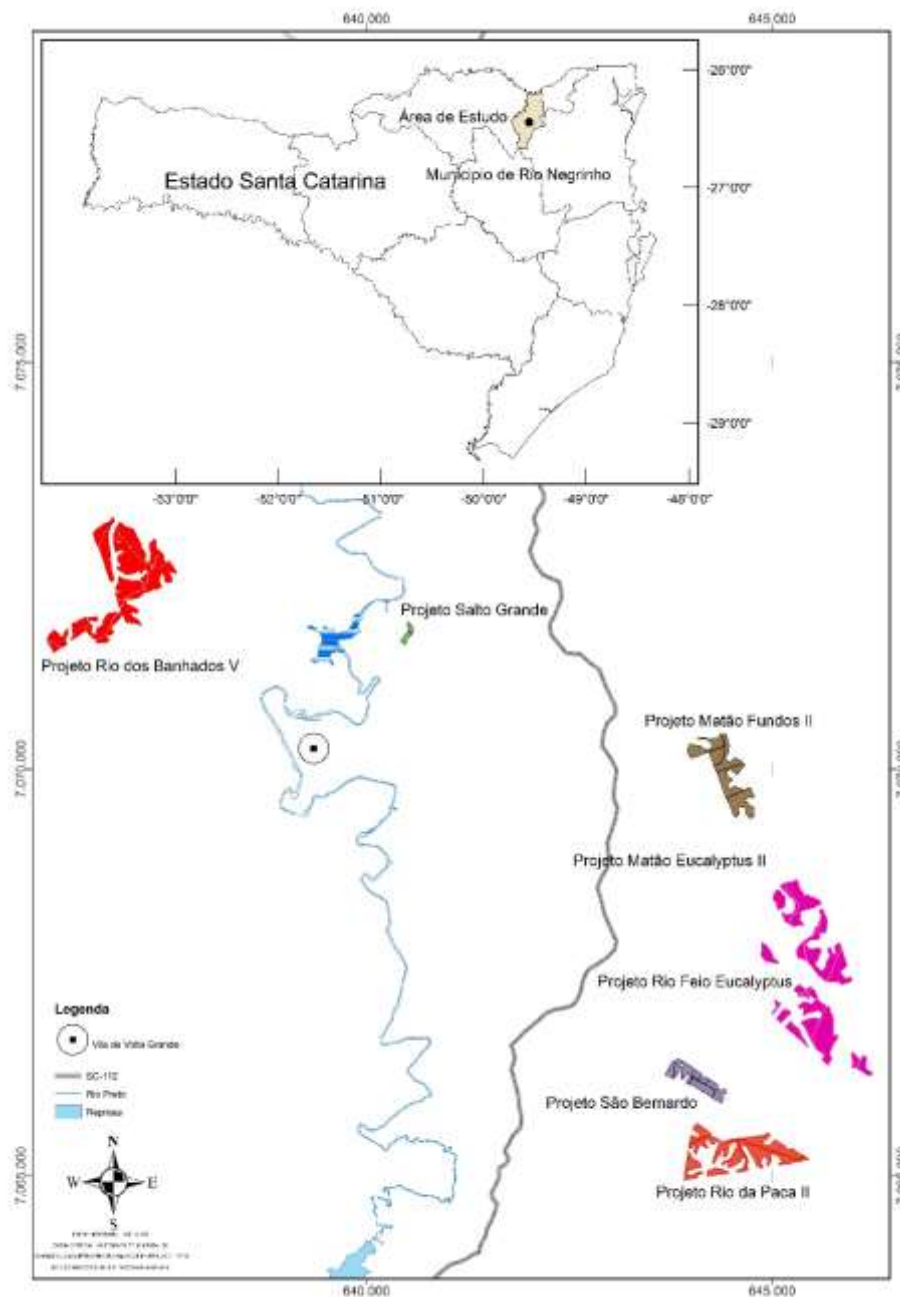


FIGURA 4 - REGIÃO DA COLETA DE DADOS E ÁREAS FLORESTAIS ESTUDADAS

3.1.1 Clima e Solos

A região é localizada no município de Rio Negrinho, região do Planalto Norte Catarinense, com altitudes que variam de 100 a 1300 metros, com cobertura original da Floresta Ombrófila Mista e Savanas. O clima é classificado como clima Cfb, segundo Köppen, ou seja, clima temperado constantemente úmido, sem estação seca, com verão fresco (temperatura média do mês mais quente menor que 22°C). A temperatura média anual fica entre 15,5°C a 17°C (EMPRESA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA E EXTENSÃO RURAL DE SANTA CATARINA (EPAGRI), 1999).

A precipitação pluviométrica total anual pode variar de 1.360 a 1.670 mm, com o total anual de dias de chuva entre 138 e 164 dias. A umidade relativa do ar pode variar de 80 a 86,2%. A ocorrência de geadas é de 5,4 a 14 ao ano. (EPAGRI, 1999).

Os solos da região de Volta Grande, são classificados predominantemente como Cambissolos, Neossolos e Nitossolos (PUNDEK, 2007).

Os Cambissolos tem como característica é de possuir um horizonte B incipiente em sequência ao horizonte superficial. Apresenta horizonte pouco profundo, de cor bruna ou bruno-amarelada, e de alta a baixa saturação por bases e atividade química da fração coloidal. Podem apresentar problemas de drenagem, mas normalmente são solos bem drenados. A textura é argilosa a muito argilosa. A estrutura é pouco desenvolvida. Os tipos mais característicos na região são o CAMBISSOLO HÁPLICO e o CAMBISSOLO HÚMICO. Apresentam bom potencial de produção agrícola (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA), 2006; PUNDEK, 2007).

Os Neossolos são solos pouco desenvolvidos, com horizonte A proeminente e sem horizonte B. Normalmente são solos de profundidade rasa, com textura argilosa a média. Ocorrem em relevos ondulados e não são hidromórficos (EMBRAPA, 2006). Os Neossolos que aparecem na região são das subordens NEOSSOLO REGOLÍTICO e NEOSSOLO LITÓLICO (PUNDEK, 2007).

Os Nitossolos são solos com perfis variando de profundos ou pouco profundos, textura argilosa, com horizonte B bem desenvolvido, bem drenados. Apresenta cerosidade intensa ou moderada, de coloração avermelhada escura ou amarronzada e são apropriados para o uso agrícola. Na região a predominância é do NITOSSOLO HÁPLICO (EMBRAPA, 2006; PUNDEK, 2007).

3.2 DADOS DE INVENTÁRIOS SUCESSIVOS

3.2.1 Dados das Parcelas

Na construção do modelo de crescimento e produção, foram utilizados dados de 07 áreas florestais distintas, com dados de 749 parcelas de inventário florestal, com 06 medições sucessivas, com área média por parcela de 445 m², totalizando 333.431,62 m² ou 33,34 ha de área amostrada, conforme dados do QUADRO 1.

QUADRO 1 – ÁREAS FLORESTAIS E DADOS DA PESQUISA

Área Florestal	Número de Parcelas							Número Parcelas	Área Total das Parcelas (m ²)	Área (ha)
	INV I	INV II	INV III	INV IV	INV V	INV VI	INV VI			
	dez/10	abr/11	ago/11	fev/12	ago/12	fev/13	Out/13			
Rio Feio	30	30	30	30	30	30	30	210	84.092,40	8,41
Matão II	13	13	13	13	6	-	-	58	23.184,34	2,32
Matão Fundos	9	9	-	-	-	-	-	18	7.195,14	0,72
Rio da Paca	19	19	19	19	19	19	19	133	53.258,52	5,33
Salto Grande	13	13	13	4	-	-	-	43	17.218,92	1,72
Rio Banhados V	37	37	37	37	37	37	35	257	102.913,08	10,29
São Bernardo II	20	20	20	20	20	14	-	114	45.569,22	4,56
TOTAL	141	141	132	123	112	100	84	833	333.431,62	33,34

Os seis inventários sucessivos foram realizados nas seguintes idades dos povoamento, conforme QUADRO 2.

QUADRO 2 – IDADE DOS INVENTÁRIOS SUCESSIVOS

Área Florestal	Levantamento (LEV) e Idade					
	INV I	INV II	INV III	INV IV	INV V	INV VI
Rio Feio	1,80	2,20	2,70	3,20	3,60	4,20
Matão II	8,83	9,33	9,83	10,25	10,70	-
Matão Fundos	9,83	10,33	-	-	-	-
Rio da Paca	1,08	1,42	1,83	2,33	2,75	3,25
Salto Grande	7,92	8,33	8,75	-	-	-
Rio Banhados V	3,83	4,25	4,75	5,08	5,58	6,08
São Bernardo II	4,92	5,42	5,75	6,17	7,50	8,08

3.3 INVENTÁRIO FLORESTAL

Sucintamente a metodologia utilizada no levantamento foi:

- As parcelas foram locadas de forma aleatória;
- As parcelas foram identificadas em mapas das áreas inventariadas;
- Todas as parcelas foram circulares, com marcação de todos os bordos identificados com tinta;
- Todas as parcelas tiveram pelo menos um marco georreferenciado;
- O DAP (diâmetro à altura do peito) foi medido a 1,30 metros do solo, com fita métrica;
- Foram coletadas em cada parcela, todas as alturas de uma linha inteira de árvores e as alturas das árvores dominantes;
- A altura dominante foi considerada a altura das cem árvores de maior diâmetro por hectare;
- As alturas foram colhidas com Hipsômetro Suunto.

3.3.1 Processamento dos dados dos Inventários Florestais

Todos os inventários florestais foram processados utilizando-se o Programa de processamento de inventário Florestal FSIGN, licenciado da empresa BRISA Consulting, de Curitiba (PR).

3.3.2 Cubagem Rigorosa

Para o ajuste de equação volumétrica e de sortimento utilizadas neste trabalho, foi efetuada a cubagem rigorosa de 509 árvores de *Eucalyptus dunnii*, em vários povoamentos, com idade entre 0,9 a 11 anos, cuja distribuição é mostrada na TABELA 1. As medições de diâmetro com casca, foram feitas nas secções relativas de acordo com a altura total das árvores. Com esta metodologia, calculou-se o volume real de cada árvore.

TABELA 1 – DISTRIBUIÇÃO DAS ÁRVORES DA CUBAGEM RIGOROSA

Idade (anos)	Árvores Cubadas
0,9 - 3,0	94
3,1-4,0	40
4,1-5,0	30
5,1-6,0	42
6,1-7,0	85
7,1-8,0	74
8,1-9,0	60
9,1-11,00	84
TOTAL	509

Depois de derrubada a árvore, foi feita a medição da altura total. A seguir foram medidos os diâmetros das seções conforme o percentual da altura total da árvore, pelo método de Hohenadl. Assim, foram medidos diâmetros nas seções a 0,5% da altura total e assim sucessivamente a 1% - 5% - 10% - 15% - 20% - 25% - 30% - 40% - 50% - 60% - 70% - 80% - 90% e 95% da altura total da árvore.

O volume foi calculado por meio da equação de Smalian, mostrada a seguir.

$$Vol = \frac{\pi}{4} \left[\left(\frac{D_0^2 + D_{10}^2}{2} \right) + D_1^2 + D_2^2 + \dots + D_9^2 \right] * \frac{Ht}{10}$$

Sendo que:

Vol = Volume total com casca (m³)

D₀, D₁, D₂, D₃D₁₀ = diâmetros nas respectivas alturas de 0 a 95% do fuste.

Ht = altura total (m)

π = constante pi (3,141592...)

O volume das árvores obtidos na cubagem foi utilizado para os ajustes da equação volumétrica e de afilamento.

3.4 SISTEMA DE PROGNOSE DE CRESCIMENTO DE *Eucalyptus dunnii*

3.4.1 Equação de Mortalidade

Devido à restrição do número de parcelas de inventário contínuo, que pode ser considerada pequena para a confiança no ajuste, foi utilizado uma equação de mortalidade para as espécies *Eucalyptus urograndis* e *Eucalyptus grandis* já ajustadas e presentes no simulador SisEucalipto da EMBRAPA. A base de dados das parcelas foi utilizada para aproximações com a base já existentes.

Na modelagem da mortalidade foi utilizada o modelo de mortalidade binomial negativa, também citada por outros autores, como Bliss (1953), Oliveira *et al.* (1998), Martins (2011) e Díaz e Couto (1999).

3.4.2 Ajuste da Distribuição Diamétrica

Em todas as parcelas foi realizada a classificação por diâmetro, de quatro em quatro centímetros, bem como estimada a altura média e o número de árvores por hectare, conforme exemplo da TABELA 2.

TABELA 2 - EXEMPLO DE CLASSIFICAÇÃO DE DIÂMETRO NAS PARCELAS

Classe Diâmetro (cm)	DAP Mínimo (cm)	DAP Máximo (cm)	Idade (anos)	HT média (m)	Árvores/ha
0 – 3,9	0	3,9	8,8	7,65	325
4 - 7,9	4	7,9	8,8	14,45	475
8 -11,9	8	11,9	8,8	0,00	175
12 -15,9	12	15,9	8,8	24,30	250
16 -19,9	16	19,9	8,8	26,55	300
20- 23,9	20	23,9	8,8	26,40	200
24 -28	24	28	8,8	29,25	50
TOTAL					1.776

O modelo de distribuição diamétrica foi ajustado pela equipe da EMBRAPA. Oliveira (2011) comentou que sistemas denominados de “Sis” foram construídos com base em distribuições probabilísticas. Assim, em vez de modelos de regressão convencionais, trabalhou-se com a projeção ano a ano da estrutura de cada floresta, envolvendo vários parâmetros simultaneamente.

Ainda segundo Oliveira (2011), as distribuições probabilísticas utilizadas foram a S_B e S_B bivariada (S_{BB}). A distribuição S_B descreve a distribuição marginal da variável diâmetro ou altura de árvores de um povoamento em diferentes idades e a S_{BB} descreve a distribuição conjunta destas variáveis.

Os dados de campo foram obtidos das 749 parcelas de inventários contínuos, o que possibilitou a obtenção das estimativas dos parâmetros da distribuição diamétrica.

A função de distribuição S_B é expressa por:

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

A construção da distribuição S_{BB} é baseada na distribuição S_B , juntamente com a distribuição Normal bivariada.

Considerando-se D e H, como o DAP e a altura total das árvores, respectivamente, tem-se:

$$z_D = \gamma_D + \delta_D \ln\left(\frac{x_D - \xi_D}{\lambda_D + \xi_D - x_D}\right) \quad \text{e} \quad z_H = \gamma_H + \delta_H \ln\left(\frac{x_H - \xi_H}{\lambda_H + \xi_H - x_H}\right)$$

Em que z_D e z_H têm distribuição Normal bivariada com correlação ρ .

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

Os parâmetros ξ_D e ξ_H representam, respectivamente, os valores mínimos de D e H na população; λ_D e λ_H representam as amplitudes de D e H. Os parâmetros γ_D , γ_H , δ_D e δ_H não podem ser relacionados à características individuais do povoamento florestal, mas sim através das expressões:

$$\hat{\delta} = \frac{\lambda}{4\sigma_x} \quad \text{e} \quad \hat{\gamma} = \frac{2x_m - \xi - \lambda}{\lambda\delta} - \delta \ln\left(\frac{x_m - \xi}{\lambda + \xi - x_m}\right)$$

Sendo que:

σ_x = desvio padrão de x (x= H ou D) e x_m = moda de x.

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

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

Para a elaboração do modelo de crescimento e produção, Oliveira (2011) relata que as estimativas dos parâmetros foram associadas através de funções ao número de árvores por hectare (S) e à altura dominante (H_D) ou idade do povoamento (TABELA 3), utilizando-se o modelo de Richards:

$$\text{Parâmetro de interesse} = f_1(S)\{1 - \exp[H_D f_2(S)]\}^{f_3(S)}$$

TABELA 3 - EQUAÇÕES PARA A ESTIMATIVA DOS PARÂMETROS DA DISTRIBUIÇÃO S_{BB}.

nº	Modelo
1.	$H_D = \exp\left\{a_1\left[(1/A)^{b_1} - (1/15)^{b_1}\right]\right\} IS$
2.	$H_m = H_D(a_2 + b_2 A)$
3.	$H_1 = H_D a_3 [1 - \exp(-b_3 A)]$
4.	$s_H = a_4 [1 - \exp(-b_4 A)]^{c_4}$
5.	$D_D = a_5 [1 - \exp(-b_5 H_D)]^{c_5}$
6.	$D_m = D_D a_6 [1 - \exp(-b_6 H_D)]$
7.	$D_1 = D_D a_7 [1 - \exp(-b_7 H_D)]^{c_7}$
8.	$s_D = a_8 [1 - \exp(1 - b_8 H_D)]^{c_8}$
9.	$\rho(Z_D, Z_H) = a_9 + b_9 \cos(c_9 H_D) + d_9 H_D$

Considerando que:

IS = Índice de sítio

H_D = altura dominante

A = idade do povoamento

D_D = maior diâmetro

H_m e D_m = moda das alturas e dos diâmetros

H_1 e D_1 = menor altura e menor diâmetro

s_H e s_D = desvios padrões das alturas e dos diâmetros

a_i , b_i e c_i ($i = 1, 2, \dots, 9$) são equações para cada parâmetro, que têm como variável dependente o número de árvores por hectare (S).

3.4.3 Equação de Sítio

A qualidade do sítio foi avaliada através da medição altura dominante (hdom), que considera as 100 árvores de maior diâmetro (DAP) por hectare. Em cada parcela foram medidas no mínimo 5 árvores dominantes, dependendo do tamanho da parcela. Estas foram identificadas na primeira medição e remedidas a cada inventário sucessivo.

Foram utilizados no cálculo da equação de sítio 833 pares de altura dominantes em diversas idades, obtidas das parcelas mensuradas, e testados modelos lineares e não lineares, mostrados na TABELA 4.

TABELA 4 – MODELOS TESTADOS PARA EQUAÇÃO DE SÍTIO PARA *Eucalyptus dunnii*

nº	Modelo	Equação
1.	Chapman e Richards	$hd = a. (exp (-b.I))^c + e_i$
2.	Schumacher	$LnHd = \beta_0 + \beta_1. \left(\frac{1}{I}\right) + e_i$
3.	Prodan	$Hd = \frac{I^2}{\beta_0 + \beta_1.I + \beta_2.I^2} + e_i$
4.	Popham	$Log Hd = \beta_0 + \beta_1. \frac{1}{I} + \beta_2. \frac{1}{I^2} + \beta_3. \frac{1}{I^3} + \beta_4. \frac{1}{I^4} + e_i$
5.	Smalley e Bower	$Log Hd = a * b. \sqrt{I} + e_i$
6.	Schumacher Modificado	$Ln Hd = \beta_0 + \frac{1}{I} + \beta_1. \frac{1}{I} + \beta_2. \frac{1}{I^2} + e_i$
7.	Spilmann	$Hd = a. (1 - EXP(-b.I)) + e_i$
8.	Curtis	$Hd = \beta_0 + \beta_1. \frac{1}{I} + e_i$
9.	Bailey e Clutter	$Ln Hd = \beta_0 + \beta_1. \left(\frac{1}{I}\right)^{\beta_2} + e_i$

Onde, Hd =Altura dominante (m); I= idade; Ln= logaritmo natural; log= logaritmo decimal; $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4, a, b, c$ + coeficiente dos modelos; e_i - erro de estimativa.

A seleção do melhor modelo se deu pela análise dos seguintes estimadores estatísticos:

a) Erro Padrão da Estimativa (Syx) absoluto e em percentagem (Syx %), indicando a proximidade dos valores estimados com os valores observados, calculado pelas seguintes fórmulas:

$$Syx_{recalculado} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_{obs} - y_{est})^2}{n - p}} \quad Syx (\%) = \frac{Syx}{V.100}$$

Onde:

Syx = Erro Padrão da Estimativa (em m³)

Syx %= Erro Padrão da Estimativa em %

Yobs = Volume observado (em m³)

Yest = Volume estimado (em m³)

n = número de dados

p = coeficientes de cada modelo.

b) Coeficiente de determinação ajustado (R²aj), quanto mais próximo de 1 melhor será, pois ele mostra o quanto as variáveis dependentes estão sendo explicadas pelas independentes, obtido com a seguinte fórmula:

$$R^{2aj} = 1 - \left[\left(\frac{S.Q.res.}{S.Q.total} \right) * \left(\frac{n-1}{n-p} \right) \right]$$

Onde;

SQres = soma dos quadrados dos resíduos

SQtotal = soma dos quadrados total

n= número de observações

p= número de coeficientes do modelo matemático

c) Análise gráfica do comportamento dos resíduos.

Para a construção das curvas de índice de sítio, foi considerada a idade de referência 7 anos, mais próxima ao corte raso para produção de energia.

O distanciamento entre as curvas foi obtido entre os valores máximos e mínimos na idade de referência, que neste caso foi de 7 anos. Os intervalos de curvas foram de 5,5 metros de altura na idade índice, adotando-se a classificação de sítio com uso de números romanos (I, II, III e IV, do melhor ao pior sítio).

Para as equações em que a variável dependente teve transformação logarítmica, antes de proceder ao recálculo, aplicou-se o fator de correção de Meyer (FM), descrito abaixo.

$$FM = e^{0,5.Syx^2}$$

Onde, FM = Fator de Meyer

e = 2,718281828 (log natural)

Syx = erro padrão da estimativa (m³).

3.4.4 Cubagem Rigorosa

Foi realizada a cubagem de 509 árvores, distribuídas pelas classes de diâmetro constante da TABELA 5.

TABELA 5 – DISTRIBUIÇÃO DAS ÁRVORES CUBADAS POR CLASSE DE DIÂMETRO

Classificação Diamétrica (cm)	Árvores Cubadas (nº)	%
Até 4,9 cm	81	15,91
5 - 9,9 cm	144	28,29
10 - 14,9 cm	139	27,31
15- 19,9 cm	82	16,11
20 - 24,9 cm	42	8,25
25 - 29,9 cm	19	3,73
Acima de 30 cm	2	0,39
TOTAL	509	100

3.4.5 Modelo Volumétrico

Foram avaliados nove modelos tradicionais na literatura florestal, para a escolha do melhor modelo volumétrico

Para a seleção do modelo volumétrico foi considerado o coeficiente de determinação (R²), o erro padrão da estimativa (Syx), o porcentual (Syx%) e a distribuição gráfica dos resíduos.

Nas equações logarítmicas, foi realizado o mesmo procedimento já descrito para equações de sítio. Nesse trabalho, foram ajustados os modelos constantes da TABELA 6.

TABELA 6 – EQUAÇÕES VOLUMÉTRICAS PARA ESTIMATIVA DO VOLUME COM CASCA

nº	Nome/Autor	Modelos
1	Naslund	$v = \beta_0 + \beta_1(d^2) + \beta_2(h.d^2) + \beta_3(h^2.d) + \beta_4(h^2) + \epsilon_i$
2	Meyer	$v = \beta_0 + \beta_1(d) + \beta_2(d^2) + \beta_3(h.d) + \beta_4(h.d^2) + \beta_5(h) + \epsilon_i$
3	Meyer	$v = \beta_0 + \beta_1(d) + \beta_2(d^2) + \beta_3(h.d) + \beta_4(h.d^2) + \epsilon_i$
4	Spurr	$v = \beta_0 + \beta_1.(d^2.h) + \epsilon_i$
5	Schumacher -Hall	$\log(v) = \beta_0 + \beta_1 (\log(d) + \beta_2 (\log(h) + \epsilon_i$
6	Logarítmica	$\log(v) = \beta_0 + \beta_1.\log(d) + \beta_2 \log(d^2) + \beta_3 1/(d) + \beta_4 \log(h^2) + \epsilon_i$
7	Logarítmica	$\log(v) = \beta_0 + \beta_1 \log(d) + \beta_2 \log(d^2) + \beta_3 \log(h) + \beta_4 \log(h^2) + \epsilon_i$
8	Gordon	$\ln(v) = \beta_0 + \beta_1 \ln(d) + \beta_2 \ln(h^2 / (h-1,30)) + \epsilon_i$
9	Hohenalldl - krenn	$v = \beta_0 + \beta_1 (h. d^2) + \epsilon_i$
10	Hohenalldl - krenn	$v = dap^2 / (\beta_0 + \beta_1.h) + \epsilon_i$
11	Logarítmica	$\ln v = \beta_0 + \beta_1 \ln d + \beta_2.\ln d^2 + \beta_3 \ln h + \beta_4 \ln h^2 + \epsilon_i$
12	Brenac	$\log v = \beta_0 + \beta_1 \log d + \beta_2.d + \epsilon_i$

Onde, V= Volume com casca (m³); d= DAP (cm); h= altura total (m); Ln= logaritmo natural; log= logaritmo decimal; $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4, \beta_5$ coeficiente dos modelos; ϵ_i - erro de estimativa.

3.4.6 Função de Afilamento

Foi utilizada como função de afilamento, o polinômio de quinto grau, um dos modelos mais difundidos para cálculo de volume por sortimento no Brasil (MIGUEL, 2009). É um modelo matemático que representa o perfil da árvore e possibilita a estimativa do diâmetro para qualquer altura ao longo do fuste (FIGUEIREDO; SCOLFORO; OLIVEIRA, 2006). Permite também por obter, por integração, o cálculo do volume total ou o volume de partes do fuste, sendo expresso por:

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

Onde:

d_i = diâmetros (cm) mensurados às alturas h_i ao longo do fuste;

DAP = diâmetro a 1,30 m à altura do peito (cm);

H = altura total (m);

$\beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4, \beta_5$ = parâmetros a serem estimados.

A função de afilamento foi transformada para $(1 - \frac{h_i}{H})$ através de cálculo integral, conforme Oliveira (2011).

3.4.7 Estimativa da Produção

O simulador denominado de “SisDunnii”, foi criado em conjunto com a EMBRAPA Florestas, utilizando a base dos simuladores “Sis”, descritos por Oliveira (2011).

3.4.8 Simulação dos desbastes

Com o simulador SisDunnii foi possível realizar as projeções de crescimento e produção, com a simulação ou não de desbastes.

3.4.9 Metodologia Utilizada para a Validação do Simulador

Foram utilizadas 184 parcelas de inventários de parcelas temporárias, distribuídas em várias classes de sítio, densidades iniciais e idades. Para cada área, foi calculada a média das variáveis diâmetro, altura, altura dominante, densidade, área basal e o volume total com casca.

Foi estimado o índice de sítio para cada parcela, a partir da média das alturas dominantes. Foi também pesquisado o número inicial de árvores plantadas e a época de plantio, importante para se conhecer a idade precisa dos povoamentos.

Assim pode-se realizar a simulação para cada área em particular até a idade desejada para a predição. O SisDunnii pode realizar a simulação a partir de idade conhecida do povoamento ou a partir da implantação.

A simulação no SisDunnii foi realizada na grande maioria dos casos, para a idade imediatamente superior ou inferior à idade do povoamento em estudo, calculando a variável por diferencial.

Para analisar as variáveis dendrométricas e o volume por área, utilizou-se o coeficiente de correlação (R^2) entre os valores observados e os valores estimados pelo simulador. O valor do R^2 indica a associação linear entre os resultados, ou seja, verificar nas populações estudadas a associação entre as variáveis de estudo (VEIGA e SÁFADI, 1999). Quanto maior o R^2 maior é a aproximação dos resultados.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 FUNCIONAMENTO DO SIMULADOR SISDUNNII

O *software* SisDunnii possui um processo ágil de entradas e integração dos dados. Para a realização correta das simulações o usuário deve conhecer todas as telas e opções técnicas, constante no “Manual do SisDunnii” no ANEXO 3.

4.2 FUNÇÃO DE MORTALIDADE

A função de mortalidade binomial negativa foi ajustada e incorporada ao simulador de crescimento e produção SisDunnii. Como exemplo, na TABELA 7 é mostrado os resultados da simulação da mortalidade da densidade inicial de 1600 árvores, com 95% de sobrevivência inicial.

TABELA 7 – NÚMERO DE ÁRVORES POR IDADE E MORTALIDADE (%) AOS 07 ANOS, CONFORME O ÍNDICE DE SÍTIO (IS)

Idade (anos)	Árvores.ha ⁻¹ por Idade e IS			
	IS 20,5	IS 26	IS 31,5	IS 37
1	1520	1520	1520	1519
2	1520	1520	1519	1516
3	1520	1519	1515	1507
4	1520	1516	1505	1493
5	1519	1509	1490	1473
6	1516	1497	1470	1450
7	1510	1478	1444	1423
Mortalidade (%)	94,38	92,38	90,25	88,94

Os dados comprovam que a mortalidade aumenta com a idade, sendo maior nos sítios mais produtivos em relação aos sítios de menor desenvolvimento, mesma constatação de Cunha Neto *et al.* (1994). A alta sobrevivência nos diferentes sítios numa rotação de 7 anos, com mínimo de 87,19 e máximo de 93,69%, confirma a pesquisa de Ferrari *et al.* (2005), que constatou alta sobrevivência de *Eucalyptus dunnii* aos sete anos, com densidade de 1.600 árvores.ha⁻¹, com sobrevivência de 97%.

4.3 EQUAÇÃO DE VOLUME

Com a cubagem de 509 árvores, foram ajustados 9 modelos de simples e dupla entrada, para a estimativa do volume total com casca. A TABELA 8 mostra os resultados dos coeficientes dos modelos.

TABELA 8 – MODELOS E COEFICIENTES DE EQUAÇÕES VOLUMÉTRICAS DE SIMPLES E DUPLA ENTRADA

nº	Modelos	Coeficientes					
		β_0	β_1	β	β_3	β_4	β_5
1	$v=b_0+b_1(d^2)+b_2(h*d^2)+b_3(h^2*d)+b_4(h^2)$	-0,0005	-1,21E-05	3,30E-05	0	2,20E-05	
2	$v=b_0+b_1(d)+b_2(d^2)+b_3(h*d)+b_4(h*d^2)+b_5(h)$	0,00761	0,000564	-0,0001	0,00016	3,20E-05	-0,0014
3	$v=b_0+b_1(d)+b_2(d^2)+b_3(h*d)+b_4(h*d^2)$	0,00761	0,000564	-0,0001	0,00016	3,20E-05	
4	$v=b_0+b_1.dap^2.h$	0,00274	3,36E-05				
5	$\log(v)=b_0+b_1(\log(d))+b_2(\log(h))$	-4,3017	1,954855	0,91761			
6	$\log(v)=b_0+b_1(\log(d))+b_2(\log(d^2))+b_3(1/(d))+b_4(\log(h^2))$	-4,126	1,645943	0,14603	-0,101	0,45476	
7	$\log(v)=b_0+b_1(\log(d))+b_2(\log(d^2))+b_3(\log(h))+b_4(\log(h^2))$	-4,194	1,736256	0,11415	0	0,45458	
8	$\ln(v)=b_0+b_1(\ln(d))+b_2(\ln(h^2/(h-1,30)))$	-10,332	1,939923	1,04831			
9	$v=b_0+b_1(h*d^2)$	0,00274	0,00003				
10	$v= d^2 / (b_0+b_1*h)$	-6E-05	0,000032				
11	$\ln v= b_0+b_1.\ln d+b_2.\ln d^2+ b_3*\ln h + b_4* \ln h^2$	-8,6857	2,01424	-0,0201	-0,0726	0,19093	
12	$\log v = b_0 * b_1*\log d+ b_2.d$	-3,597	2,064124	0,25919			

Na TABELA 9 constam os resultados estatísticos de ajuste e precisão para os modelos de estimativa do volume, e na FIGURA 6 a distribuição de resíduos dos modelos ajustados. Todas as 12 equações selecionadas demonstraram uma boa precisão e ajuste, com coeficientes de determinação ajustado (R^2 ajustado) entre 97,33 e 99% e a maioria com erro porcentual inferior a 11%.

TABELA 9 - RESULTADO DA ESTATÍSTICA DAS EQUAÇÕES DE VOLUME

nº	Nome/Autor	R ² (%) Ajustado	Syx (m ³)	Syx (%)
1	Naslund	99,01430	0,01659	10,89
2	Meyer	99,23647	0,01652	10,84
3	Meyer	99,23164	0,01657	10,88
4	Spurr	99,21119	0,01679	11,02
5	Schumacher -Hall	99,39353	0,01818	11,94
6	Logarítmica	99,40617	0,01743	11,45
7	Logarítmica	99,19188	0,01738	11,41
8	Gordon	99,43158	0,01680	11,03
9	Hohenaldl - krenn	99,21119	0,01679	11,02
10	Hohenaldl - krenn	93,65964	0,01701	11,17
11	Logarítmica	99,44957	0,10651	11,10
12	Brenac	97,33693	0,03746	19,85

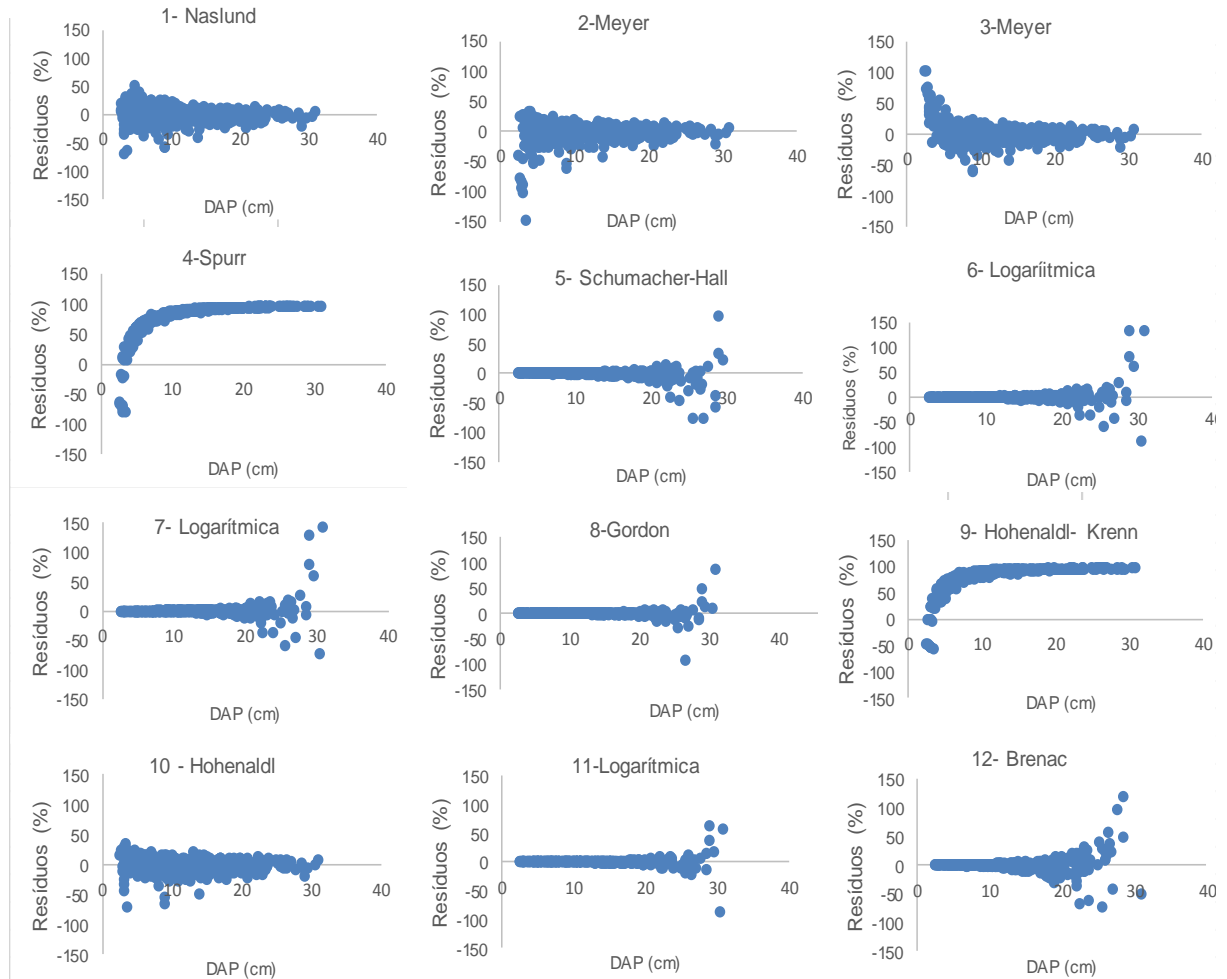


FIGURA 5 – DISTRIBUIÇÃO DE RESÍDUOS DE EQUAÇÕES VOLUMÉTRICAS

Na distribuição de resíduos, alguns modelos apresentaram clara tendência de superestimava dos volumes, como os modelos 4, 9 e 12. Outros modelos não tiveram distribuição uniforme de resíduos (2, 3, 8 e 10).

Os modelos 5, 6, e 7 apresentaram boa distribuição de resíduos até o limite de DAP de 20 cm, com distribuição dispersa após este ponto. As melhores distribuições, porém com algum tipo de imperfeição, ocorreram para os modelos 8 e 11.

A análise em conjunto do erro padrão da estimativa coeficiente de determinação ajustado ($R^2_{Aj.}$) e a boa distribuição de resíduos mais constante ao longo do eixo x, indicou como melhor modelo o nº8 (Gordon), resultando na equação:

$$\ln(v) = -10,33211 + 1,9299 \cdot \ln(d) + 1,9399 \cdot \ln(h^2) / (h-1,30)$$

Onde:

\ln = logaritmo natural

v = volume com casca (m^3)

d = diâmetro à altura do peito (cm)

h = altura total (m)

Para espécies de *Eucalyptus*, Santana (2005) utilizou o modelo de Schumacher modificado com R^2 ajustado de 98,5% e erro padrão de 6,1%. Miguel (2009) considerou o modelo de Brenac, como o melhor modelo a ser utilizado em estimativas volumétricas, com R^2 ajustado de 98,9% e Erro padrão de 13,37%. Schneider *et al.* (1997) ajustou um modelo logarítmico de Spurr, com 95% de R^2 ajustado.

Os resultados de R^2 ajustado e erro padrão da estimativa obtidos neste trabalho, foram superiores aos obtidos pelos autores citados, indicando boa precisão do modelo escolhido.

4.4 FUNÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO DIAMÉTRICA

A função de distribuição diamétrica ajustada foi a S_{BB} Johnson e incorporada ao simulador de crescimento e produção. Foram ajustadas diversas equações, já mostradas na TABELA 2, para a estimativa dos parâmetros da distribuição S_{BB} .

4.5 EQUAÇÃO DE SÍTIO

Os coeficientes dos 9 modelos ajustados para a classificação de sítios, constam da TABELA 10.

TABELA 10 - MODELOS E RESULTADOS DOS AJUSTES DOS COEFICIENTES PARA CLASSIFICAÇÃO DE SÍTIOS

nº	Modelos	Coeficientes				
		β_0	β_1	β_2	β_3	β_4
1	$hd = b_0 + b_1 \cdot (1/l)$	28,5383	-39,0733			
2	$\ln Hd = \beta_0 + \beta_1 \cdot (1/l)$	3,57678	-2,99238			
3	$hd = l^2 / \beta_0 + \beta_1 \cdot l + \beta_2 \cdot l^2$	0,185254	0,150733	0,0151824		
4	$\log hd = \beta_0 + \beta_1 \cdot (1/l) + \beta_2 \cdot (1/l)^2 + \beta_3 \cdot (1/l)^3 + \beta_4 \cdot (1/l)^4$	1,79204	-3,46058	5,61033	-5,89952	2,43392
5	$\log hd = \beta_0 + \beta_1$	0,356751	0,393296			
6	$\ln Hd = \beta_0 + \beta_1 \cdot (1/l) + \beta_2 \cdot (1/l^2)$	3,3223202	-2,525022	0,0042701		
7	$hd = \beta_0 \cdot (1 - \exp(-\beta_1 \cdot l))$	58,7596	0,0781317			
8	$hd = a \cdot (1 - \exp(-b \cdot l))^c$	44,0822	0,144304	1,24776		
9	$\ln Hd = \beta_0 + \beta_1 \cdot ((1/l))^{\beta_2}$	4,92829	-3,89908	0,421265		

Sete dos nove modelos apresentaram ajustes com coeficientes de determinação Ajustado (R^2_{Aj}) acima de 91% e erro da estimativa entre 12 a 13%.

Felde *et al.* (2010) ajustou curvas para *Eucalyptus dunnii* com coeficiente de determinação de 42%, erro padrão de 5,12 metros e erro porcentual de 14,38%.

Na TABELA 11 constam os resultados estatísticos de ajuste e precisão para os modelos de sítio e na FIGURA 6, a distribuição de resíduos.

TABELA 11 - RESULTADO DA ESTATÍSTICA DAS EQUAÇÕES DE SÍTIO

nº	Nome/Autor	R ² (%) Ajustado	Syx (m)	Syx (%)
1	Curtis	71,10	4,17	23,04
2	Schumacher	88,98	2,88	15,88
3	Prodan	93,53	2,32	12,82
4	Popham	92,41	2,30	12,71
5	Smalley e Bower	84,16	2,30	12,69
6	Schumacher Modificado	91,67	2,44	13,47
7	Monomolecular	91,67	2,36	13,03
8	Chapman e Richards	91,32	2,28	12,60
9	Bailey e Clutter	92,44	2,28	12,60

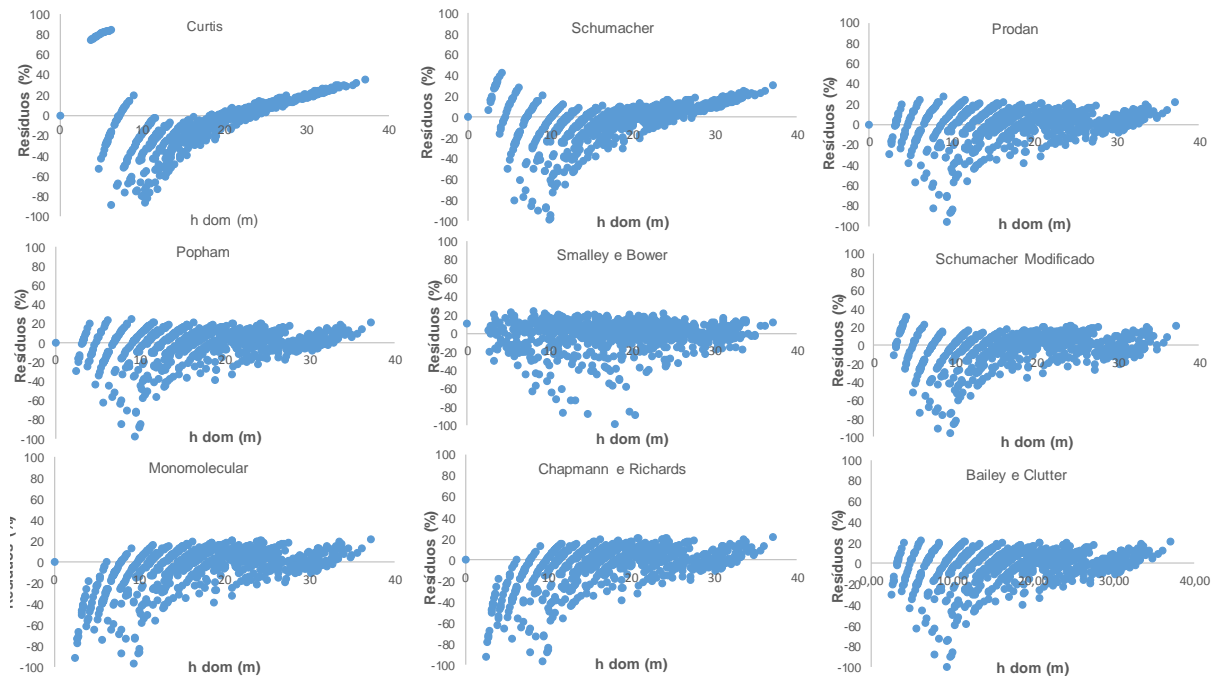


FIGURA 6 – DISTRIBUIÇÃO DE RESÍDUOS DAS EQUAÇÕES DE SÍTIO

A distribuição de resíduos não foi satisfatória na maioria das equações ajustadas. A escolha recaiu sobre a equação de Chapman e Richards, que possui características de ajuste do crescimento de qualquer variável biológica, ou seja, tem início na origem, apresenta acelerado ritmo inicial de crescimento, um ponto de inflexão onde tal ritmo decresce e, por fim, tende a um valor assintótico, conforme descrição de Maestri (2003).

A equação de Chapman e Richards apresentou um coeficiente de determinação ajustado de 91,32%, erro padrão da estimativa de 2,28 m e erro padrão de 12,60%. O mesmo modelo foi utilizado em curvas para *Eucalyptus* por Felde *et al.* (2010); Miguel (2009); Maestri (2003); Restlaf (2010) e Santana (2008).

A construção das curvas de índice de sítio foi realizada estabelecendo-se os limites inferiores e superiores da altura dominante na idade de referência de 7 anos, próxima a idade de rotação normalmente utilizada para produção de energia.

Foram criadas 04 curvas de sítio para representar a variabilidade dos dados, com amplitude de 5,5 m, conforme as seguintes classes de sítio: Classe I: 37,00 a 31,50 metros; Classe II: 31,50 a 26,00 metros e Classe III: 26,00 a 20,50 metros e Classe IV: 20,50 a 15,00 metros.

Com o modelo escolhido resultando numa equação de sítio, foram geradas curvas anamórficas de índice de sítio, utilizando o método da extrapolação (SELLE; PAULESKI; BRAZ, 2008). A FIGURA 7 mostra as curvas ajustadas.

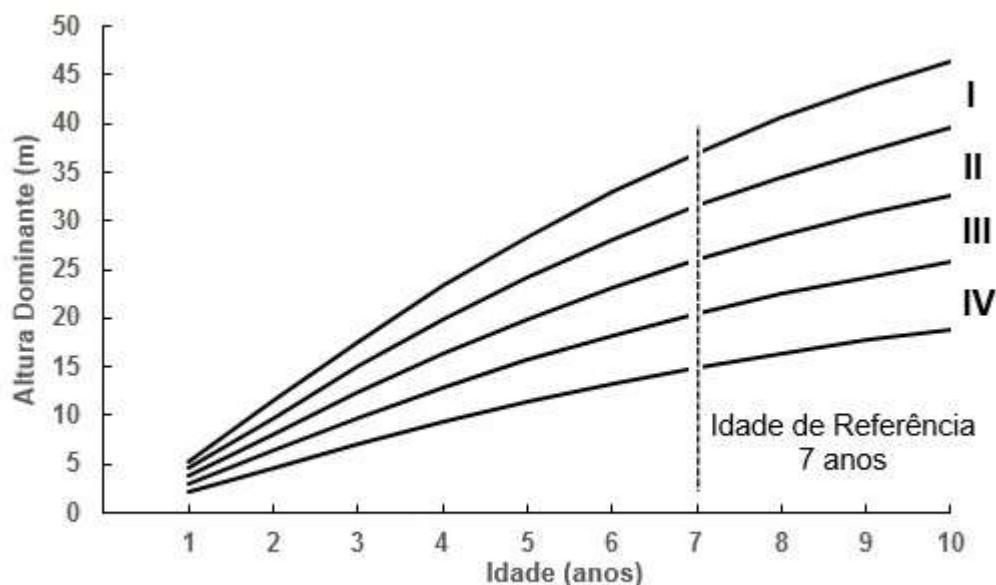


FIGURA 7 – CURVAS DE ÍNDICE DE SÍTIO DE *Eucalyptus dunnii* PARA A REGIÃO DE RIO NEGRINHO

A distribuição dos dados por classe de sítio é mostrada na TABELA 12. A classe I teve 2,88% das parcelas, com a maioria sendo classificada como Classe II com 47,54%, seguido da Classe III com 42,02% e Classe V com 7,56. As classes II e III somaram 89,56% do total das parcelas.

Os dados completos dos limites das quatro classes sítio, se encontram no ANEXO 1.

TABELA 12 - DISTRIBUIÇÃO DO NÚMERO DE PARCELAS POR CLASSE DE SÍTIO

Classe Sítio	Número Parcelas	%
I	24	2,88
II	396	47,54
III	350	42,02
IV	63	7,56
TOTAL	833	100,00

Foi realizado o teste de anamorfismo das curvas de sítio, com a verificação da existência de relação linear entre o índice de sítio nas idades consideradas. O coeficiente de determinação foi igual a 1 em todas as idades testadas. O coeficiente β_0 ficou próximo de zero em todas as idades. O coeficiente β_1 foi maior que 1 nas idades abaixo da idade de referência de 7 anos e abaixo de 1 acima da idade de referência, conforme TABELA 13.

TABELA 13 – RESULTADOS DO TESTE DE ANAMORFISMO EM DIFERENTES IDADES PARA A CLASSE II DE ÍNDICE DE SÍTIO, DE POVOAMENTOS DE *Eucalyptus dunnii*

Idade (anos)	3,83	4,75	5,58	6,75	8,33	9,83	10,25
CV (%)	0,0474	0,0503	0,0376	0,0354	0,035	0,0471	0,0209
R² Ajustado.	1	1	1	1	1	1	1
β_0	1,07E-14	-7,11E-15	-7,11E-15	7,11E-15	-2,84E-14	-0,024308	3,55271E-14
β_1	1,6537	1,3268	1,1896	1,0269	0,887626	0,8039	0,7847

Os dados da Classe de sítio II em diferentes idades, mostram que o índice de sítio não depende da idade, mas da capacidade produtiva do local, também constatado por Scolforo (1992) e Miguel *et al.* (2011).

4.6 EQUAÇÃO DE AFILAMENTO

O Polinômio de 5ºGrau foi ajustado por regressão linear, com os resultados da cubagem de 509 árvores mostrados na TABELA 14.

TABELA 14 – RESULTADOS DO AJUSTE DO POLINÔMIO DE 5ºGRAU

Estatística				Coeficientes					
F	R ² (%) Ajustado	S _{xy}	S _{xy} %	β ₀	β ₁	β ₂	β ₃	β ₄	β ₅
15.180,50	92,5664	0,1133	1,43	1,3383	-4,6399	17,1891	-34,3197	31,0878	-10,6563

Foi considerado o diâmetro de sortimento do volume para energia com diâmetros entre 6 a 12 cm; para uso na indústria de celulose com diâmetros 12 a 22 cm. Diâmetros de 22 a 25 cm para utilização em serraria, com serraria I de 22 a 35 cm e Serraria II, maior que 35 cm com casca. O comprimento considerado para uso em energia foi de 2 metros e para serraria de 2,50 metros

Para uso no programa SisDunnii a equação sofreu uma modificação em sua fórmula original, mudando de $\frac{hi}{H}$ para $1 - \frac{hi}{H}$. A descrição do perfil longitudinal do fuste é similar, conforme descrição de Oliveira (2011). A transformação é realizada diretamente no programa, acessando o item “Outros”, no painel superior, acessando item 5 - Equações para sortimento, tendo acesso a uma planilha Excel, onde a digitação a partir dos parâmetros ajustados, é realizada a integração da fórmula original resultando na inversão, com os novos parâmetros utilizados no software. No ANEXO 2, maiores detalhes desta transformação.

4.7 VALIDAÇÃO DO SISTEMA DE CRESCIMENTO E PRODUÇÃO DO SOFTWARE SIS DUNNII

4.7.1 Considerações sobre a Validação da Prognose

O total de parcelas que serviram da base para a criação do simulador foi de 749 parcelas. Para a validação foi utilizado 184 parcelas independentes, de 17 áreas florestais (TABELA 15), que não participaram do ajuste principal, portanto totalizando 24 % em relação ao total.

Este número de parcelas de validação, pode ser considerado como bem expressivo, comparando com o ajuste de outros autores, como Ferraz Filho (2009), que utilizou 186 parcelas para validação de sistema de prognose, de um total de 1.552 parcelas, portanto, cerca de 10% do total. Tonini (2003) utilizou um total de 870 parcelas para construção de sistema de prognose, com validação por 57 parcelas, representado 6,55% do total.

A validação do modelo é muito importante, como enfatiza Wendling (2007), com a necessidade de se avaliar o comportamento de um simulador, podendo ser realizada pela comparação dos resultados de campo e os resultados do processamento do simulador.

TABELA 15 – DADOS DAS ÁREAS FLORESTAIS PARA A VALIDAÇÃO DOS DADOS DO SIMULADOR SISDUNNII

nº	Área Florestal	idade (anos)	Parcelas Medidas	Densidade Inicial (Árvores.ha. ⁻¹)	IS
1	Rio Feio	1,00	22	1.475	28,47
2	Rio dos Banhados	3,00	22	1.751	22,75
3	São Bernardo	4,25	9	2.500	26,93
4	Viveiro	4,42	4	2.315	26,28
5	Charqueada	6,17	9	1.333	26,72
6	Salto Grande	6,42	16	2.105	23,87
7	Pocinho Salúcia	7,17	5	2.500	19,51
8	Matão Fundos	7,17	18	2.500	22,79
9	Salto Grande	7,30	14	2.105	25,58
10	Pocinho III	7,33	5	2.500	19,21
11	Técnica	7,50	10	2.500	25,24
12	Matão II	7,83	9	2.375	19,11
13	Charqueada	8,25	7	1.333	27,87
14	Matão <i>Eucalyptus</i>	8,33	11	1.600	24,07
15	Matão Fundos	9,25	14	2.500	25,02
16	Viveiro	9,50	5	2.315	26,21
17	Viveiro	10,50	4	2.315	27,75
TOTAL			184		

4.7.2 Validação do Diâmetro, Altura Média e Altura Dominante.

Os resultados dos ajustes das variáveis diâmetro, altura média e altura dominante, por área florestal das parcelas de validação, constam na TABELA 16.

TABELA 16 – DADOS REAIS E ESTIMADOS PELO SIMULADOR SISDUNNI, DO DIÂMETRO À ALTURA DO PEITO (DAP), ALTURA MÉDIA E DOMINANTE DAS ÁRVORES

nº	Área Florestal	idade (anos)	DAP (cm)		Altura (m)		Altura Dominante (m)	
			Real	SisDunnii	Real	SisDunnii	Real	SisDunnii
1	Rio Feio	1,00	2,58	2,50	3,47	3,40	4,22	4,10
2	Rio dos Banhados	3,00	8,08	8,30	10,09	9,00	10,86	10,90
3	São Bernardo	4,25	9,82	9,01	13,11	14,37	17,90	17,60
4	Viveiro	4,42	11,41	10,06	13,96	14,67	19,00	18,23
5	Charqueada	6,17	15,31	14,40	19,94	20,77	24,33	24,68
6	Salto Grande	6,42	13,60	13,77	18,81	21,17	26,36	26,70
7	Pocinho Salúcia	7,17	8,74	10,45	11,94	16,18	19,85	19,97
8	Matão Fundos	7,17	11,59	11,68	16,20	19,05	23,19	23,35
9	Salto Grande	7,30	13,60	13,77	18,81	21,17	26,36	26,70
10	Pocinho III	7,33	8,74	9,90	11,94	15,67	19,85	19,33
11	Técnica	7,50	13,04	11,19	19,14	18,98	26,51	23,11
12	Matão II	7,83	12,58	10,67	18,14	17,00	21,00	21,00
13	Charqueada	8,25	16,62	17,02	22,73	23,44	31,19	31,56
14	Matão <i>Eucalyptus</i>	8,33	13,08	13,98	18,51	22,12	27,11	26,47
15	Matão Fundos	9,25	12,42	13,88	18,89	24,87	30,07	30,42
16	Viveiro	9,50	14,73	14,99	22,56	25,84	31,99	31,35
17	Viveiro	10,50	15,02	14,80	23,10	30,24	35,83	35,03
MÉDIA			11,82	11,78	16,55	18,70	23,27	22,97

O DAP observado (real) teve média de 11,82 cm entre as parcelas das áreas florestais validadas e o estimado pelo Simulador SisDunnii com média de 11,78 cm, indicando diferença de 0,31%.

Os dados tiveram um (R^2) ajustado de 90%, apresentando boa precisão entre os dados e reais e estimados. O erro padrão da estimativa foi de 1,08 cm com erro padrão de 9,84%.

No GRÁFICO 1, nota-se no padrão de distribuição do DAP, uma alternância de desvios, ora com subestimativas ou superestimativas. Nas árvores com DAP entre 10 a 14 cm, nota-se uma tendência de subestimativa.

No caso das alturas médias das árvores o R^2 foi de 87%, representando bom ajuste entre os valores reais e os estimados, com erro padrão de 11% e 1,85 metros. Na linha de tendência, nota-se como no caso do DAP, uma distribuição razoavelmente equilibrada entre alturas estimadas a maior e a menor. Nas árvores com altura entre 18 a 23 m existe maior tendência para subestimativa, mostradas no GRÁFICO 2.

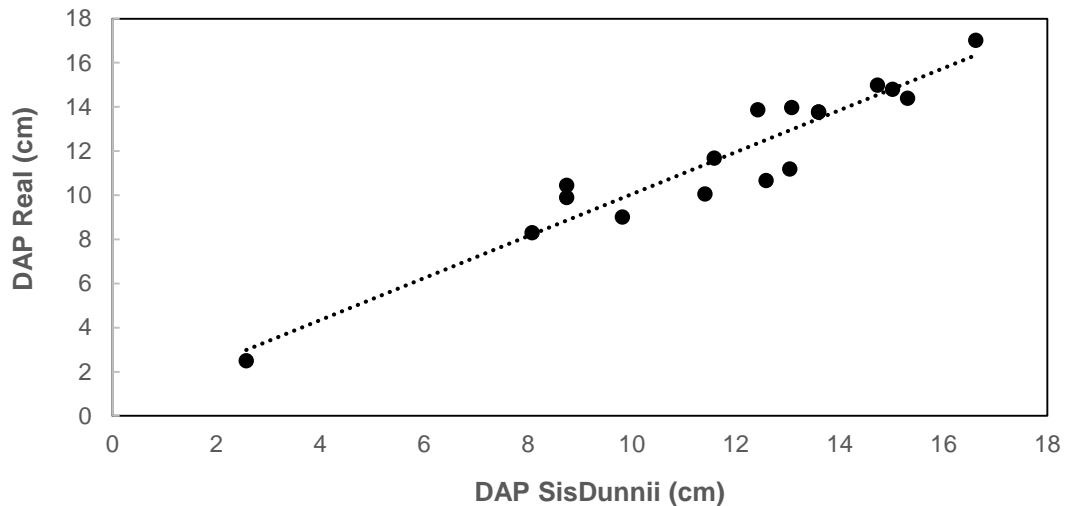


GRÁFICO 1 – RELAÇÃO ENTRE DAP DAS PARCELAS DE VALIDAÇÃO E ESTIMADOS PELO SISDUNNIII

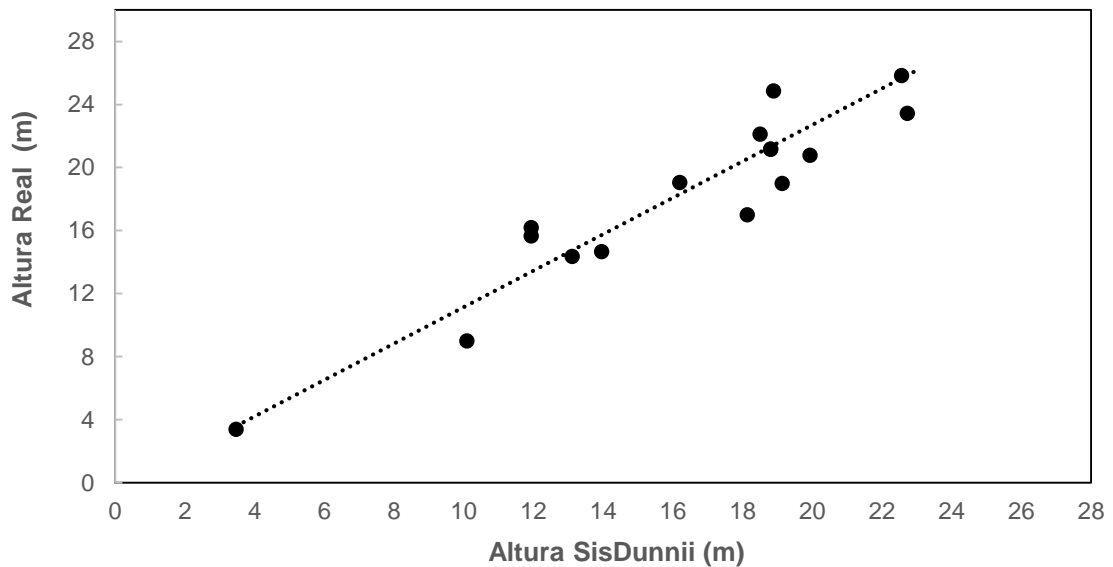


GRÁFICO 2 – RELAÇÃO ENTRE ALTURA MÉDIA DAS PARCELAS DE VALIDAÇÃO E ALTURA ESTIMADAS PELO SISDUNNI

A altura dominante apresentou 99% de R^2 ajustado, erro padrão de 0,93 metros significando 4% em relação à média observada, indicando precisão no ajuste. A dispersão dos dados das alturas dominantes reais e estimadas mostrou uma distribuição com subestimativas e superestimativas, conforme GRÁFICO 3.

O SisDunnii utiliza a função S_{BB} Johnson para a modelagem de altura e diâmetro, que mostrou pelos dados da validação uma boa acurácia, o que também foi relatado por Hafley *et al.* (1982), Oliveira (1995), Hafley e Schreuder (1977), Dorado, González e González *et al.* (2008), Siipilehto (2000) e Tewaria e Gadowb (2014).

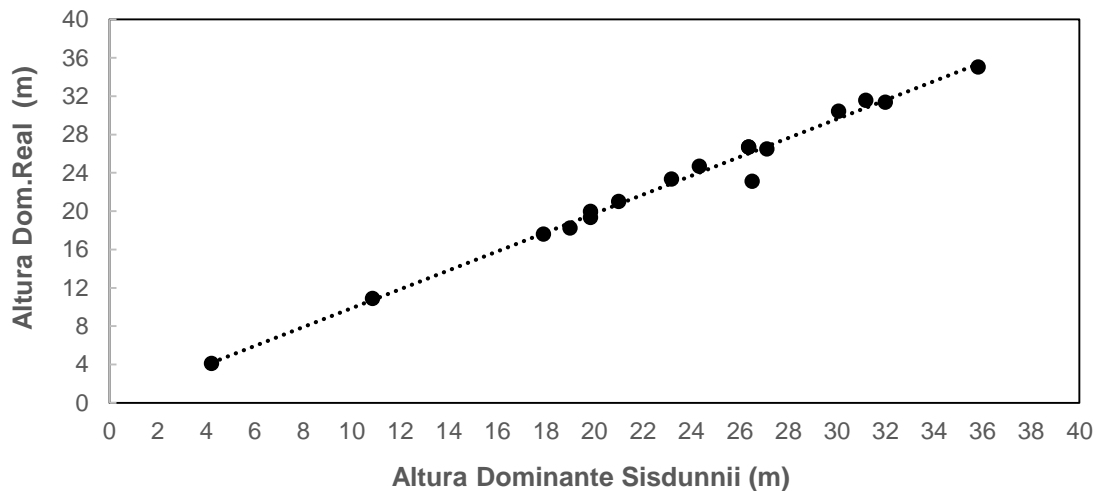


GRÁFICO 3 – RELAÇÃO ENTRE ALTURA DOMINANTE DAS PARCELAS DE VALIDAÇÃO E ALTURA DOMINANTE ESTIMADA PELO Sisdunnii

4.7.3 Validação do Número da Árvores e Área Basal

Os resultados dos ajustes das variáveis densidade e área basal, por área florestal das parcelas de validação, constam da TABELA 17.

O número de árvores por hectare apresentou R^2 ajustado de 83% e erro padrão da estimativa foi de 161 árvores, o que representa 9% em relação à média. O Gráfico de dispersão apresentou uma distribuição constante, ao longo de uma linha reta, mostrados no GRÁFICO 4.

Santana (2008) citou um erro em porcentagem de 7,41% em relação ao número de árvores por hectare na idade de desbaste de *Eucalyptus grandis*.

A área basal apresentou um conjunto de dados com cerca de 81% de R^2 ajustado e erro padrão da estimativa de $4,04 \text{ m}^2 \cdot \text{ha}^{-1}$, representando 17% em relação à média.

Santana (2008) citou um erro em porcentagem entre 8,21 a 9,55% em relação a área basal por hectare de *Eucalyptus grandis*, conforme a metodologia utilizada em sua validação, com diferentes alternativas de simulação. Salles (2010) conclui que o erro para as projeções de área basal ficou abaixo de 2% para modelagem de clones de *Eucalyptus*.

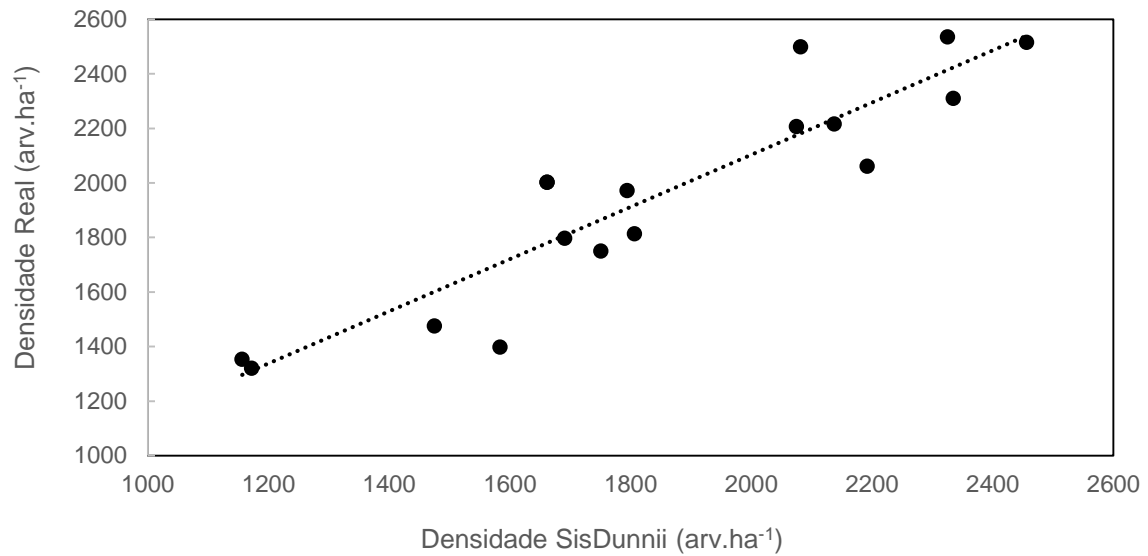


GRÁFICO 4 – RELAÇÃO DO NÚMERO DE ÁRVORES (ÁRVORES.HA⁻¹) DAS PARCELAS DE VALIDAÇÃO E ESTIMADAS PELO SISDUNNII

TABELA 17 – DADOS DAS MÉDIAS REAIS OBSERVADAS E DAS PARCELAS DE VALIDAÇÃO DO NÚMERO DE ÁRVORES (ÁRVORES.ha⁻¹) E ÁREA BASAL (m².ha⁻¹)

nº	Área Florestal	idade (anos)	Árvores /ha		Área Basal /ha (m ²)	
			Real	SisDunnii	Real	SisDunnii
1	Rio Feio	1,00	1.475	1.475	0,71	0,70
2	Rio dos Banhados	3,00	1.751	1.750	9,19	9,50
3	São Bernardo	4,25	2.192	2.061	19,32	18,28
4	Viveiro	4,42	2.325	2.535	22,73	17,86
5	Charqueada	6,17	1.156	1.353	24,40	20,88
6	Salto Grande	6,42	1.662	2.002	23,84	27,22
7	Pocinho Salúcia	7,17	2.456	2.516	17,63	20,49
8	Matão Fundos	7,17	2.082	2.499	28,13	25,10
9	Salto Grande	7,30	1.662	2.002	23,84	27,22
10	Pocinho III	7,33	2.137	2.216	19,21	20,25
11	Técnica	7,50	1.691	1.797	27,41	25,13
12	Matão II	7,83	2.335	2.310	18,53	21,60
13	Charqueada	8,25	1.172	1.320	27,60	28,26
14	Matão <i>Eucalyptus</i>	8,33	1.584	1.398	16,62	24,99
15	Matão Fundos	9,25	2.075	2.207	33,77	31,55
16	Viveiro	9,50	1.806	1.814	30,48	30,69
17	Viveiro	10,50	1.795	1.972	41,12	32,26
MÉDIA			1.844	1.955	22,62	22,47

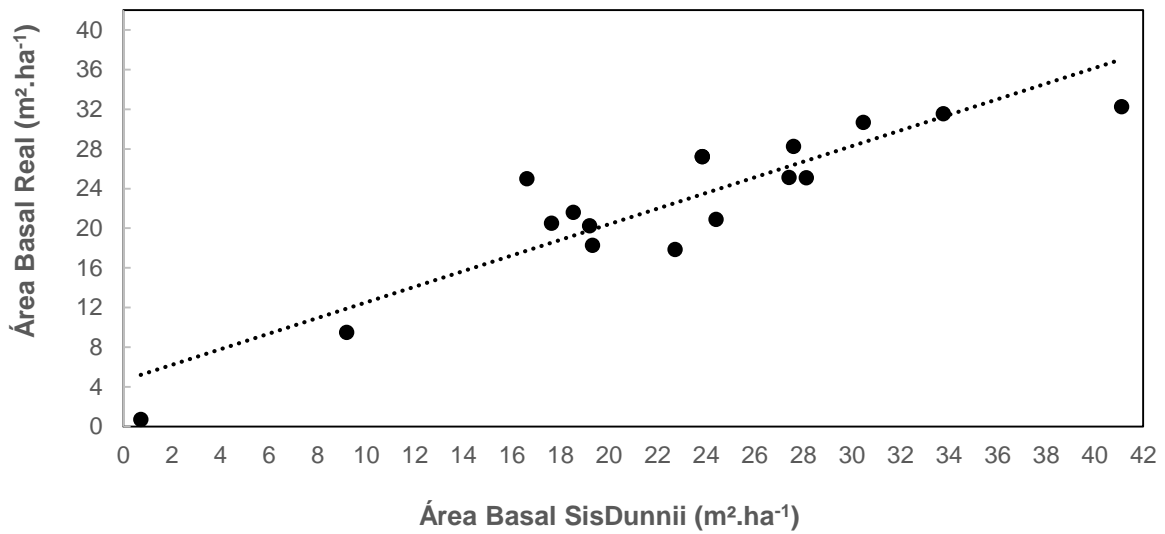


GRÁFICO 5– RELAÇÃO ENTRE OS DADOS DAS PARCELAS DE VALIDAÇÃO E OS ESTIMADOS PELO SIMULADOR SISDUNNII DA ÁREA BASAL (m².ha⁻¹)

4.7.4 Validação da Estimativa Volumétrica

A produção volumétrica por área é a principal validação de um sistema de prognose, concordando com Wendling (2007), que a tendência da curva de produção apresenta estreita relação com as outras variáveis (diâmetro, altura, altura dominante, densidade e área basal).

Os dados do volume (m³.ha⁻¹) real e estimado constam da TABELA 18. O coeficiente de determinação foi muito próximo de 100% (98%), indicando que os valores estimados pelo SisDunnii estão representando bem os dados reais.

A distribuição da dispersão dos dados é bastante uniforme, verificada no GRÁFICO 6. O GRÁFICO 7 compara os volumes reais das parcelas com os volumes estimados pelo SisDunnii.

TABELA 18 – DADOS REAIS DAS PARCELAS DE VALIDAÇÃO E ESTIMADOS PELO SIMULADOR SISDUNNI DA ESTIMATIVA VOLUMÉTRICA ($m^3 \cdot ha^{-1}$)

nº	Área Florestal	Idade (anos)	Volume ($m^3 \text{ c/c} \cdot ha^{-1}$)*	
			Volume Real	Volume SisDunnii
1	Rio Feio	1,00	1,79	1,70
2	Rio Banhados	3,00	46,08	40,70
3	São Bernardo II	4,25	147,40	138,72
4	Viveiro	4,42	149,59	132,95
5	Charqueada	6,17	180,20	185,31
6	Salto Grande	6,42	228,21	192,32
7	Salto Grande	7,30	281,84	265,90
8	Técnica	6,42	233,45	223,34
9	Pocinho III	7,33	142,70	146,17
10	Matão Fundos	7,17	182,11	207,32
11	Pocinho III	7,17	135,53	146,17
12	Matão II	7,83	171,58	164,70
13	Charqueada	8,25	313,49	305,20
14	Matão <i>Eucalyptus</i>	8,33	247,08	248,44
15	Matão fundos	9,25	376,60	326,60
16	Viveiro	9,50	329,80	342,29
17	Viveiro	10,50	445,90	443,52
MEDIA			212,55	206,55

* $m^3 \text{ c/c}$ = metro cúbico com casca

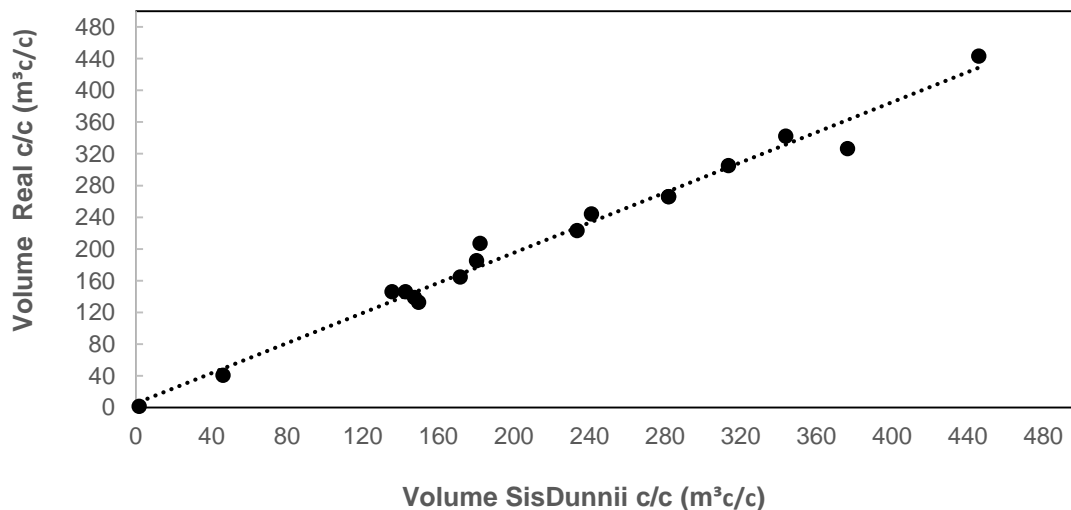


GRÁFICO 6 – RELAÇÃO ENTRE OS DADOS DAS PARCELAS DE VALIDAÇÃO E OS ESTIMADOS PELO SIMULADOR SISDUNNI DA ESTIMATIVA VOLUMÉTRICA ($m^3 \cdot ha^{-1}$)

A diferença aritmética em percentual foi de 2,58%. O erro padrão foi de 15,56 $\text{m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ e em percentual 7,71% em relação a média do volume existente.

Comparando com outros trabalhos, Santana (2008) obteve erros de estimativa para o volume total com casca entre 6,46 a 8,02%. Salles (2010) considerou o erro de volume projetado de clones de *Eucalyptus*, entre -6 a 5%.

Abreu *et al.* (2002) citou erro médio entre 2,39 a 4,82% na prognose de volume de *Eucalyptus grandis*. Portanto, a estimativa do simulador SisDunnii pode ser considerada satisfatória, com erro de estimativa abaixo de 10%, semelhante ao encontrado pelos autores citados.

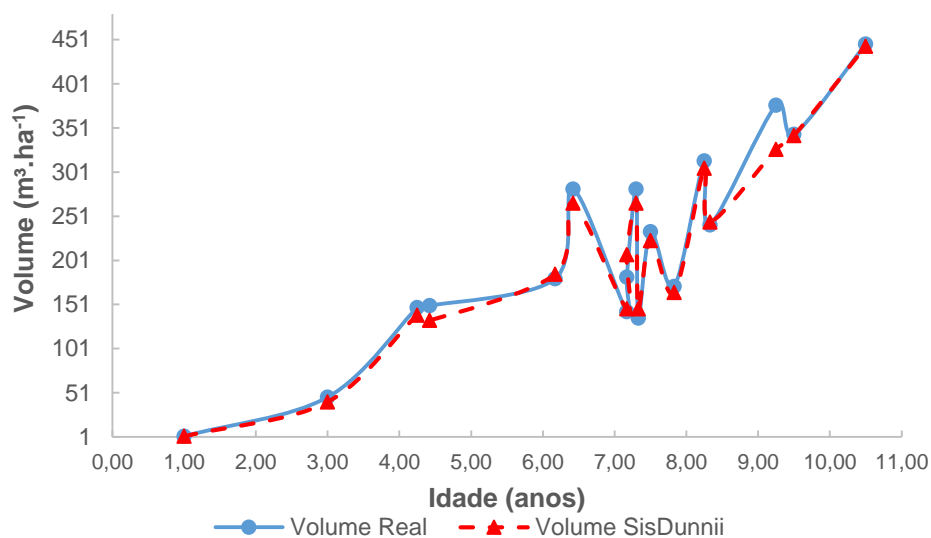


GRÁFICO 7 – VOLUMES REAIS DAS PARCELAS DE VALIDAÇÃO E VOLUMES ESTIMADOS PELO SISDUNNI ($\text{m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$)

As curvas de comparação dos volumes real e estimado nas idades estudadas, mostram os volumes estimados pelo SisDunnii muito próximos aos volumes reais, com diferenças um pouco superiores para o volume real, entre as idades de 8,5 a 9,5 anos.

4.7.5 Resumo da Validação

Na TABELA 19 é apresentado um resumo dos resultados da validação do simulador SisDunnii, contendo a diferença em percentual das médias, estatística do Coeficiente de correlação ajustado (R^2), erro padrão absoluto (Syx) e erro padrão em percentual (%).

TABELA 19 - RESULTADOS DE DIFERENÇA E DADOS ESTATÍSTICOS DA VALIDAÇÃO DAS VARIÁVEIS DOS POVOAMENTOS ESTUDADOS

Variável	RESULTADOS		Diferença Médias (%)	R ² Ajustado (%)	Erro Padrão (Syx)	Erro Padrão (Syx %)
	Real Parcelas	SisDunnii				
DAP (cm)	11,82	11,78	0,31	89,99	1,08	9,14
Densidade (árvores.ha ⁻¹)	1.844	1.955	-5,97	87,25	160,62	8,71
Área Basal (m ² .ha ⁻¹)	23,99	23,83	0,67	80,99	4,04	4,04
Altura Média (m)	16,14	17,98	-11,42	87,25	1,85	11,49
Altura dominante (m)	23,27	22,97	1,29	98,58	0,93	4,01
Volume com casca (m ³ .ha ⁻¹)	201,82	196,07	2,85	98,19	15,56	7,71

O SisDunnii apresentou resultados satisfatórios para a estimativa do número de árvores, diâmetro, altura média e dominante e área basal e foi preciso na estimativa do volume existente nas parcelas de validação, com diferença de 2,85% e erro padrão de 7,71%.

A quantificação do erro de prognose do simulador é importante, pois pode dar segurança na execução futura de trabalhos de estimativas de volume de outros povoamentos.

5 CONCLUSÕES

O Simulador SisDunnii mostra-se viável para a estimativa dos dados de crescimento e de produção da espécie *Eucalyptus dunnii*.

Na estimativa do volumes dos povoamentos, o Simulador SisDunnii apresentou estimativas muito apuradas de acordo com a validação do sistema.

Os resultados da simulação do Simulador SisDunnii podem ser aplicados à região do Planalto Norte Catarinense, em locais que tenham condições edáficas e climáticas semelhantes à região estudada.

6 RECOMENDAÇÕES

Recomenda-se a utilização do simulador SisDunnii com maior segurança para a região do Planalto Norte Catarinense, em especial as áreas ocupadas com tipos de solo classificados como Cambissolos, Neossolos e Nitossolos, descritos no levantamento brasileiro de solos (EMBRAPA, 2006).

As extrapolações para outras regiões serão possíveis após observância de sobrevivência no campo das árvores do povoamento, bem como de situações locais, com os respectivos índices de sítio, distribuição diamétrica, equações de volume e afilamento, válidas para a região em questão.

Sobre a questão de sobrevivência de árvores e densidade de árvores, a base de dados utilizada ainda pode ser considerada restrita para a formulação de um modelo mais confiável, sendo ideal um número maior de parcelas de inventários contínuos.

REFERÊNCIAS

- ABREU, E.C.R.; SCOLFORO, J.R.S.; OLIVEIRA, A.D.V de.; MELO, J.M. de; KANEGAE JÚNIOR, H. Modelagem Para Prognose Precoce do Volume por Classe Diamétrica para *Eucalyptus grandis*. **Scientia Florestalis**. N.61, P. 86-102, JUN. 2002.
- ASSOCIAÇÃO CATARINENSE DE EMPRESAS FLORESTAIS (ACR). **Anuário Estatístico Base Florestal para o Estado de Santa Catarina**. Lages: ACR. 2014. 92 p.
- BARTH. S.R.; FASSOLA, H.E.; FERRERE, P.; ALLEGRANZA, D.; PAHR, N. Modelos de Crescimento y Producción de *Eucalyptus dunnii* (Maid) em La Zona de Garuhapé Misiones. In: **Décimas Jornadas Técnicas Forestales y Ambientales**. INTA, Misiones. 2008.
- BLISS, C.I. Fitting the negative binomial distribution to biological data. **Biometrics**, v. 9, p. 176-199, 1953.
- CAMPOS. J.C.C; LEITE, H.G. **Mensuração Florestal: Perguntas e Respostas**. Viçosa: Editora UFV, 3 ed. 2009. 548 p.
- CARDOSO, D. J. MACHADO. S.A.; ROSOT, N.C.; ERMERENCIANO, D.B. Avaliação da Influência dos Fatores Idade e Sítio na Relação Hipsométrica para *Pinus taeda* nas Regiões Central e Sudoeste do Estado do Paraná. **Floresta**, v. 19, n. 1-2, p. 96 - 115, 1989.
- CARVALHO, S. de P.C. e. **Uma Nova Metodologia de Avaliação de Crescimento e da Produção de *Eucalyptus sp.* Clonal para Fins Energéticos**. 103 p. Dissertação de Mestrado (Mestrado em Ciências Florestais). Universidade Federal de Lavras. Lavras, 2010.
- CLUTTER, J.L.; FORTSON, J.C.; PIENAAR, L.V.; BRISTER, G.H.; BAILEY, R. **Timber Management: A Quantitative Approach**. New York: John Wiley & Sons, 1983. 333 p.
- COUTO, H.T.Z. do; BASTOS, N.L.M.; LACERDA, J.S. Comparação de Dois Modelos de Prognose de *Eucalyptus* para Alto Fuste e Talhadia. **IPEF**, n.41/42.p.27-35, jan./dez. 1989.
- CUNHA NETO, F.R. da.; SCOLFORO, J.R.S.; CALEGARIO, N.; OLIVERA, A.; KANEGAE JUNIR, H. Modelo para Predição da Produção por Classe de Diâmetro para *Eucalyptus grandis*. Lavras. **Cerne**, v.1, n.1. p.108-122, 1994.
- DA CRUZ, J. P., LEITE, H. G., SOARES, C. P. B., CAMPOS, J. C. C., SMIT, L., NOGUEIRA, G. S., & DE OLIVEIRA, M. L. R. Modelos de crescimento e produção para plantios comerciais jovens de *Tectona grandis* em Tangará da Serra, Mato Grosso. **Revista Árvore**, v.32, n.5, p. 821-828. 2008.

DEMOLINARI, R. de A.; SOARES, C.P.B.; LEITE, H.G.; SOUZA, A.L. de. Crescimento de Plantio Clonais de Eucalipto não Desbastados na Região de Monte Dourado (PA). **Revista Árvore**, Viçosa, v.31, n.3, p. 503-512, 2007.

DÍAZ, M. del P.; COUTO, H.Z. do. Modelos Generalizados para a Mortalidade de árvores de *Eucalyptus grandis* no Estado de São Paulo. **Scientia Florestalis**. n.56, p. 101-111, Dez. 1999.

DORADO, F. C.; GONZÁLEZ, A. D. R.; GONZÁLEZ, J. G. A. Modelización de la relación altura-diámetro para *Pinus pinaster* Ait. en Galicia mediante la función de densidad bivalente S_{BB} . **Investigación agraria. Sistemas y recursos forestales**, v. 10, n. 1, p. 111-126, 2001.

EISFELD, R. de L. **Modelagem do Crescimento e da Produção de *Pinus taeda* L. por Meio de Função Probabilística e Processo de Difusão**. 67 p. Dissertação de Mestrado (Mestrado em Engenharia Florestal). Universidade Federal do Paraná, 2004.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 2 ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 306 p.

EMPRESA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA E EXTENSÃO RURAL DE SANTA CATARINA (EPAGRI). **Zoneamento Agroecológico e Socioeconômico de Santa Catarina**. Florianópolis: EPAGRI, 1999. Disponível em: <http://ciram.epagri.sc.gov.br/images/documentos/ZonAgroecoMapas.pdf>. Acesso em 20/01/2015.

FELDE, J.L. **Métodos de Ajuste da Função Weibull e seu Desempenho na Prognose do Crescimento e Produção de *Eucalyptus dunnii***. 77 p. Dissertação de Mestrado. (Mestrado em Ciências Florestais). Universidade Estadual do Centro Oeste Paranaense do Paraná, 2010.

FELDE, J. L.; RETSLAFF, F. A. de S.; FIGUEIREDO FILHO, A.; DIAS, A. N. Curvas de Índice de Sítio para Povoamentos de *Eucalyptus dunnii* na Região Central do Paraná. In: II Seminário de Atualização Florestal e XI Semana de Estudos Florestais. **Anais**. Irati: UNICENTRO. 2010a.

FERRARI, M.P.; FERREIRA, C.A.; SILVA, H.D. da.; TREVISAN, R. Prognose do Crescimento Volumétrico Individual de *Eucalyptus* em Povoamentos na Região Sul. **Boletim Pesquisa Florestal**. Colombo, n.51, p.05-16, jul./dez. 2005.

FERRAZ FILHO, A.C. **Sistema de Prognose e Produção para *Pinus taeda* L. Sujeito a Regime de Desbaste e Podas**. 147 p. Dissertação de Mestrado (Mestrado em Ciências Florestais). Universidade Federal de Lavras. Lavras, 2009.

FIGUEIREDO, E.O.; SCOLFORO, J.S.; OLIVEIRA, A.D. de. Seleção de Modelos Polinomiais para Representar o Volume do Fuste de *Tecona grandis* L.F. **Acta Amazônica**. Manaus. Vol. 36. N.4. p. 465-482. 2006.

GLADE, J.E. **Prognose de Volume por Classe Diamétrica para *Eucalyptus grandis* EX-MAIDEN**. 94 p. Dissertação de Mestrado (Mestrado em Engenharia Florestal). Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 1986.

GORGOSO VARELA, J.J.; BARRIO ANTA, M.; DIÉGUEZ ARANDA, U.; RODRIGUEZ NÚÑES, L. Ajuste a La Función Bivariante S_{BB} de JOHNSON a Datos de Altura y Diámetros de Masas de *Pinus pinaster* Ait. En Asturias. In: **5º Congreso Forestal Español**. 2009.

HAFLEY, W.L.; BUFORD, M.A. A Bivariate Model for Growth and Yield Prediction. **Forest Science**, v.31, n.1, p.237-247. 1985.

HAFLEY, W.L.; SCHREUDER, H.T. Some Non-Normal Bivariate Distributions and Their Potential for Forest Application. International Union Forest Research Organization. In: **XVI World Congress Proceedings**, Div. VI, p. 104-114. Oslo, 1976.

HAFLEY, W.L.; SMITH, W.D.; BUFORD, M.A. A New Yield Production Model For Unthinned Loblolly Pine in Plantations. Raleigh, Southern For. Res. Center, North Carolina State University. 63 p. **Technical Reports**, n.1. 1982.

MACHADO, S. A., OLIVEIRA, E. B. de, CARPANEZZI, A. A.; BARTOSZECK, A. Classificação de Sítio para Bracatingais na região metropolitana de Curitiba. **Boletim de Pesquisa Florestal**, (35), 21-37. 1997.

MACHADO, S., FIGURA, M., SILVA, L., TÊO, S., STOLLE, L., URBANO, E. Modelagem Volumétrica para Bracatinga (*Mimosa scabrella*) em povoamentos da Região Metropolitana de Curitiba. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, n.56, p.17-29, jan./jun. 2008.

MAESTRI, R. **Modelo de Crescimento e Produção para Povoamentos Clonais de *Eucalyptus grandis* Considerando Variáveis Ambientais**. 143 p. Tese de Doutorado (Doutorado em Engenharia Florestal). Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2003.

MARTINS, F.B. **Modelagem de Crescimento em nível de Árvore Individual para Plantios Comerciais de Eucaliptos**. 143 p. Tese de Doutorado (Doutorado em Ciência Florestal). Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, 2011.

MIGUEL, E.P. **Avaliação Biométrica e Prognose da Produção de *Eucalyptus urophylla* (S.T. Blake) na região Norte do Estado de Goiás**. 161 p. Dissertação de Mestrado (Mestrado em Engenharia Florestal). Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2009.

MIGUEL, E.P. ENCINAS, J.I.; REZENDE, A.V.; FERREIRA, J.C.S.; AGUIAR, G.P. Classificação de Sítios de *Eucalyptus urophylla* em Niquelândia, Estado de Goiás. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v.7. n.12. p.1-11, 2011.

MIRANDA, R.O.V. de. **Modelagem em Nível de Povoamento para *Eucalyptus* sp. Com estratificação em Classes de Precipitação Pluviométrica.** 78 p. Dissertação de Mestrado (Mestrado em Ciências Florestais). Universidade Estadual do Centro Oeste Paranaense do Paraná. Itati, 2012.

MORAES e SILVA, V.S.; SOARES, T.S.; COLPINI, C.; TRAVAGIN, D.P.; HOSOKOWA, R.T.; SCOLFORO, J.R. Prognose de *Eucalyptus camadulensis* DEHNH. Pela Aplicação da Função de Distribuição S_B de Johnson. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 33, n. 5, p. 853-863, 2009.

OLIVEIRA, E. B de. **Um Sistema Computadorizado de Prognose do Crescimento e Produção De *Pinus taeda* L., com Critérios Quantitativos para a Avaliação Técnica e Econômica de Regimes de Manejo.** 134 p. Tese de Doutorado (Doutorado em Engenharia Florestal). Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 1995.

OLIVEIRA, E.B. de. Softwares “Sis” para Manejo e Análise Econômica de Florestas Plantadas. In: 3º Encontro Brasileiro de Silvicultura. **Anais**. Vol. II. Resumos Expandidos. Campinas, 369-372 p. Maio. 2014.

OLIVEIRA, E.B. de. Softwares para Manejo e Análise Econômica de Plantações Florestais. 70 p. **Documentos 216**. EMBRAPA, Colombo, Agosto, 2011.

OLIVEIRA, E.B.; OLIVEIRA, Y. M. M.; AHRENS, S.; MACHADO, S.A. **Classificação de Sítio para Povoamentos de *Pinus elliottii* Engelm no Sul do Brasil.** Boletim de Pesquisa Florestal, Colombo, n. 37, p. 5-18, Jul. /Dez. 1998.

OLIVEIRA, E.B.; MACHADO, S. A.; FIGUEIREDO FILHO, A. Sistema para Simulação e da Produção de *Pinus taeda* L. e Avaliação Econômica de Regime de Manejo. **Revista Árvore**. Viçosa, v.22, n.1, p.99-111, 1998.

OLIVEIRA, O.M. de. **Diferentes Métodos para Prognosticar a Distribuição Diamétrica em Povoamentos de Eucalipto.** 135 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais). Universidade Federal do Espírito Santo. Jerônimo Monteiro, 2013.

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

PEREIRA, J.C.D.; HIGA, A.R.; SHIMIZU, J.Y.; HIGA, R.C.V. Comparação da Qualidade da Madeira de Três Procedências de *Eucalyptus dunnii* Maiden, para Fins Energéticos. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Colombo, n. 13, p.9-16, dez. 1986.

PUNKEK. M. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos.** 51 p. EPAGRI. 2007.

RESTSLAFF, F.A. de S. **Modelagem do Crescimento e Produção em Classes de Diâmetros para Plantios de *Eucalyptus grandis*.** 168 p. Dissertação de Mestrado. Universidade Estadual do Centro Oeste Paranaense do Paraná. Itati, 2010.

RETSLAFF, F. A. de S. FIGUEIREDO FILHO, A.; DIAS, A. N.; BERNETT, L. G.; FIGURA, M. A. Prognose do crescimento e da produção em classes de diâmetro para povoamentos desbastados de *Eucalyptus grandis* no sul do Brasil. **Revista Árvore**, v. 36, n. 4, p. 719-732, 2012.

SALLES, T.T. **Modelagem de Crescimento e Produção de Clones de Eucalipto em um Sistema Agroflorestal**. 87 p. Dissertação de Mestrado. (Mestrado em Ciência Florestal). Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, 2010.

SANQUETA, C.R. **Fundamentos Biométricos dos Modelos de Simulação Florestal**. Curitiba: FUPEF, 1996. 49 p.

SANTANA, C.; MELLO, A.A.; EISFELD, R.de L.; SANQUETA, C.R. Sistema de Equações para Simulação do Crescimento e da Produção em Povoamentos de *Eucalyptus Grandis Hill Ex Maiden*. Sem Desbaste Baseado no Modelo de Clutter. **Ambiência**, Guarapuava, PR v.1 n.2 p. 239-256 jul./dez. 2005.

SANTANA, C.J. de O. **Simulação do crescimento e da produção em plantações desbastadas de *Eucalyptus grandis* com diferentes procedimentos de obtenção dos parâmetros da distribuição Weibull**. 100 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal). Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2008

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

SCOLFORO, J.R. S. Um Modelo de Crescimento e Produção para *Pinus Caribaea* VAR. *hondurensis* Sujeito a Desbastes. **Revista Árvore**. v. 16, n. 2, p. 144, 1992.

SCOLFORO, J. R. S.; FIGUEIREDO F. A. **Biometria Florestal: medição e volumetria de árvores**. Lavras: UFLA, 1998. 310 p.

SCOLFORO, J. R. S.; MACHADO, S. A. Curvas de índice de sítio para plantações de *Pinus elliottii* nos Estados do Paraná e Santa Catarina. **Floresta**, Curitiba, v.17, p.140-158, 1988.

SCOLFORO, J.R.S. **Biometria Florestal – Modelagem do Crescimento e da Produção de Florestas Plantadas e Nativas**. UFLA/FAEPE, Lavras, 1998. 463 p.

SCOLFORO, J.R.S. **Biometria Florestal: Módulo 3 - Métodos para Classificação de Sítios Florestais**. UFLA/FAEPE, Lavras, 1997. 151 p.

SCOLFORO, J.R.S. **Mensuração Florestal 3: Relações quantitativas: em volume, peso e a relação hipsométrica**. Lavras: ESAL/FAEPE, 1993. 292 p.

SCHÖPFER, W. **Automatisierung dês Massen, Sorten und Wertberechnung stender Waldbestande Schriftenreihe Bad.** [S.I.]: Wurt-Forstl., 1966. Não paginado.

SELLE, G. L.; PAULESKI, D.T.; BRAZ, E.M. **Como classificar Sítios Florestais Através da Altura dominante**. Colombo: EMBRAPA, 2008. 46 p.

SIIPILEHTO, J. A Compararison of Two Parameter Prediction Methods for Stand Structure in Finland. **Silva Fennica**. V. 34, n. 4, p. 3331-349. 2000.

SILVA, V. S. D. M., SOARES, T. S., COLPINI, C., TRAVAGIN, D. P., HOSOKAWA, R. T., SCOLFORO, J. R. S. Prognose da produção de *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh. pela aplicação da função de distribuição Sb de Johnson. **Revista Árvore**. Viçosa, v.33, n.5, p.853-863, 2009.

SOARES, C.P.B.; PAULA NETO, F.; SOUZA, A.L. **Dendrometria e Inventário Florestal**. Viçosa: UFV, 2006. 276 p.

SOARES, T. S., SILVA, M. L. D., GAMA, J. R. V., CARVALHO, R., VALE, R. S. D. (2003). Avaliação econômica de plantações de eucalipto submetidas a desbaste. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 27, n. 4, p. 481-486, 2003.

SOUZA, A.N. de. **Crescimento, Produção e Análise Econômica de Povoamentos Clonais de *Eucalyptus* sp. em Sistemas Agroflorestais**. 203 p. Tese de Doutorado (Doutorado em Ciências Florestais). Universidade Federal de Lavras. Lavras, 2005.

SPATHELF, P.; NUTTO, L. **Modelagem Aplicada ao crescimento Florestal**. 71 p. Universidade Federal de Santa Maria. 2000.

TEMPS, M. **Adição da Precipitação Pluviométrica na Modelagem do Crescimento e da Produção Florestal em Povoamentos Não Desbastados de *Pinus taeda* L.** 135 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal). Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2005.

TEWARI, V. P.; GADOW, K. V. Modelling the relationship between tree diameters and heights using S_{BB} distribution. **Forest ecology and management**, v.119, n.1. P.171-176.1999.

TONINI, H. **Crescimento e Produção de Clones de *Eucalyptus saligna* Smith, na Depressão Central e Serra Sudeste, Rio Grande do Sul**. 299 p. Tese de Doutorado (Doutorado em Engenharia Florestal). Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, 2003.

TONINI, H.; FINGER, C. A. G.; SCHNEIDER, P. R.; SPATHELF, P. Índice de sítio para *Pinus elliottii* Engelm, em três unidades de mapeamento de solo, nas regiões da serra do sudeste e litoral, no estado do Rio Grande do Sul, Brasil. **Ciência Florestal**. Santa Maria, v. 12, n. 2, p. 61-73, 2002.

TONINI, H.; SCHNEIDER, P.R; FINGER, C.A.G. Curvas de índice de sitio para povoamentos clonais de *Eucalyptus saligna* Smith para a Depressão Central e Serra do Sudeste, Rio Grande do Sul. **Ciência Florestal**, v. 16, n. 1, p. 27-43, 2006.

VANCLAY, Jerome K. Modelling forest growth and yield: applications to mixed tropical forests. **School of Environmental Science and Management Papers**, p. 537, 1994.

VEIGA, R.D.; SÁFADI, T. **Análise de Regressão e Séries Temporais**. Lavras: UFLA/FAEPE. 1999. 105 p.

WANG, M.; UPADHYAY, A.; ZHANG, L. Bivariate distribution Modeling of Tree Diameter, Height and Volume. **Forest Science**, v.56, n.3, p. 290-300, jun. 2010.

WENDLING, W.T. **Sistema Computacional e Modelagem para Simulação Dinâmica da Produção Florestal**. 191 p. Tese de Doutorado (Doutorado em Engenharia Florestal). Universidade Federal do Paraná, 2007.

ZUCCHINI, W.; SCHMIDT, M.; GADOW, K.V. A Model for the Diameter-Height Distribution in an Uneven-Aged Beech Forest and a Method to Assess the Fit of Such Models. **Silva Fennica**, v. 35, n.2. p. 169-183. 2001.

ANEXO 1 – CLASSES DE SÍTIOS

TABELA 1. LIMITES INFERIOR (LI) E SUPERIOR (LS) DAS ALTURAS DOMINANTES (m), ESTIMADAS POR IDADE E CLASSE DE SÍTIO DE POVOAMENTOS DE *Eucalyptus dunnii* PARA A REGIÃO DO PLANALTO NORTE CATARINENSE.

Idade (anos)	Classes de Sítio (m)							
	I		II		III		IV	
	Ls	Li	Ls	Li	Ls	Li	Ls	Li
1	5,32	4,53	4,53	3,74	3,74	2,95	2,95	2,16
2	11,58	9,86	9,86	8,14	8,14	6,42	6,42	4,70
3	17,65	15,03	15,03	12,41	12,41	9,78	9,78	7,16
4	23,28	19,82	19,82	16,36	16,36	12,90	12,90	9,44
5	28,37	24,16	24,16	19,94	19,94	15,72	15,72	11,50
6	32,94	28,04	28,04	23,15	23,15	18,25	18,25	13,35
7	37,00	31,50	31,50	26,00	26,00	20,50	20,50	15,00
8	40,59	34,55	34,55	28,52	28,52	22,49	22,49	16,45
9	43,74	37,24	37,24	30,74	30,74	24,24	24,24	17,73
10	46,51	39,60	39,60	32,68	32,68	25,77	25,77	18,86
11	48,94	41,66	41,66	34,39	34,39	27,11	27,11	19,84
12	51,05	43,47	43,47	35,88	35,88	28,29	28,29	20,70
13	52,90	45,04	45,04	37,17	37,17	29,31	29,31	21,45
14	54,51	46,41	46,41	38,31	38,31	30,20	30,20	22,10
15	55,91	47,60	47,60	39,29	39,29	30,98	30,98	22,67
16	57,13	48,64	48,64	40,15	40,15	31,65	31,65	23,16
17	58,19	49,54	49,54	40,89	40,89	32,24	32,24	23,59
18	59,11	50,32	50,32	41,54	41,54	32,75	32,75	23,96
19	59,91	51,00	51,00	42,10	42,10	33,19	33,19	24,29
20	60,60	51,59	51,59	42,58	42,58	33,58	33,58	24,57

ANEXO 2 – INVERSÃO E INTEGRAÇÃO DE FUNÇÕES DE AFILAMENTO

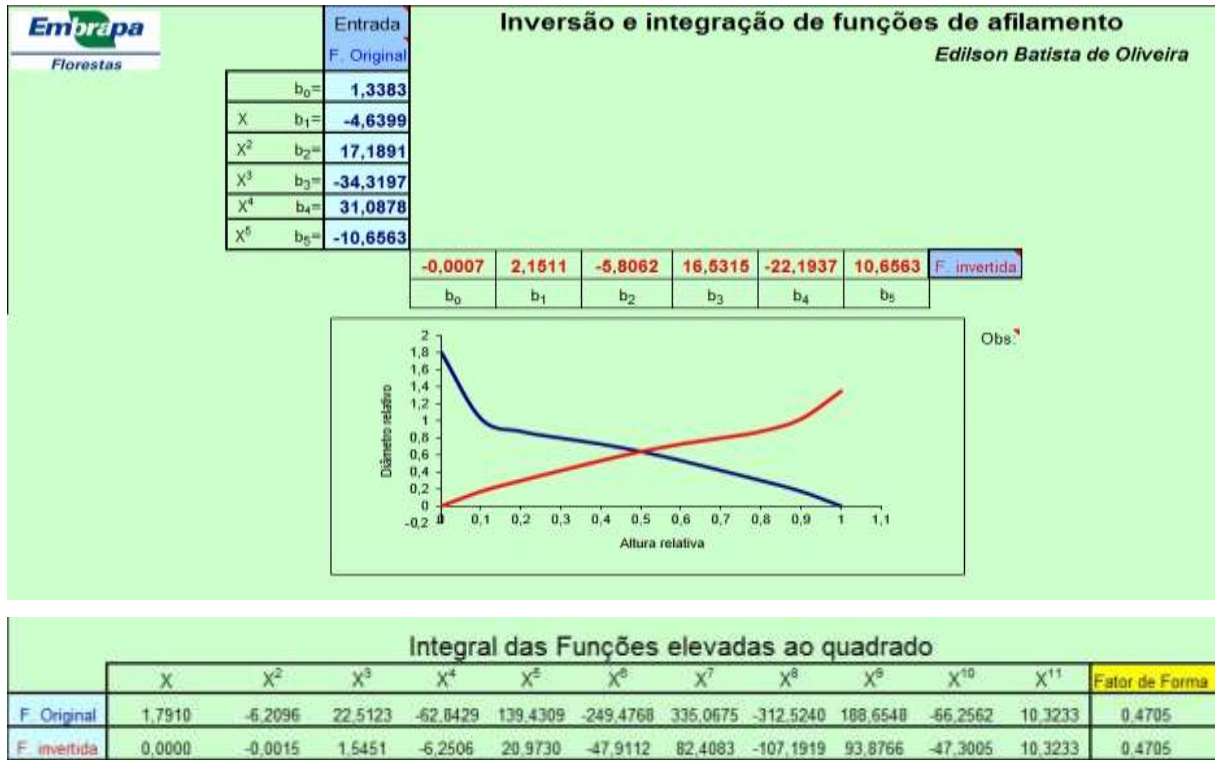


FIGURA 8 – INVERSÃO E INTEGRAÇÃO DA FUNÇÃO DE AFILAMENTO

ANEXO 3 - MANUAL DO SISDUNNII

1. APRESENTAÇÃO INICIAL

No início do simulador uma tela inicial mostra a autoria do programa por parte do EMBRAPA e os pesquisadores envolvidos, conforme FIGURA 1.



FIGURA 1 – TELA DE APRESENTAÇÃO DO SISDUNNII – SIMULADOR DE CRESCIMENTO E PRODUÇÃO DE PLANTAÇÕES DE *Eucalyptus dunnii*

2. SIMULAÇÃO

Ao abrir o software (FIGURA 2) é apresentado um resumo das informações que serão processadas. Na parte superior e esquerda da tela, estão dispostos vários comandos que o usuário irá utilizar para efetuar a simulação.

O passo inicial para a simulação é colocar o índice de sítio no comando situado mais ao centro superior da tela. O índice de sítio fornece a base para o potencial de produção da floresta.

Pode-se personalizar a simulação, na janela Descrição, nominando a mesma e salvando o arquivo para futuras utilizações.

No canto direito da tela, o comando Verificar faz uma verificação da correção dos dados. O comando Calcular mostra a tabela de crescimento e produção e os sortimentos, sendo similar ao comando Resultado situado na parte inferior da tela.

Na parte superior e esquerda da tela presente uma barra de botões, com comandos de opções de Novo, Abrir, Salvar, Salvar Como, Imprimir, Ocultar itens.

Logo acima na parte superior esquerda, as opções de Arquivo, Gráfico e Outros. Na opção Gráfico é mostrado um gráfico da simulação e informações técnicas da mesma.

O Outros traz informações sobre os softwares da EMBRAPA, com manual detalhado.

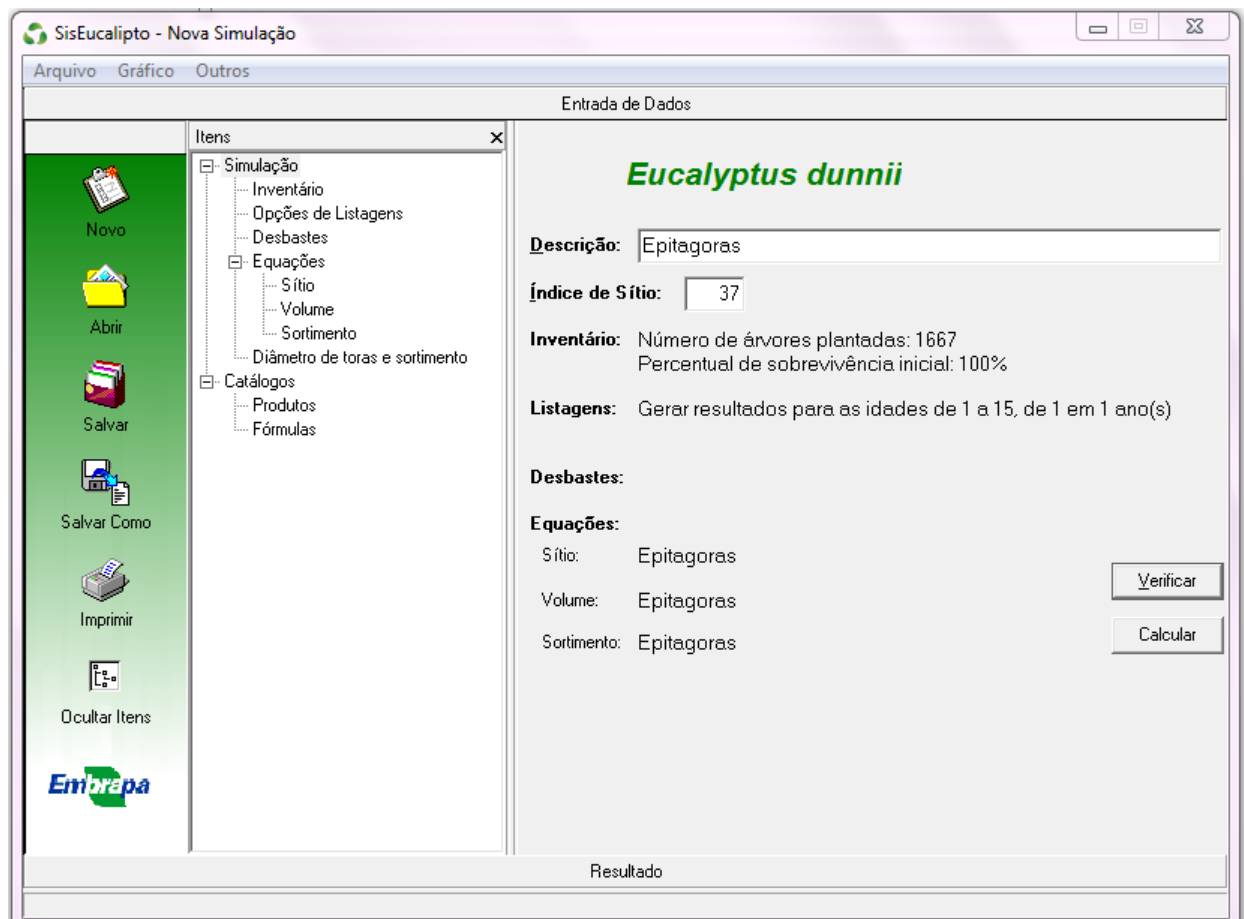


FIGURA 2 – TELA INICIAL PARA SIMULAÇÃO DE CRESCIMENTO DE *Eucalyptus dunnii*

2.1. Simulação com Dados de Inventário

Abaixo da Simulação, fica o comando de Inventário, onde o usuário informa os dados do povoamento, com três opções de simulação:

a) Número de árvores por hectare - Deverá ser informado os dados da floresta recém plantada, fornecendo a densidade por hectare e a sobrevivência no primeiro ano de vida do povoamento (FIGURA 3)

Inventário

Número de árvores plantadas por hectare

Densidade (árvores por hectare):

Porcentagem inicial de sobrevivência:

FIGURA 3 – OPÇÃO DA DENSIDADE INICIAL NA SIMULAÇÃO

b) Número de árvores por hectare em determinada idade – Usando-se esta opção, a anterior é imediatamente desativada. Nela se informa os dados de inventário da floresta em uma determinada idade, informando a densidade a idade da floresta (FIGURA 4)

Número de árvores por hectare em determinada idade

Densidade (árvores por hectare):

Idade em que as condições são conhecidas:

FIGURA 4 – OPÇÃO DA DENSIDADE EM DETERMINADA IDADE NA SIMULAÇÃO

c) Número de árvores por hectare e área basal ou diâmetro médio quadrático em determinada idade (FIGURA 5), sendo esta a opção mais completa em relação as anteriores, pois os dados do número de árvores num determinado estágio de desenvolvimento informado, pela área basal ou diâmetro médio quadrático, permite uma prognose de maior acurácia e precisão.

Número de árvores por hectare e área basal ou diâmetro quadrático médio em determinada idade

Densidade (árvores por hectare):

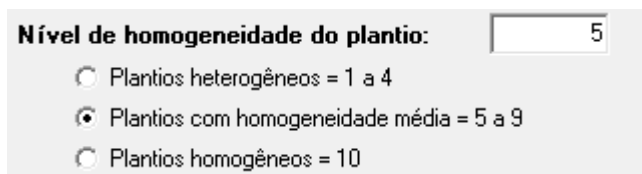
Idade em que as condições são conhecidas:

Área basal:

Diâmetro quadrático médio:

FIGURA 5 – OPÇÃO DE SIMULAÇÃO COM DADOS DE DESENVOLVIMENTO EM CERTA IDADE

O usuário deverá informar, em qualquer das 03 opções relatadas, o nível de homogeneidade do plantio (FIGURA 6). O parâmetro segundo Oliveira (2011), varia de 1 a 10, podendo ser baseado em alguma estatística do povoamento (variação, coeficiente de variação). O melhoramento genético sofrido, bem como o vigor das mudas influenciaram este padrão. Os plantio clonais poderão ter valores maiores que plantios normais, por apresentar geralmente um padrão mais uniforme de crescimento.



Nível de homogeneidade do plantio:

Plantios heterogêneos = 1 a 4

Plantios com homogeneidade média = 5 a 9

Plantios homogêneos = 10

FIGURA 6 – NÍVEL DE HOMOGENEIDADE DO PLANTIO

2.2. Opções de Listagens

Nesta tela o usuário irá informar as idades que deseja obter os resultados da simulação, tendo duas opções de listagem.

Inicialmente é necessário informar a idade inicial, que pode ser do inventário, e idade final (da colheita) para a simulação. Também deverá ser informado o intervalo de listagem, que mostrará os resultados anuais ou no intervalo desejado. Na mesma tela, o usuário deve informar o intervalo de classes de diâmetro para a produção.

No exemplo da FIGURA 7, a simulação terá a idade inicial de 1 ano e a idade final de 07 anos, sem a realização de desbastes. A listagem será com intervalo de 01 ano, com os dados de produção apresentados em sortimento com intervalos de diâmetro de 5 cm.

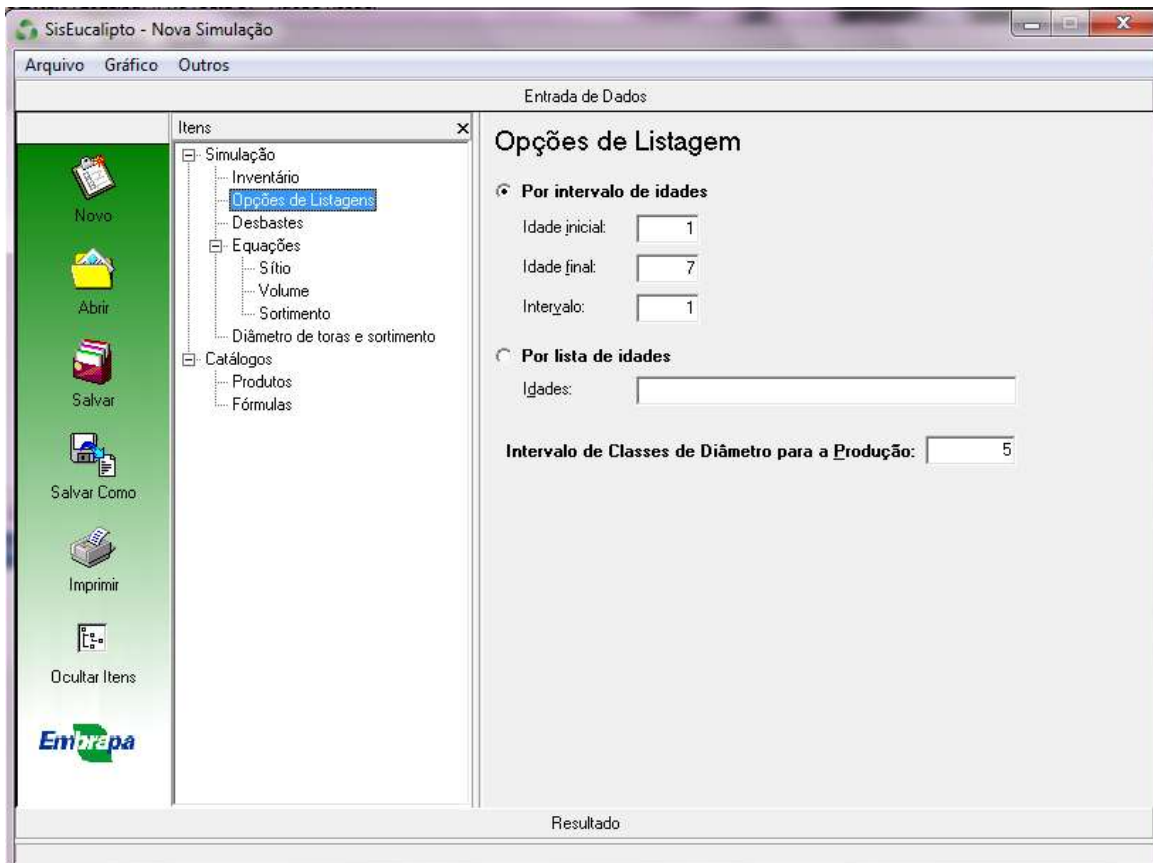


FIGURA 7 – OPÇÕES DE LISTAGEM NA SIMULAÇÃO

3. RESULTADOS DA SIMULAÇÃO

Com os dados inseridos no exemplo da FIGURA 8, simulador irá apresentar os resultados da simulação, com resultados anuais da evolução dos dados dendrométricos, como altura dominante, número de árvores por hectare, diâmetro médio, altura média, área basal, e os dados do incremento médio anual (IMA). Fornece também uma estimativa da produção de Carbono, não estudada na tese, porém fazendo parte do software.

Mostra também as bases da simulação, como a equação de sítio, a equação de volume, a equação de sortimento e a base de cálculo da produção de CO₂.

Logo abaixo o quadro das produções, com o sortimento na idade final escolhida e o sortimento conforme a intervalo de diâmetro selecionado e os tipos de sortimento gerado, tendo a opção de se ter mais de um produto conforme o diâmetro mínimo das toras.

SisEucalipto (Eucalyptus dunnii)

TABELA DE CRESCIMENTO E PRODUÇÃO

Descrição: Epitagogoras

Índice de Sítio: 26,0

Densidade (árvores por hectare): 1600

Porcentagem de sobrevivência: 90 %

Idade	Alt. Dominante	Árvores/Ha	Diâmetro Médio	Alt. Média	Área Basal	Volume Total	I.M.A.	tCO2
1	3,7	1440	1,7	2,8	0,3	0,7	0,7	0,7
2	8,1	1440	4,9	6,2	2,7	8,9	4,5	8,4
3	12,4	1439	7,8	9,5	6,9	31,2	10,4	29,3
4	16,4	1437	10,2	12,6	11,6	67,0	16,7	63,1
5	19,9	1431	12,1	15,4	16,4	112,5	22,5	105,9
6	23,2	1421	13,6	17,9	20,6	162,5	27,1	153,0
7	26,0	1405	14,8	20,1	24,2	212,4	30,3	200,0

PRODUÇÕES

SORTIMENTO PARA ÁRVORES REMOVIDAS NO CORTE FINAL (7 ANOS)

Classes DAP	Árv/ha	Altura Média	Volume Total	Serraria I	Serraria II	Celulose	Energia
5,0-10,0	51	15,1	2,9	0,0	0,0	1,4	1,5
10,0-15,0	780	19,5	87,1	0,0	0,0	86,6	0,5
15,0-20,0	520	20,7	105,0	0,0	0,0	104,9	0,1
20,0-25,0	54	21,8	17,5	7,0	9,2	1,3	0,0
Totais		20,1	212,4	7,0	9,2	194,2	2,0

FIGURA – FIGURA 8 – TABELA DE CRESCIMENTO E PRODUÇÃO

4. DESBASTES

Na tela de Desbastes, o usuário terá a interatividade com as informações, acessando a partir da tecla "+", podendo acrescentar mais de um desbaste, remover os desbastes ou editar os dados digitados. Será informado o tipo de desbaste que será realizado, a idade, o tipo de desbaste (seletivo ou sistemático), mostrado na FIGURA 9.

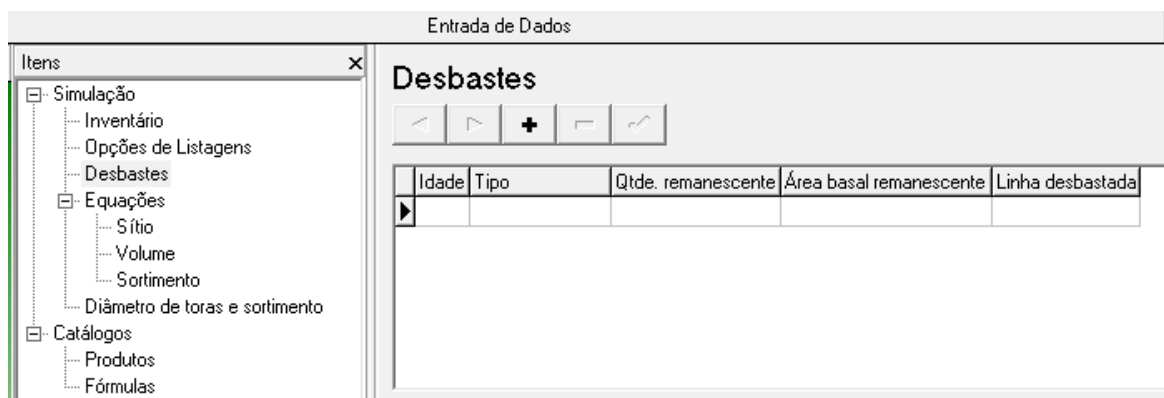


FIGURA 9 – DESBASTES NO SIMULADOR

O tipo de desbaste a ser efetuado deverá escolhido, podendo ser seletivo, sistemático ou sistemático seguido de seletivo. Se sistemático deverá ser informado a linha que será cortada totalmente. A intensidade do desbaste será processada de acordo com a área basal a ser retirada ou o número de árvores remanescente após o desbaste.

Como exemplo, a condução hipotética de um povoamento com objetivo de produção de energia combinado com a produção de madeira para comercialização (serraria), com desbaste seletivo aos 07 anos, com desbaste sistemático na 4ª linha seguido de seletivo, deixando-se 400 árvores por hectare. Aos 15 anos, novo desbaste seletivo, restando 200 árvores por hectare, conforme FIGURA 10.

The figure shows two screenshots of a simulation interface for logging (desbaste). Both screenshots have a title 'Desbaste'.

The top screenshot is for an age of 7 years. The 'Idade' field contains the number 7. Under the 'Tipo' section, 'Sistemático' is selected with a radio button. Below this, the field 'Informe a linha a ser desbastada:' contains the number 0. Under the 'Desbaste da população remanescente' section, 'Fixando o Número de árvores' is selected, and the corresponding field contains the number 400.

The bottom screenshot is for an age of 15 years. The 'Idade' field contains the number 15. Under the 'Tipo' section, 'Seletivo' is selected with a radio button. Under the 'Desbaste da população remanescente' section, 'Fixando o Número de árvores' is selected, and the corresponding field contains the number 200.

FIGURA 10– EXEMPLOS DE LANÇAMENTO DE DESBASTES NO SIMULADOR

Sendo a simulação realizada com os dados do exemplo, o sistema fornecerá as informações técnicas de cada desbaste na Tabela de Crescimento e Produção.

As produções por sortimento de cada desbaste e do corte final serão fornecidas pelo simulador (FIGURA 11).

SisEucalipto (Eucalyptus dunnii)

TABELA DE CRESCIMENTO E PRODUÇÃO

Idade	Alt. Dominante	Árvores/Ha	Diâmetro Médio	Alt. Média	Área Basal	Volume Total	I.M.A.	tCO2
1	3,7	1440	1,7	2,8	0,3	0,7	0,7	0,7
2	8,1	1440	4,9	6,2	2,7	8,9	4,5	8,4
3	12,4	1439	7,8	9,5	6,9	31,2	10,4	29,3
4	16,4	1437	10,2	12,6	11,6	67,0	16,7	63,1
5	19,9	1431	12,1	15,4	16,4	112,5	22,5	105,9
6	23,2	1421	13,6	17,9	20,6	162,5	27,1	153,0
7	26,0	1405	14,8	20,1	24,2	212,4	30,3	200,0

O povoamento foi desbastado pela remoção de 1005 árvores.

Idade	Alt. Dominante	Árvores/Ha	Diâmetro Médio	Alt. Média	Área Basal	Volume Total	I.M.A.	tCO2
8	28,5	400	19,2	21,8	11,6	108,4	32,5	102,1
9	30,7	399	20,6	23,6	13,3	134,6	31,8	126,7
10	32,7	399	21,8	25,1	14,9	159,2	31,1	149,9
11	34,4	398	22,7	26,5	16,2	181,8	30,3	171,1
12	35,9	397	23,5	27,7	17,2	202,1	29,5	190,3
13	37,2	396	24,1	28,7	18,1	220,2	28,6	207,4
14	38,3	395	24,7	29,6	18,9	236,2	27,7	222,4
15	39,3	394	25,1	30,4	19,5	250,1	26,8	235,5

PRODUÇÕES

SORTIMENTO PARA ÁRVORES REMOVIDAS NO DESBASTE (7 ANOS)

Classes DAP	Árv/ha	Altura Média	Volume Total	Serraria I	Serraria II	Celulose	Energia
5,0-10,0	36	15,1	2,1	0,0	0,0	1,0	1,1
10,0-15,0	558	19,5	62,3	0,0	0,0	62,0	0,3
15,0-20,0	372	20,7	75,1	0,0	0,0	75,0	0,0
20,0-25,0	39	21,8	12,5	5,0	6,6	0,9	0,0
Totais		20,1	151,9	5,0	6,6	138,9	1,5

SORTIMENTO PARA ÁRVORES REMOVIDAS NO DESBASTE (15 ANOS)

Classes DAP	Árv/ha	Altura Média	Volume Total	Serraria I	Serraria II	Celulose	Energia
15,0-20,0	1	39,3	0,3	0,0	0,1	0,2	0,0
20,0-25,0	165	28,9	80,6	25,6	43,0	12,0	0,0
25,0-30,0	28	27,2	17,6	12,8	4,6	0,3	0,0
30,0-35,0	1	29,2	0,6	0,5	0,0	0,0	0,0
Totais		29,6	99,1	38,9	47,8	12,4	0,0

SORTIMENTO PARA ÁRVORES REMOVIDAS NO CORTE FINAL (18 ANOS)

Classes DAP	Árv/ha	Altura Média	Volume Total	Serraria I	Serraria II	Celulose	Energia
25,0-30,0	45	41,5	45,8	34,6	10,7	0,4	0,0
30,0-35,0	155	37,8	176,4	168,2	7,9	0,3	0,0
Totais		36,4	222,2	202,8	18,7	0,7	0,0

FIGURA 11 – EXEMPLO DE SIMULAÇÃO DE PRODUÇÃO COM DESBASTES NO SISDUNNII

Após o processamento, se o desbaste for alterado, na mesma tela será apresentado um resumo mostrando os resultados do desbaste anterior, como no exemplo a FIGURA 12.

Desbaste

Idade

Tipo

Seletivo

Sistemático

Sistemático seguido de Seletivo

Informe a linha a ser desbastada:

Desbaste da população remanescente

Fixando a Área basal

Fixando o Número de árvores

Resultados da Simulação Anterior

Número de Árvores removidas:	1005
Área Basal removida:	17,3
Diametro médio das árvores:	14,8
Altura média das árvores:	20,1
Volume total de produção do Desbaste:	151,9

FIGURA 12- INCLUSÃO DOS RESULTADOS DA SIMULAÇÃO ANTERIOR COM A MODIFICAÇÃO DO DESBASTE

5. EQUAÇÕES

As equações que serão utilizadas nos cálculos da simulação e produção são apresentadas na tela de equações, com botão à direita permitindo o acesso às equações armazenadas no catálogo de fórmulas (FIGURA 13).

Equações

Equação de sítio:

...

Equação de volume:

...

Equação de sortimento:

...

FIGURA 13- EQUAÇÕES UTILIZADAS NA SIMULAÇÃO

A equação de sítio é acessada a partir do acesso às equações na tela, conforme FIGURA 14. Se o usuário tiver alguma equação ajustada, poderá introduzi-la no catálogo de fórmulas.

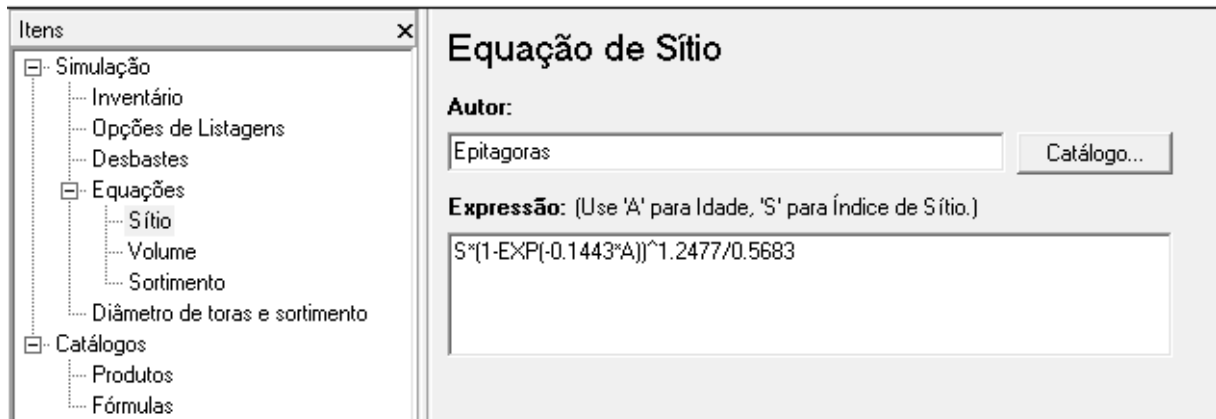


FIGURA 14 – EQUAÇÃO DE SÍTIO E OPÇÕES DE MODELOS PARA A SIMULAÇÃO

A equação de volume é acessada conforme a anterior, com os mesmos recursos do armazenamento de fórmulas no catálogo (FIGURA 15).

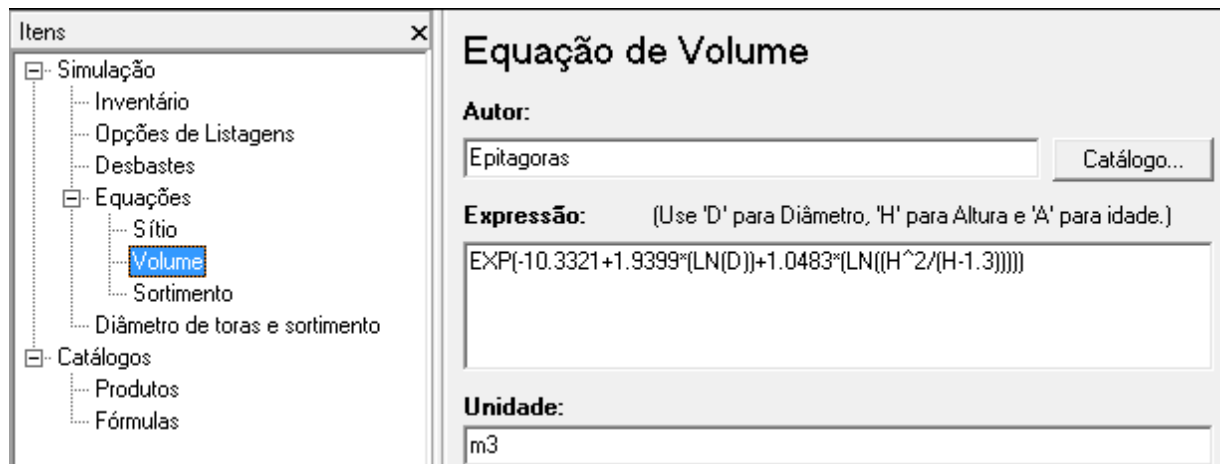


FIGURA 15 – EQUAÇÃO DE VOLUME UTILIZADA NA SIMULAÇÃO

A equação de sortimento é apresentada na tela, assim como o quadrado da integral da mesma equação. O cálculo da integral pode ser realizado no item “Outros”, localizado na barra superior do software, acessando-se a opção “Equação de Sortimento” e lançando os dados numa planilha previamente configurada para o cálculo. A FIGURA 16 mostra a tela com a equação de sortimento.

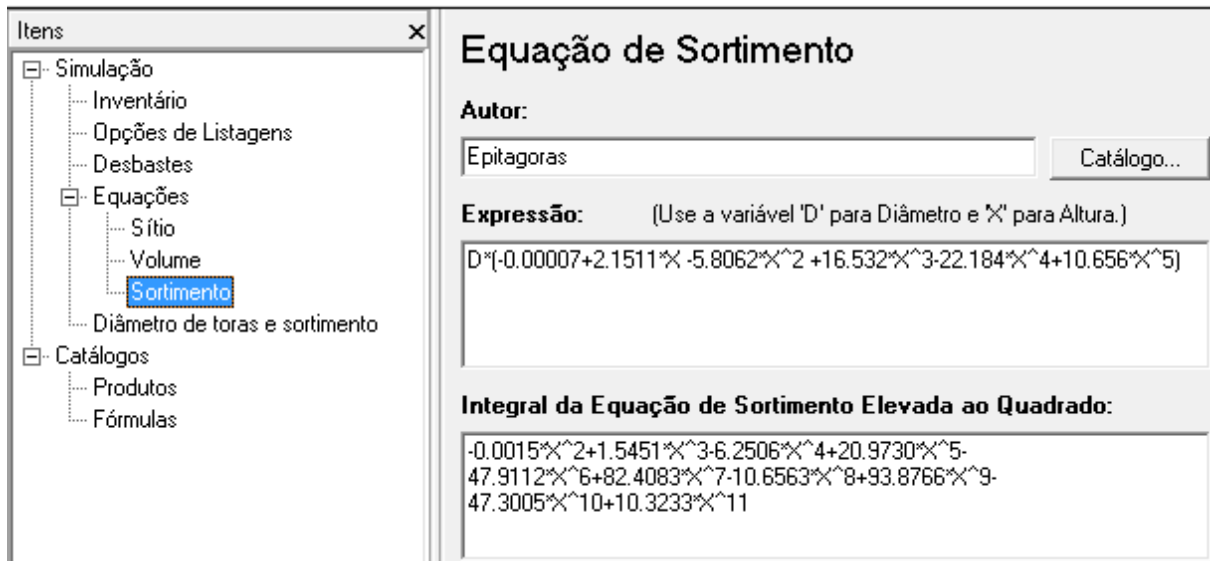


FIGURA 16 – EQUAÇÃO DE SORTIMENTO E SUA INTEGRAL AO QUADRADO, UTILIZADA NOS CÁLCULOS DA SIMULAÇÃO

Para alterar ou inserir qualquer tipo de equação, de sítio, de volume ou sortimento, deve-se seguir as instruções constantes do manual.

Na FIGURA 17, um exemplo da apresentação do diâmetros e sortimentos.

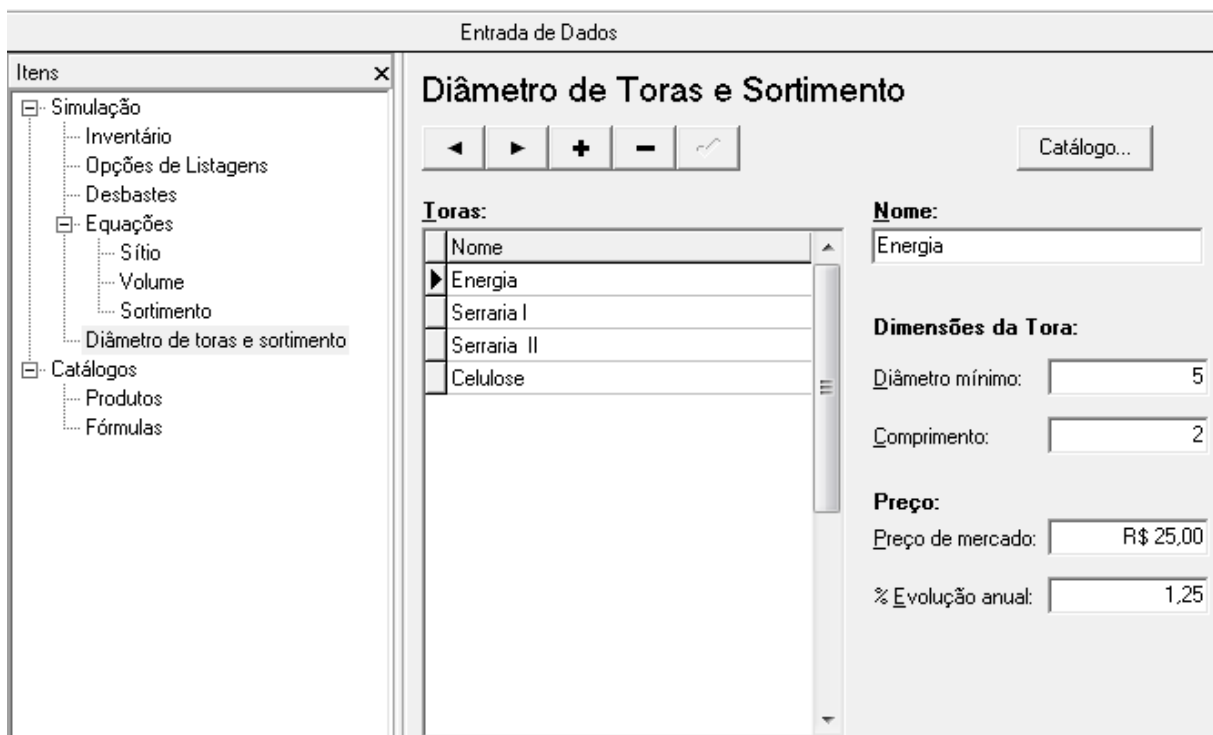


FIGURA 17- DIÂMETROS E SORTIMENTOS DAS TORAS

Os volumes produzidos pela simulação, podem ser classificadas conforme os diâmetros e comprimentos adotados pelo usuário. Pode-se nominar cada sortimento em particular, como energia, serraria I, Serraria II, etc.

Cada tora é classificada conforme o lançamento no comprimento da tora e diâmetro mínimo considerado. Esta classificação pode ser salva no catálogo e alterada quando o usuário achar conveniente.

6. CATÁLOGOS

6.1 . Produtos

Os catálogos são acessados no botão “Catálogo” no canto superior direito da tela, com acesso ao catálogo de produtos, com a possibilidade de ser ter vários tipos de produtos, confirme sua utilização comercial, diâmetros mínimos e comprimentos das toras, conforme exemplo da FIGURA 18.

Neste caso são listados as toras para energia com diâmetro mínimo de 5 cm e 2 m de comprimento; Energia II, com diâmetro mínimo de 15 cm e toras com 2,0 metros de comprimento; Serraria I com diâmetro mínimo de 25 cm e toras com 2,50 metros de comprimento, e Serraria II, com diâmetro mínimo de 35 cm e toras com 2,5 metros de comprimento.

The screenshot shows the 'Catálogo de Produtos' window. On the left, a tree view under 'Itens' shows 'Catálogos' > 'Produtos' selected. The main window title is 'Catálogo de Produtos'. Below the title are navigation buttons: left arrow, right arrow, plus, minus, and checkmark. A table titled 'Produtos:' contains the following data:

Nome	Diâmetro mínimo	Comprimento	Preço	% Evolução anual
Serraria I	25	2,5	R\$ 60,00	0
Serraria II	15	2,0	R\$ 60,00	0
Energia I	5	2	R\$ 60,00	0
Energia	5	2	R\$ 60,00	0

On the right side of the window, there are input fields for:

- Nome:** Serraria II
- Dimensões da Tora:**
 - Diâmetro mínimo: 25
 - Comprimento: 2,5
- Preço:**
 - Preço de mercado: R\$ 60,00
 - % Evolução anual: 0

FIGURA 18 - CATÁLOGO DE PRODUTOS CONFORME SUA UTILIZAÇÃO COMERCIAL

6.2. Fórmulas

O Catálogo de Fórmulas fornecerá todas as fórmulas salvas e possíveis de serem utilizadas no processo de simulação, conforme FIGURA 19.

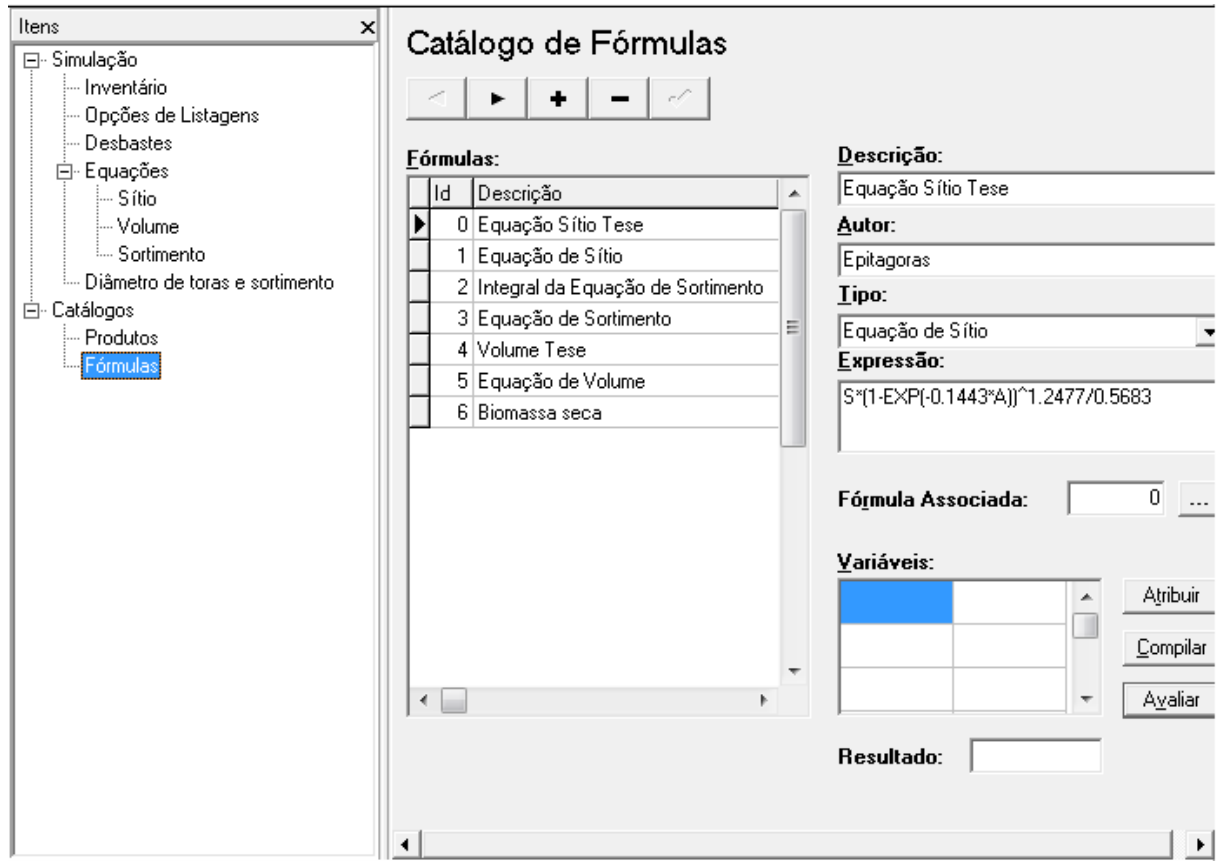


FIGURA 19 – FÓRMULAS DO CATÁLOGO DE FÓRMULAS DO SIMULADOR

Pelo catálogo pode-se acessar qualquer uma das fórmulas listadas. A fórmula de Biomassa Seca não foi objeto de estudo nesta tese. Além das fórmulas ajustadas para a tese, tem-se a opção das fórmulas elaboradas pela EMBRAPA.

Novas fórmulas poderão ser acrescentadas ao formulário, seguindo-se as instruções constantes no Manual do software. Após nominadas e salvas, poderão fazer parte do catálogo.

Observa-se que mesmo com fórmulas próprias do usuário, para a obtenção dos resultados, ainda serão utilizadas a equação de mortalidade e distribuição diamétrica já ajustadas e incorporadas no simulador.

No caso da equação de sortimento é necessário seguir os passos já descritos no item das equações. Qualquer uma das fórmulas poderá ser testada, digitando-se as variáveis utilizadas na fórmula e seus valores. Na sequência clicando-se em “Atribuir”, “Compilar” e “Avaliar” tem o resultado, que poderá ser conferido com o cálculo previamente realizado. Se o resultado apresentar distorções, a fórmula deverá ser corrigida.

Na FIGURA 20 a seguir, um exemplo deste teste, utilizando-se a equação de volume ajustada e dados de diâmetro e altura de uma árvore, com o resultado do volume em metros cúbicos.

The screenshot shows a software window with the following fields and controls:

- Descrição:** Volume Tese
- Autor:** Epitagoras
- Tipo:** Equação de Volume (dropdown menu)
- Expressão:** $\text{EXP}[-10.3321+1.9399*(\text{LN}(D))+1.0483*(\text{LN}((H^2/(H-1.3))))]$
- Fórmula Associada:** 0 (with a dropdown arrow)
- Variáveis:** A table with two rows:

D	20	▲	Atribuir
H	16	■	Compilar
- Resultado:** 0,2175

FIGURA 20 – TESTE DA EQUAÇÃO DE VOLUME COM VALORES ATRIBUÍDOS DE DIÂMETRO (D) E ALTURA (H)

7. RESULTADOS

Com a utilização de todos os recursos já comentados anteriormente, a opção “Resultados” poderá ser acionada para gerar os resultados das simulações. Para iniciar nova simulação, deve-se acionar na tela a opção “Entrada de Dados” na parte superior da tela.

7.1 Exemplo de Simulação

Simulação de uma floresta para produção de lenha energética, com densidade inicial de 1.600 árvores.ha⁻¹, sobrevivência no primeiro ano de 90% das mudas, homogeneidade 5, Índice de sítio 31,50, sem desbaste, com corte final aos 08 anos, com produção total para energia.

Nas figuras a seguir, a sequência de telas que o usuário irá precisar acessar, bem como as equações utilizadas, até o resultado final da simulação, mostradas nas figuras seguintes: FIGURA 20; FIGURA 21; FIGURA 22; FIGURA 23; FIGURA 24; FIGURA 25; FIGURA 26; FIGURA 27 e FIGURA 28.

Eucalyptus dunnii

Descrição: Produção de Energia

Índice de Sítio: 26

Inventário: Número de árvores por hectare na idade 8: 1691

Listagens: Gerar resultados para as idades de 8 a 9, de 1 em 1 ano(s)

Desbastes:

Equações:

Sítio: Epitagoras

Volume: Epitagoras

Sortimento: Epitagoras

Verificar

Calcular

FIGURA 20 – SIMULAÇÃO DE PRODUÇÃO DE ENERGIA COM ÍNDICE DE SÍTIO 26

Inventário

Número de árvores plantadas por hectare

Densidade (árvores por hectare): 1600

Porcentagem inicial de sobrevivência: 90

FIGURA 21 – NÚMERO DE ÁRVORES PLANTADAS E SOBREVIVÊNCIA INICIAL

Nível de homogeneidade do plantio: 5

Plantios heterogêneos = 1 a 4

Plantios com homogeneidade média = 5 a 9

Plantios homogêneos = 10

FIGURA 22 – NÍVEL DE HOMOGENEIDADE DO POVOAMENTO

Opções de Listagem

Por intervalo de idades

Idade inicial:

Idade final:

Intervalo:

Por lista de idades

Idades:

Intervalo de Classes de Diâmetro para a Produção:

FIGURA 23 – LISTAGENS COM IDADE INICIAL E FINAL, INTERVALO ENTRE IDADES E O INTERVALO DE DIÂMETRO DA PRODUÇÃO VOLUMÉTRICA

Equações

Equação de sítio:
 ...

Equação de volume:
 ...

Equação de sortimento:
 ...

FIGURA 24 – BASE DAS EQUAÇÕES UTILIZADAS PARA A SIMULAÇÃO

Equação de Sítio

Autor:

Expressão: (Use 'A' para Idade, 'S' para Índice de Sítio.)

FIGURA 25 – EQUAÇÃO DE SÍTIO DO POVOAMENTO

Equação de Sortimento

Autor:

Expressão: (Use a variável 'D' para Diâmetro e 'X' para Altura.)

Integral da Equação de Sortimento Elevada ao Quadrado:

FIGURA 26 – EQUAÇÃO DE SORTIMENTO PARA OS CÁLCULOS

Diâmetro de Toras e Sortimento

Toras:

Nome
Energia
▶ Energia I

Nome:

Dimensões da Tora:

Diâmetro mínimo:

Comprimento:

FIGURA 27 – DIÂMETRO DA TORAS, COM COMPRIMENTOS E DIÂMETROS MÍNIMOS

SisEucalipto (Eucalyptus dunnii)

TABELA DE CRESCIMENTO E PRODUÇÃO

Descrição: Produção de Energia

Índice de Sítio: 26,0

Densidade (árvores por hectare): 1600

Porcentagem de sobrevivência: 90 %

Idade	Alt. Dominante	Árvores/Ha	Diâmetro Médio	Alt. Média	Área Basal	Volume Total	I.M.A.	tCO2
1	3,7	1440	1,7	2,9	0,3	0,7	0,7	0,7
2	8,1	1440	4,9	6,4	2,7	9,1	4,5	8,5
3	12,4	1439	7,8	9,8	6,8	31,8	10,6	30,0
4	16,4	1437	10,1	13,0	11,5	68,3	17,1	64,3
5	19,9	1431	12,0	15,8	16,2	114,3	22,9	107,6
6	23,2	1421	13,5	18,4	20,3	164,8	27,5	155,2
7	26,0	1406	14,7	20,7	23,8	215,2	30,7	202,6
8	28,5	1384	15,6	22,7	26,6	262,2	32,8	246,9

PRODUÇÕES

SORTIMENTO PARA ÁRVORES REMOVIDAS NO CORTE FINAL (8 ANOS)

Classes DAP	Árv/ha	Altura Média	Volume Total	Energia I	Energia
8,0-10,0	4	18,1	0,3	0,0	0,3
10,0-12,0	121	20,7	11,2	0,0	11,2
12,0-14,0	333	21,8	42,8	0,0	42,8
14,0-16,0	390	22,5	67,3	35,2	32,0
16,0-18,0	296	23,1	66,3	51,7	14,6
18,0-20,0	162	23,6	45,8	41,3	4,5
20,0-22,0	62	24,2	21,7	20,8	0,9
22,0-24,0	15	24,7	6,1	6,0	0,1
24,0-26,0	1	25,3	0,7	0,7	0,0
Totais		22,7	262,2	155,8	106,4

FIGURA 28 – RESULTADO DA SIMULAÇÃO PARA PRODUÇÃO DE ENERGIA, COM DADOS DENDROMÉTRICOS ANUAIS, DADOS DO CRESCIMENTO E VOLUME PRODUZIDO POR SORTIMENTO

**CAPÍTULO II: REGIMES DE MANEJO DE *Eucalyptus dunnii* MAIDEN
E RENTABILIDADE ECONÔMICA**

RESUMO

A espécie *Eucalyptus dunnii* Maiden é uma das principais alternativas de produção de madeira para energia. Porém, a espécie também pode-se constituir em opção para outros usos. Foram levantados os custos de implantação e manutenção das florestas, custos de colheita, valores de mercado da madeira e de terras. Foram realizadas, com uso do simulador SisDunnii, 153 diferentes regimes de manejo, com e sem desbastes, em três densidades de árvores com 1333, 1600 e 2.000.ha⁻¹. Os regimes foram avaliados economicamente, tendo como principal critério de avaliação econômica o Valor Anual Equivalente (VAE). Os regimes com 1333 árvores.ha⁻¹ tiveram melhor desempenho dos regimes não desbastados. O melhor regime sem desbaste, entre foi o regime com 1333 árvores.ha⁻¹, com corte raso aos 12 anos. O melhor regime com regimes desbastados, com desbastes ao 7, 10, 14 e corte final aos 18 anos, com VAE de R\$ 781,40 .ha⁻¹. A menor densidade de árvores no plantio favorece os resultados econômicos. A realização de desbastes em povoamentos de *Eucalyptus dunnii* melhoram os resultados econômicos, em relação aos regimes sem desbaste.

Palavras-Chave: Produção Florestal; SisDunnii; Viabilidade Econômica; Produção volumétrica; Valor Anual Equivalente.

ABSTRACT

The species *Eucalyptus dunnii* Maiden is one of the main alternatives for the production of wood for energy. However, the species can also be as an option for other uses. Were raised the cost of deployment and maintenance of forests, harvesting costs, market values of timber and land. Were performed, with use of the simulator SisDunnii, 153 different management regimes, with and without thinning, in three densities of trees with 1333, 1600 and 2.000.ha⁻¹. The schemes were endorsed economically, having as the main criterion of economic assessment the Equivalent Annual Value. The regimes with 1333 trees.ha⁻¹ had better performance of do not thinned regimes. The best without thinning regime, was among the regime with 1333 trees.ha⁻¹ with clearcutting to 12 years. The best regime with chopped regimes with thinning to 7, 10, 14 and end cut to 18 years, with Equivalent Annual Value of R\$ 781.40 .ha⁻¹. The lower density of trees in planting favors the economic results. The realization of thinnings in stands of *Eucalyptus dunnii* improve the economic results in relation to regimes without thinning.

Key words: Forest Production; SisDunnii; Economic viability; Volumetric production; Equivalent Annual Value.

1. INTRODUÇÃO

O plantio de florestas de rápido crescimento, visando o abastecimento industrial é uma das opções florestais de produtores e empresas, em especial, a produção de madeira para energia.

O plantio de *Eucalyptus dunnii* Maiden vem se constituindo em alternativa interessante para o sul do País, com boa tolerância a geadas e formando florestas uniformes e com ciclos rápidos (PEREIRA *et al.*, 1986).

A espécie tem alcançado boas produtividades, sendo que no Estado de Santa Catarina tem atingido produções de 40 m³.ha⁻¹.ano, porém, com o plantio de clones de alto rendimento, as produções podem alcançar de 50 a 60 m³.ha⁻¹.ano (ASSOCIAÇÃO CATARINENSE DE EMPRESAS FLORESTAIS (ACR), 2014).

A madeira desta espécie pode ser uma alternativa de produção de madeira para o suprimento industrial da indústria madeireira e outros setores. Porém, a madeira ainda apresenta algumas limitações decorrentes do rápido crescimento, como rachaduras causadas pelas tensões de crescimento e defeitos na secagem.

A madeira desta espécie, em especial de florestas jovens, pode apresentar problemas tecnológicos, no entanto atualmente o mercado é comprador deste tipo de madeira, atendendo mercados de caixas, embalagens, dormentes de ferrovia, madeira estrutural e laminação.

As empresas que necessitam de produção para o abastecimento industrial para energia, fibras e celulose, realizam manejos curtos com ciclos de duração entre 7 a 9 anos, que acabam se constituindo em manejos padrões, seguidos por produtores e outras empresas interessadas em comercialização da produção. Porém existem outras alternativas mais rentáveis economicamente do que estes regimes curtos, com a exploração de outros produtos para outros segmentos industriais.

Esta é uma tendência atual de produção de florestas para multiprodutos, definido por Soares *et al.*, 2003a, como a capacidade de um mesmo fuste de uma árvore produzir madeira para laminação, serraria, fabricação de papel e celulose e, ainda, aproveitar os resíduos da madeira para fabricação de chapas de fibras e geração de energia, entre outros produtos, sendo essa, provavelmente, a opção que apresente maior possibilidade de remuneração do produto advindo de povoamentos florestais.

Entretanto, para alcançar este objetivo, o manejo da produção de madeira com melhor qualidade é diferente do manejo destinado a madeira para celulose, papel, energia e painéis, necessitando de desbastes e podas, bem como regimes de manejo mais longos e cuidados silviculturais mais intensos. Estes regimes também necessitam de avaliação econômica para sua possível aplicação.

Com a utilização do simulador de crescimento e produção SisDunnii, foram simulados além dos regimes tradicionais sem desbastes voltados a produção de madeira fina (energia e celulose), também simulados regimes alternativos com produção de mutiprodutos (energia, celulose, serraria, laminação e faqueado).

A aplicação de critérios de análise econômica auxilia na escolhas dos projetos mais viáveis economicamente. Nas avaliações econômicas os indicadores econômicos foram o Valor Anual Equivalente (VAE), também chamado de Valor Presente Líquido Anualizado (VPLa), a Taxa Interna de Retorno (TIR) e o Valor Esperado da Terra (VET), se definindo assim os regimes com maior retorno econômico para a produção de madeira de *Eucalyptus dunnii*.

Neste capítulo tem-se como objetivo principal o estudo de alternativas de manejo para *Eucalyptus dunnii*, em regimes com e sem desbastes, comparando os resultados técnicos e econômicos, para a escolha dos regimes mais viáveis.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 O *Eucalyptus dunnii* Maiden

O *Eucalyptus dunnii* Maiden é originário da região nordeste de Novas Gales do Sul e do sudeste de Queensland, em latitudes entre 28° a 30° 15'' e altitudes de 300 a 750 metros. O clima predominante é subtropical úmido, com temperaturas médias das máximas do mês mais quente entre 27° e 30° e média das mínimas do mês mais frio entre 0° a 3°C, ocorrendo 20 a 60 geadas anuais. A precipitação média anual é de 1.000 a 1.750 mm, com maior ocorrência no verão, sempre superior a 40 mm mensais e a estação seca no inverno não excede a três meses (CARPANEZZI, *et al.*, 1988).

O *Eucalyptus dunnii* é indicado para plantio no estado de Santa Catarina, em altitudes entre 500 e 1.000m, e em regiões de ocorrência de geadas no estado do Paraná (CARPANEZZI, *et al.*, 1988).

A espécie tem resistência a geadas com mecanismos de prevenção e tolerância. Em condições de temperaturas abaixo de 0°C, o metabolismo das células é afetado, reduzindo-se ao mínimo as funções fisiológicas mais importantes. Tem apresentado rápido crescimento, boa uniformidade dos povoamentos, boa forma das árvores e resistência a geadas não muito severas (HIGA, 1999).

Algumas regiões do Estado de Santa Catarina são sujeitas a invernos rigorosos, constituindo-se problema para o cultivo de *Eucalyptus*, que é bastante plantado para a produção de energia. Em algumas regiões com altitudes inferiores a 1000 metros é possível o cultivo de *Eucalyptus dunnii* e *Eucalyptus viminalis* (CARPANEZZI *et al.*, 1988). Recentemente o *Eucalyptus benthamii* tem mostrado boas perspectivas de produção, pela sua resistência a geadas (HIGA, 1999).

Alguns indicadores climáticos no qual a espécie apresenta melhores resultados de produção, são citados por Paludzyszyn Filho e Santos (2005), presente na TABELA 1.

TABELA 1 – INDICADORES CLIMÁTICOS PARA *Eucalyptus dunnii*

Parâmetros Bioclimáticos	Indicadores (Mínimo / Máximo)	
Precipitação média anual	845 mm	1950 mm
Temperatura média das máximas do mês mais quente	24º C	31º C
Temperatura média das mínimas do mês mais frio	-1º C	17º C
Temperatura média anual	12º C	22º C
Número de meses sem chuvas	0	5
Regime de chuvas	Regular no verão	

Fonte: Paludzyszyn Filho e Santos (2005)

2.2 PLANTIO DE FLORESTAS ENERGÉTICAS

O conceito de florestas energéticas está sendo empregado para definir maciços florestais plantados com objetivo de produzir a maior quantidade de energia por hectare, no menor espaço de tempo possível. Suportam normalmente altas lotações de plantas, espaçamentos pequenos e ciclos curtos. Entre as espécies mais adaptadas a este tipo de cultivo destaca-se o Eucalipto, podendo-se citar também as Acácias, Mimosas e Leucaenas (NOGUEIRA E LORA, 2003).

O plantio de florestas uniformes de rápido crescimento, visando o abastecimento industrial ocupará à curto prazo, uma posição de destaque no contexto energético nacional. O eucalipto, por ser uma madeira de elevada versatilidade e elevada produtividade, atende, na maioria dos casos, à necessidade energética do país (BARCELLOS *et al.*, 2005).

O plantio de florestas energéticas com a finalidade exclusiva de produção de biomassa cria uma perspectiva ambiental mais sustentável, uma vez que o sistema de produção contempla o aproveitamento da madeira e, conseqüentemente, o retorno dos resíduos culturais (galhos, folhas e ponteiros) para o solo. O plantio de florestas de rápido crescimento é uma importante alternativa para o suprimento crescente de lenha para fins industriais (STURION; PEREIRA; CHEMIN, 1988).

O Brasil é um dos países que detém a tecnologia para a formação de plantações florestais de rápido crescimento, especialmente dos eucaliptos (SILVA, 2008).

Nos estados do sul do Brasil, as baixas temperaturas e a ocorrência de geadas têm sido os principais fatores limitantes da sobrevivência e do crescimento de espécies de *Eucalyptus* (LIMA *et al.*, 2007).

Normalmente o retorno financeiro dos plantios de eucalipto ocorre após os cinco anos de idade. Assim, o fator geada deve ser considerado como aspecto chave na opção pelo investimento (PALUDZYSZYN FILHO e SANTOS, 2005)

Entre as espécies plantadas na região sul, estão o *Eucalyptus dunnii*, *Eucalyptus viminalis* e recentemente *Eucalyptus benthamii* Maiden et Cabbage, que ainda requer mais pesquisas (LIMA *et al.*, 2007).

Pela rapidez e uniformidade de crescimento, bem como pela tolerância a geadas, *Eucalyptus dunnii* é uma das principais alternativas para o sul do Brasil (PEREIRA *et al.* 1986). Pode ser considerada como a espécie com maior número de indicações favoráveis para crescimento sob condições de clima temperado (PALUDZYSZYN FILHO e SANTOS, 2005).

2.3 A MADEIRA DE *Eucalyptus dunnii* E SUAS UTILIZAÇÕES

A espécie *Eucalyptus dunnii* apresenta rápido crescimento e boa forma das árvores. Pode ser utilizado para fins energéticos (fonte de energia ou carvão vegetal) e serraria (AVEIRO E CERCAL, 2007).

A madeira de *Eucalyptus dunnii* é considerada de resistência média com densidade básica de 500 kg.m^{-3} , aproveitável para fins energéticos, estruturas leves, confecção de chapas e para celulose (PALUDZYSZYN FILHO e SANTOS, 2005).

As espécies de rápido crescimento foram implantadas no Brasil, inicialmente para fornecer matéria prima para celulose e siderurgia. No entanto, com a evolução da indústria e aumento da demanda, associadas à falta de políticas corretas para madeiras nativas e a pressão ambientalista, levaram a uma diversificação no uso destas espécies, passando a ser utilizadas em serrarias para a produção de madeira serrada (ROCHA e TOMASSELI, 2001).

A madeira de eucalipto é uma alternativa de produção de madeira para o suprimento industrial, substituindo madeiras nativas e outras espécies (SOARES *et al.* 2003b). Porém apresenta limitações próprias e inerentes às madeiras provenientes de florestas de rápido crescimento, aliado à falta de conhecimento tecnológico para sua utilização (GONÇALES *et al.*, 2006).

Como a maioria das espécies do gênero, o *Eucalyptus dunnii* apresenta elevadas tensões de crescimento, as quais se manifestam na madeira serrada através de rachaduras e empenamentos. Porém, são diversas as alternativas utilizadas para redução de tais defeitos, como o melhoramento genético, métodos de exploração, técnicas de desdobro adequadas, entre outras (ROCHA e TRUGILHO, 2006).

O *Eucalyptus dunnii* é uma espécie promissora para os setores da movelaria e da construção civil, principalmente na região Sul e Sudeste Brasileira (PEREIRA; SCHAITZA; PEREIRA, 1997). A produção de carvão vegetal é viável, com o que permite sua utilização como fonte de energia renovável (SCREMIN, 2012)

A produção de painéis de lâminas paralelas (PLP) e dos compensados com madeira de *Eucalyptus dunnii*, mesmo com perdas com a delaminação de algumas chapas, se mostrou uma alternativa viável para Pedrosa (2003). O PLP é madeira estrutural, que consiste na colagem de lâminas especialmente classificadas paralelamente umas às outras, que por sua vez pode fazer parte de sistemas engenheirados de madeira como as vigas "I" (I-joists), assim denominadas devido ao desenho de suas seções transversais. Estes produtos podem substituir os produtos de painéis de madeira reconstituída (PEDROSA, 2003).

Conforme ASSIS (2001) o interesse pela utilização da madeira de espécies de *Eucalyptus* como fonte de matéria prima na indústria madeireira tem sido crescente. Porém, apesar deste potencial de alternativa no abastecimento desse tipo de indústria, a madeira da maioria das espécies de *Eucalyptus* apresenta problemas técnicos próprios do uso de florestas jovens, sobretudo as tensões de crescimento, que são responsáveis pela maior parte das perdas verificadas durante o processamento industrial.

2.4 ALGUNS ASPECTOS DE MANEJO FLORESTAL PARA *EUCALYPUTS*

O Conselho de Informação sobre Biotecnologia mostrou a produtividade do gênero *Eucalyptus*, que encontrou no Brasil as condições ideais para seu crescimento, chegando a ser até dez vezes superior aos países como a Finlândia, Portugal e Estados Unidos (CONSELHO DE INFORMAÇÃO SOBRE BIOTECNOLOGIA (CBI), 2008). Na década de 70 a produção média era de $20 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$ e hoje está em média em torno de $40 \text{ a } 50 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$, com áreas produzindo até $70 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$, graças as nossas condições climáticas do Brasil, ao uso de material genético superior

e das tecnologias de silvicultura empregadas. Mesmo comparado a seu país de origem, a Austrália (GRÁFICO 1), a produtividade brasileira é muito superior (CBI, 2008).

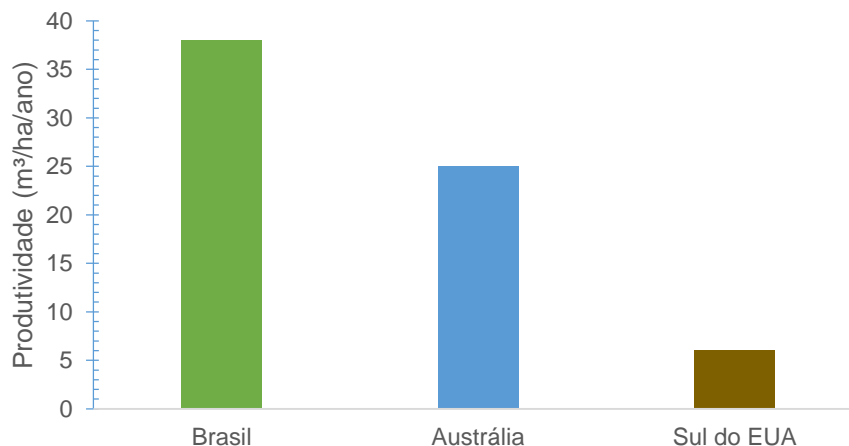


GRÁFICO 1 – COMPARAÇÃO ENTRE A PRODUTIVIDADE DO EUCALIPTO NO BRASIL, NA AUSTRÁLIA E NOS ESTADOS UNIDOS

Fonte: Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas ABRAF (2007)

Nos espaçamentos mais estreitos nos povoamentos utilizados para a produção de madeira fina, as árvores estabelecem uma competição precoce por espaço de crescimento, produzindo grande número de árvores dominadas prejudicadas em seu crescimento, com dominância das árvores mais vigorosas e mais bem dotadas (COELHO; MELLO; SIMÕES, 1970).

A madeira de *Eucalyptus dunnii* tem aumento de sua densidade básica com o aumento da idade do povoamento, também proporcionando melhorias de algumas características da madeira, como encolhimento e características estruturais. Isto aliado a características de crescimento, com maior diâmetro e volume da árvores, podem influenciar fortemente o valor do produto, em relação a madeira normalmente colhida em povoamentos jovens (THOMAS *et al.*, 2007).

O manejo florestal para florestas de *Eucalyptus* poderia utilizar os mesmos procedimentos daqueles utilizados para florestas de *Pinus*, porém, alguns cuidados devem ser observados em relação às características próprias deste gênero, como o ritmo acelerado de crescimento, a qualidade da madeira, época de poda e a rotação da cultura (SCOLFORO, 1998).

A manutenção do ritmo de crescimento acelerado, pode favorecer a formação de madeira com menor ocorrência de rachadura, já que haverá uma menor tensão no sentido medula casca. Neste caso as árvores atingirão mais cedo maiores

níveis de densidade, as quais manterão ao longo de sua vida, se for evitada a competição (SCOLFORO, 1998).

Experimentos com densidade de madeira de *Eucalyptus*, mostram que a tensão no sentido medula casca ocorre mais cedo e se mantém constante a medida em que desbastes menos intensos são realizados, com as árvores crescendo sem competição tão forte e resultando em maior proporção de madeira madura (SCOLFORO, 1998).

A densidade da madeira é uma característica importante para vários segmentos da produção industrial (ASSIS, 2001), aumentado com a idade da árvore, sendo muito útil para a condução de manejo de povoamentos, pois se relaciona com muitas características que resultam em melhor qualidade da madeira. A madeira com maior densidade tende a ser mais forte, mas podem apresentar maior encolhimento e problemas na secagem. Contém também mais madeira por unidade de volume, importante para a produção de papel e celulose (THOMAS *et al.*, 2007).

A colheita de povoamentos mais jovens pode não satisfazer os requisitos de qualidade encontrados em povoamentos mais velhos. A seleção de árvores para a melhoria da densidade básica, aos 9 anos de idade apresentou densidades de árvores equivalentes a 25 a 30 anos. Não se sabe se melhorias semelhantes podem ser feitas em outras características de qualidade da madeira. As características de qualidade que exigem uma análise mais aprofundada são tensões de crescimento no desdobramento das toras e retração de madeira serrada (THOMAS *et al.* 2009).

Algumas características da madeira tem íntima relação com a densidade básica da madeira, como a retratilidade e o inchamento, importantes na tecnologia de utilização da madeira e na valorização econômica (STURION *et al.*, 1987).

Em florestas nativas adultas na Austrália, a densidade do *Eucalyptus dunnii* pode chegar a 610 kg.m⁻³. Os experimento mostram que existe uma tendência de crescimento de aumento da densidade atingindo cerca de 600 kg.m⁻³ aos 25 anos de idade. A relação entre a idade da árvore e densidade da madeira dos povoamentos teve um alto coeficiente de determinação (0,91), nas idades de 11, 16 e 32 anos, com valores de 540, 530 e 563 kg.m⁻³, respectivamente. A FIGURA 1 mostra a pesquisa desenvolvida, com diversas origens de material (THOMAS *et al.*, 2007).

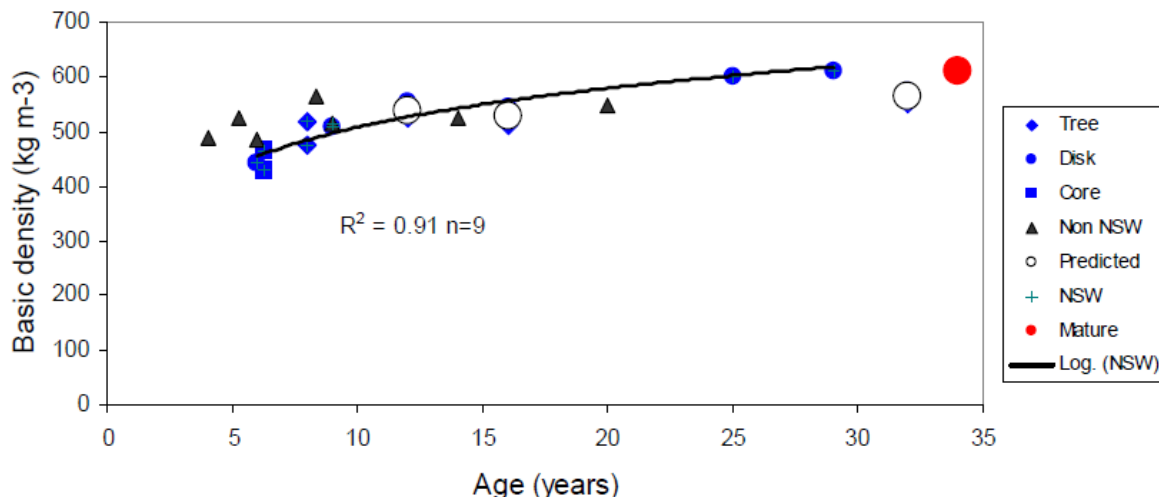


FIGURA 1 – DENSIDADE DE *Eucalyptus dunnii* NA AUSTRÁLIA
 Fonte: THOMAS et al., 2007

Assis (2001) cita que a densidade básica pode ser de fácil melhoramento, pela grande variabilidade fenotípica e por sua alta herdabilidade. Determinações de densidade em clones sob seleção demonstram que essa característica apresenta grandes variações, como clones de *E. grandis*, com sete anos de idade, variam desde 0,37 g.cm⁻³ a 0,55 g.cm⁻³. Esta amplitude mesmo sem considerar outras variações, como a variação entre espécies, por exemplo, permite direcionar as propriedades da matéria prima para os mais diversos fins.

No gênero *Eucalyptus* para a produção de madeira para serraria envolve práticas silviculturais diferenciadas, quando se pretende produzir madeira para outros fins, como celulose, papel, energia e painéis. Entre estas práticas estão realização de desbastes, podas, desbrota ou eliminação das brotações, e os espaçamentos de plantio adequados (DO COUTO, 1995).

A condução de poucas árvores por hectare, pode levar à formação de ramos com maiores diâmetros, redução da desrama natural e do volume a ser obtido no primeiro desbaste, além de apresentar a primeira tora para serraria bastante cônica, por outro lado, um maior número de árvores por hectare pode levar à competição entre árvores antes da idade do primeiro desbaste, com diâmetro médio das árvores bastante reduzido (SILVA, 2003).

Se o objetivo do manejo é a obtenção de madeira para serraria e postes, não se recomendam espaçamentos menores que 3,0 x 2,5 m, sugerindo densidades entre 2.000 a 1.200 plantas por hectare (SILVA, 2003).

Em experimento com *Eucalyptus globulus*, Boca *et al.* (2005) examinaram o efeito da densidade sobre variáveis como diâmetro, altura e área basal, em diferentes densidades de plantio, variando de 582 a 2083 árvores.ha⁻¹. Os resultados mostraram uma relação inversa entre o diâmetro e a densidade de plantio, pois à medida que o diâmetro das árvores foi maior, menor foi a densidade das árvores. Com relação a variável altura, tende a aumentar conforme diminui a densidade de plantio. A área basal foi maior nos tratamentos com densidades intermediárias. Conclui-se que, em geral a densidade de 1095 árvores.ha⁻¹ apresentou o melhor crescimento.

Em um experimento conduzido por Reiner *et al.* (2010) com *Eucalyptus dunnii* na região sudoeste do Paraná, foram testados quatro diferentes espaçamentos de plantio (3 x 3 m, 3 x 2 m, 2 x 2 m e 1,5 x 1,5 m). As avaliações até o terceiro ano mostraram efeitos positivos dos espaçamentos com maior área útil por planta, maior volume individual por árvores, maior área disponível por planta e menor competição entre as plantas (REINER *et al.*, 2010).

Os maiores espaçamentos obtiveram o melhor rendimento individual em volume, seguindo o que diz que em arranjos maiores pela maior disponibilidade de fatores do meio à planta, que assim consegue apresentar uma diferença de crescimento em relação aos menores espaçamentos de plantio (REINER *et al.*, 2010).

A densidade adotada no plantio de *Eucalyptus dunnii* irá influenciar diretamente no desenvolvimento da planta, resultando em diferença de DAP, volume individual e no volume por área. O espaçamento ideal será em função dos produtos finais a serem obtidos (REINER *et al.*, 2010).

A condução de árvores para uso mais nobres da madeira, exige condução com desbastes e poda. Segundo Dobner Jr., Higa e Urbano (2012), para a espécie *Eucalyptus dunnii*, o primeiro desbaste deve ser realizado quando a área basal atingir 20 m²/ha. Observam os autores que questões operacionais devem ser levadas em conta, em função dos produtos obtidos nesta intervenção. A postergação do desbaste, implicará em impactos negativos no desenvolvimento das árvores remanescentes.

O diâmetro médio das árvores é maior, quanto menor a área basal remanescente após o desbaste, e a diferença entre os tratamentos tende a aumentar com o tempo. A redução da área basal para, pelo menos, 14,00 m².ha⁻¹, quando o povoamento possuir 20,00 m².ha⁻¹, é recuperada em termos de estoque volumétrico passados três anos da realização do desbaste (DOBNER JR.; HIGA e URBANO, 2012).

Bertolani, Norival e Chaves (1995) mostram os resultados de desbastes em *Eucalyptus grandis*, com a realização de desbastes sucessivos (QUADRO 1).

QUADRO 1 - RESULTADOS DE DESBASTES EM *Eucalyptus grandis*

Tratamentos	Idade Desbaste (anos)	Árvores.ha ⁻¹			Volume Retirado (m ³ c/c.ha. ⁻¹)		
		Anterior	Desbaste	Posterior	Serraria	Processo	Total
A- desbastes Sucessivos	8,00	2.210	1.210	1.010	0,80	79,90	80,70
	12,50	1.010	693	317	13,70	91,90	105,60
	15,50	317	317	0	61,80	70,20	152,00
TOTAL					96,3	242	338,3
B- desbastes Sucessivos	8,00	2.220	1.221	999	1,30	75,20	76,50
	12,50	999	447	552	5,60	60,90	66,50
	15,50	552	552	0	84,80	110,80	195,60
TOTAL					91,7	246,9	338,6
C- desbastes Sucessivos	8,00	2.220	1.238	982	2,50	82,70	85,20
	12,50	982	343	639	6,40	40,90	47,00
	15,50	639	639	0	83,80	116,60	202,40
TOTAL					92,7	241,9	334,6
D- desbastes Sucessivos	8,00	2.210	1.253	967	0,00	83,80	83,80
	12,50	967	192	775	8,90	26,90	35,80
	15,50	775	775	0	86,70	137,70	224,40
TOTAL					95,60	248,10	344,00

Fonte : Adaptado de Bertolani, Norival e Chaves (1995)

Bertolani, Norival e Chaves (1995) concluíram que os diferentes tipos de manejo adotados, não alteraram a produção total de madeira no ciclo completo. Também os desbastes sucessivos não diferiram na produção total de madeira para serraria e nem na composição por classe diamétrica, com produção de 28% de madeira para serraria e 72% para processo. A realização de desbastes sucessivos em *Eucalyptus grandis* mostrou-se como opção mais adequada à produção de madeira de serraria.

A formação da copa poderá sofrer danos com a realização de desbastes precoces e intensos, pois pode ocorrer uma maior emissão de galhos mais vigorosos e ao estímulo da rebrota das cepas. Isto pode afetar a produtividade do povoamento e a qualidade da madeira, pois a reação e crescimento das árvores a um maior espaçamento pode não ser correspondida (SCOLFORO, 1998).

Em sítios de menor produção, o desbaste poderá ser abolido, já que o povoamento remanescente pode gerar receitas inferiores ao custo dos desbastes (SCOLFORO, 1998).

A poda em *Eucalyptus* deve ser realizada entre o 1º e 3º ano de vida da árvores e não deve ultrapassar 1/3 da copa; a altura deve ser correspondente ao comprimento de uma tora comercial. Uma segunda poda, seguindo o mesmo padrão da anterior, deve ser realizada com altura de 7 metros de altura. A idade da poda deve ser de acordo com o desenvolvimento do sítio (SCOLFORO, 1998).

A poda em florestas de *Eucalyptus* tem objetivo de diminuir o diâmetro da tora com a presença de nós, valorizando a madeira de cerne formada no futuro. Devido à idade precoce da poda, a poda no primeiro ano de 1000 árvores.ha⁻¹, permite certa segurança à baixa eficiência da seleção das árvores (SEITZ, 1995).

Do Couto (1995) preconiza a realização da poda baixa em todo o talhão ou por seleção de árvores. A primeira poda deve ser realizada entre 1,50 a 3,0 anos, dependendo do ritmo de crescimento do povoamento, na altura entre 2 a 3 metros, com retirada de 50% da copa. A definição de um programa para a produção de madeira livre de nós deve possibilitar a retirada de ramos ainda verdes, não devendo ultrapassar os 6,5 metros de altura, devendo ser severa para se realizar o menor número possível de podas, que é uma operação de alto custo. O programa de poda define a idade da intervenção (ou altura dominante), a altura de poda e o número de árvores a poda (DO COUTO, 1995).

Seitz (1995) comenta a poda realizada na empresa Klabin, onde a desrama em povoamentos de *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus saligna* e *Eucalyptus dunnii*, é realizada quando o povoamento atinge entre 20 e 30 meses de idade e apresenta, em média, 10 cm de diâmetro médio e 12 m de altura média. Na operação, são desramadas todas as árvores, exceto as localizadas nos futuros ramais de exploração, as mortas, bifurcadas e doentes. A altura de poda atinge entre 6 e 7 m.

Diversos autores relatam aspectos de manejo de *Eucalyptus* destinados à produção de madeira de maior qualidade, envolvendo desbaste, rotação, podas, fertilização, espaçamentos e otimização, como Schneider *et al.* (2009); Baloni e Simões (1980); Lima (2005); Berger (2000); Finger e Schneider (1999); Soares *et al.* (2003b); Trevisan *et al.* (2009); Silva (2012); Gorgens *et al.* (2007) e Pulronik, Dos Reis e Dos Reis (2009)

2.5 CONCEITOS ECONÔMICOS NA AVALIAÇÃO DE FLORESTAS

A Taxa Interna de Retorno (TIR) de um projeto florestal é a taxa anual do retorno da capital investido, podendo também ser definida como a taxa de desconto que iguala o valor presente dos custos ao valor presente das receitas, igualando o VPL a zero (SILVA, JACOVINE E VALVERDE, 2002).

A TIR indica se a rentabilidade do empreendimento é superior, inferior ou igual ao custo do capital investido (REZENDE e OLIVEIRA, 2001). A TIR é expressa pela fórmula:

$$\sum R_i (1 + TIR)^j - \sum C_j (1 + TIR)^j$$

Sendo que:

TIR = Taxa Interna de Retorno

R_j = receita no período j ;

C_j = custo no período j ;

j = número de período (anos).

A Taxa Interna de Retorno (TIR) sendo superior à taxa de juros considerada, indica que o projeto é viável economicamente. A maior TIR elegerá o projeto mais rentável.

O Valor Anual Equivalente (VAE), também chamado de Valor Presente Líquido Anualizado (VPLa), corresponde a uma série uniforme anual equivalente ao fluxo de caixa dos investimentos à Taxa Mínima de Atratividade (TMA), ou seja, é a parcela periódica e constante necessária ao pagamento do Valor Presente Líquido (VPL) do investimento analisado (SILVA e FONTES, 2005).

A vantagem do VAE é a possibilidade de se comparar projetos com horizontes de planejamento diferentes. A fórmula simplificada do VAE é mostrada a seguir:

$$VAE = \frac{VPL \cdot i}{[1 - (1 + i)^n]}$$

Sendo que:

VPL = Valor Presente Líquido;

i = taxa de juros;

t = número de períodos de capitalização;

n = duração do projeto

O VAE positivo indica a viabilidade do projeto e representa a série anual de pagamentos para se atingir o Valor Presente Líquido (VPL), no período de duração do empreendimento, sendo o melhor projeto o que apresentar maior valor. Para o cálculo do Valor Presente Líquido (VPL) é realizada a soma algébrica do valor presente das receitas subtraído do valor presente dos custos (REZENDE e OLIVEIRA, 2001), como na fórmula:

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

Sendo que:

R_j = receita no período j ;

C_j = custo no período j ;

i = taxa de juros;

j = período de ocorrência da receita ou do custo;

n = número de período de duração do projeto.

O Valor esperado da terra (VET) representa o valor presente líquido de uma determinada área de terra nua, a ser utilizada para a produção de uma série infinita de rotações (SILVA, JACOVINE E VALVERDE, 2002).

Na prática pode ser usada para se determinar o preço máximo de compra da terra nua (SILVA e FONTES, 2005). Todos os custos dos fatores de produção de madeira são envolvidos, com exceção da terra. A taxa de desconto neste caso reflete o custo de oportunidade do uso da capital por parte do investidor. A terra é usada infinitamente na atividade analisada e não possui qualquer bem de valor sobre a mesma (REZENDE e OLIVEIRA, 2001). Por ser considerado infinito, pode ser usado na comparação de projetos sem considerar as durações dos mesmos (SILVA e FONTES, 2005). O VET é representado pela fórmula:

$$VET = \frac{V_oRL (1+i)}{(1+i)^t}$$

Sendo que:

V_oRL = valor atual da receita líquida repetida a cada ciclo.

Para o VET ser viável e utilizado como comparativo de alternativas de investimento, seu valor deverá ser maior que o preço de mercado da terra. Se ao contrário, ou seja, VET menor do que o valor de mercado, o empreendimento é inviável (SILVA e FONTES, 2005).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 REGIÃO DE ESTUDO

Os estudos foram realizados no distrito de Volta Grande, sul do município de Rio Negrinho, no Planalto Norte Catarinense, mostrado na FIGURA 3.

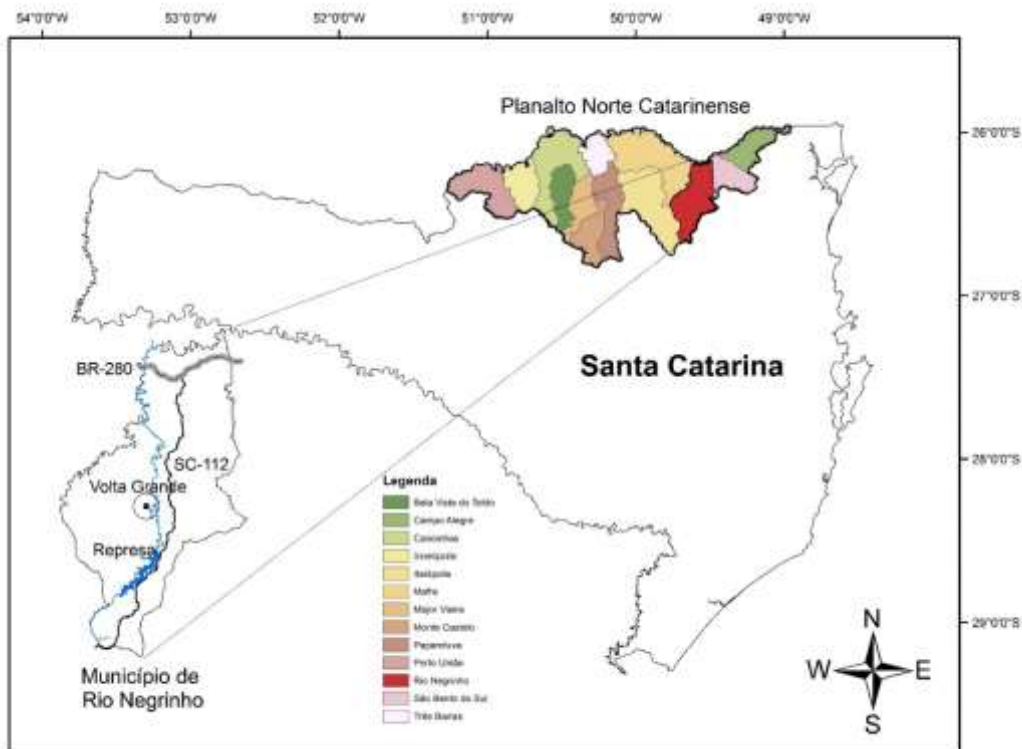


FIGURA 2 – REGIÃO DA COLETA DE DADOS

3.2 CUSTOS DE IMPLANTAÇÃO DAS FLORESTAS DE *Eucalyptus dunnii*

Tendo como referência o mês de Setembro de 2014, foram pesquisados os custos, receitas e valores de comercialização da madeira. Os custos de produção foram obtidos em pesquisa em empresas florestais. As receitas foram provenientes da venda da madeira dos desbastes e do corte final.

Os preços de venda foram pesquisados em empresas fornecedoras de toras na região, com base nos preços da madeira carregada no caminhão.

Também foi considerado um custo anual de administração das florestas plantadas de R\$ 60,00.ha⁻¹.

Os custos de implantação e manutenção foram apurados, como no exemplo da TABELA 2 com densidade de 1600 árvores.ha⁻¹.

Os custos de implantação e manutenção em todas as densidades contam da TABELA 3.

TABELA 2 – CUSTOS DE IMPLANTAÇÃO E MANUTENÇÃO DE *Eucalyptus dunnii* COM DENSIDADE DE 1.600 ÁRVORES.ha⁻¹, EM SETEMBRO/ 2014.

n.º	Discriminação	Unidade	Quantidade	Custo Unitário (R\$)	Custo Total (R\$.ha ⁻¹)
1	Preparo do solo	ha	1,00	300,00	R\$ 300,00
2	Subsolagem com Ripper	ha	1,00	500,00	R\$ 500,00
3	Mudas	Unidade	1.600	0,30	R\$ 480,00
4	Mudas replantio	Unidade	80	0,30	R\$ 24,00
5	Plantio manual e adubação	kg/pl	1,00	265,28	R\$ 265,28
6	adubação 45-00	kg/pl	0,03	1,20	R\$ 60,00
8	Adubação de Plantio (06-30-06)	kg/pl	0,22	1,35	R\$ 472,50
9	Adubação Fosfatada	kg/pl	0,06	1,35	R\$ 135,00
10	Adubação com Potássio	kg/pl	0,06	1,12	R\$ 112,00
11	Operação de Adubação	ha	1,00	296,07	R\$ 296,07
12	Replante manual	ha	1,00	7,33	R\$ 7,33
13	Combate a formigas	Kg.ha ⁻¹	12,00	7,52	R\$ 90,24
14	Formicida	Kg.ha ⁻¹	1,00	7,93	R\$ 7,93
15	Herbicida	Kg.ha ⁻¹	1,50	20,00	R\$ 30,00
16	Aplicação de Herbicidas (0- 1 ano)	ha	1,00	139,51	R\$ 139,51
17	Roçada 1 anos	ha	1,00	219,43	R\$ 219,43
18	Poda no 2º ano (3 metros)	ha	1,00	400,00	R\$ 400,00
19	Poda no 4º ano (6 metros)	ha	1,00	300,00	R\$ 300,00

TABELA 3 – CUSTOS DE IMPLANTAÇÃO E MANTENÇÃO DE *Eucalyptus dunnii* EM 3 DENSIDADES DE ÁRVORES.ha⁻¹, EM SETEMBRO/ 2014.

n.º	Discriminação	Densidade (árvores.ha ⁻¹)		
		1333	1600	2000
1	Implantação	R\$ 2.650,18	R\$ 2.780,35	R\$ 2.906,35
2	Manutenção (0-1 ano)	R\$ 358,94	R\$ 358,94	R\$ 358,94
3	Manutenção (3º ano)	R\$ 400,00	R\$ 400,00	R\$ 400,00
4	Manutenção (5º ano)	R\$ 300,00	R\$ 300,00	R\$ 300,00
TOTAL		R\$ 5.042,12	R\$ 5.439,29	R\$ 5.965,29

Não foi considerado os custos com poda nos regimes sem desbastes. Os custos de poda somente foram considerados nos regimes com desbastes, com a realização no 2º e 4º ano, e inseridos na totalização dos custos.

3.3 MERCADO E PREÇO DA MADEIRA DE *Eucalyptus dunnii*

Os preços utilizados na avaliação econômica, foram obtidos a partir de pesquisa entre empresas fornecedoras e compradoras de lenha, celulose e toras para diversos uso, e constam da TABELA 4.

TABELA 4 – SORTIMENTOS E PREÇOS DA MADEIRA DE *Eucalyptus dunnii*, COM CUSTOS DE COLHEITA E CARREGAMENTO UTILIZADOS NA VALORIZAÇÃO DA PRODUÇÃO, EM SETEMBRO/ 2014

Unidade	Utilização Industrial da Madeira					
	Faqueado	Laminação	Serraria I	Serraria	Celulose	Energia
	Ø 35 >	Ø 30-35	Ø 25-30	Ø 22-25	Ø 12-22	Ø 5-12
(R\$.m ⁻³)	R\$ 233,85	R\$ 187,85	R\$ 125,85	R\$ 105,85	R\$ 57,85	R\$ 45,85
Comprimento da tora (m)	2,20	2,40	2,50	2,50	2,00	2,00

3.4 CUSTOS DE COLHEITA E CARREGAMENTO

Os valores dos custos de colheita e carregamento (R\$.m⁻³), por tipo de desbaste realizado e no corte raso contam da TABELA 5.

TABELA 5 – CUSTOS DE SERVIÇOS DE COLHEITA E CARREGAMENTO, POR TIPO DE DESBASTE E CORTE RASO (R\$.m⁻³)

Serviços	Desbaste			CR
	I	II	III	
Corte das Toras	24,80	20,30	16,80	13,50
Arraste	5,30	4,96	4,79	4,62
Caregamento	2,25	2,10	2,03	1,96
Total (R\$.m⁻³)	R\$ 32,35	R\$ 27,36	R\$ 23,62	R\$ 20,07

3.5 VALOR DE TERRAS E OCUPAÇÃO

Para o valor da terra, foi utilizado os preços de terra para a região do Planalto Norte Catarinense, em pesquisa da Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina (EPAGRI, 2014), considerando-se áreas para plantio e áreas para atender a legislação ambiental, com valor final de R\$ 7.637,52.ha⁻¹.

Foi estimado um valor de arrendamento para a terra, que pode ser comparado ao custo de oportunidade da terra, ou seja, se não fosse cultivado florestas plantadas, seria o valor que a empresa receberia pelo aluguel da terra.

Seguindo metodologia descrita por Berger *et al.* (2011) obtém-se o chamado GRU, ou seja, o Grau de Utilização da Terra e ao preço efetivo da terra, utilizado para o valor da terra nos cálculos econômicos, conforme TABELA 6.

TABELA 6 – GRAU DE UTILIZAÇÃO E PREÇO FINAL DA TERRA PARA PLANTIO FLORESTAL

Descrição	Área (ha)	%
Terra	100	100
Reserva Legal	20	20
A.P.P.	12	12
Infraestrutura	3	3
Inaproveitável	5	5
Área Produtiva	60	60
GRU - Grau de Utilização	60%	
1 ha líquido	1,67	ha bruto
Preço terras	R\$ 7.637,52	(R\$.ha. ⁻¹)
Preço Efetivo da Terra	R\$ 12.754,67	(R\$.ha.-1)

O valor obtido do valor de terras para a região do Planalto Norte Catarinense foi de R\$ 12.754,67. ha⁻¹, sendo inferior ao valor de 18.600,00.ha⁻¹ para sítio II, e superior a R\$ 9.400,00.ha⁻¹ para sítio III, obtido por Batista (2014), válido para a região de Campo Belo do Sul, no Planalto Sul Catarinense. Na mesma região do Planalto Sul catarinense, Souza Junior (2012) obteve valor de VET de R\$ 13.651,68, muito próximo a valor obtido neste trabalho.

Baseado no valor de arrendamento agrícola, foi estimado um valor de 3,80% do valor da terra, a ser pago como equivalente ao pagamento de um valor de arrendamento anual. Esta taxa é diferente da Taxa Mínima de atratividade (TMA), pois apoiado por Berger *et al.* (2011), a taxa de remuneração do capital terra, necessariamente não necessita ser igual ao custo do capital utilizado para a implantação e manutenção da floresta.

3.6 BASE DA PROGNOSE DE PRODUÇÃO NO SIMULADOR SISDUNNII

Com a utilização do SisDunnii foi possível a simulação de regimes alternativos de manejo. No Capítulo I desta tese, foram criadas 4 curvas de sítio para *Eucalyptus dunnii*. Os resultados mostram que a maioria das parcelas do estudo, forma classificadas como Classe II. Assim foi considerado nas simulações, o valor central da classe II (entre 31,50 a 26 metros), com o IS (Índice de Sítio) de 28,75, que será o IS padrão das estimativas volumétricas, dos três espaçamentos mais utilizados entre as empresas, que são 2,50 x 2,0 metros, com densidade de 2.000 árvores.ha⁻¹; 2,50 x 2,5 metros, com densidade de 1.600 árvores.ha⁻¹ e 2,50 x 3,0 metros, com densidade de 1.333 árvores.ha⁻¹.

3.7 CRITÉRIOS ECONÔMICOS PARA ANÁLISE ECONÔMICA E TAXA MÍNIMA DA ATRATIVIDADE (TMA)

Adotou-se como critério principal de avaliação ao Valor Anual Equivalente (VAE), considerando a inclusão do valor da terra nos cálculos. O VAE é o mais indicado para se comparar projetos com horizontes de planejamento diferentes. A Taxa Interna de Retorno (TIR) e o VAE sem custos da terra, também foram avaliados, bem como o VET (Valor Esperado da Terra).

Entre as empresas pesquisadas, a maioria utiliza taxas entre 8 a 10% ao ano, nos cálculos internos de rentabilidade. Para este trabalho a Taxa Mínima de Atratividade (TMA) foi de 7% ao ano.

A taxa de juros é considerada como Taxa Mínima de atratividade (TMA), que Berger *et al.* (2011) conceitua como referência ao risco do investimento, comparada ao retorno seguro de aplicação no mercado financeiro.

Esta taxa é superior ao juros da caderneta de poupança (6% ano) e se enquadra na taxa de juros normalmente utilizada para análise de projetos florestais de 6 a 12% ao ano (LIMA JÚNIOR; REZENDE; OLIVEIRA, 1997).

O Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES) atualmente aplica juros de 5% ao ano, no programa de baixo carbono para florestas comerciais (BNDES, 2014). Berger *et al.* (2011) utilizou taxa de 7% ao ano e Basso (2014) de 6%, em trabalhos de rentabilidade econômica.

3.8 REGIMES DE MANEJO E PROGNÓSE DE PRODUÇÃO DE *Eucalyptus dunnii*

Foram avaliados 51 diferentes regimes de manejo (QUADRO 2), em três densidades de árvores, totalizando 153 simulações.

QUADRO 2 - REGIMES DE MANEJO DE *Eucalyptus dunnii* UTILIZADOS NAS SIMULAÇÕES

Regime nº	Desbastes e Corte Final (anos)				Regime nº	Desbastes e Corte Final (anos)			
	I	II	III	CR		I	II	III	CR
1				7	26	8			20
2				8	27	9			14
3				9	28	9			16
4				10	29	9			18
5				11	30	9			20
6				12	31	5	8		16
7				13	32	5	8		18
8				14	33	5	8		20
9				15	34	5	10		16
10				16	35	5	10		18
11	5			14	36	5	10		20
12	5			16	37	5	12		16
13	5			18	38	5	12		18
14	5			20	39	5	12		20
15	6			14	40	7	10		16
16	6			16	41	7	10		18
17	6			18	42	7	10		20
18	6			20	43	7	12		16
19	7			14	44	7	12		18
20	7			16	45	7	12		20
21	7			18	46	9	12		16
22	7			20	47	9	12		18
23	8			14	48	9	12		20
24	8			16	49	7	10	14	18
25	8			18	50	7	10	14	20
26	8			20	51	7	10	16	20
27	9			14					

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste trabalho não se teve a pretensão de testar todos os regimes possíveis, que chegariam a dezenas de milhares, com realizou Acerbi Junior *et al.* (2002) para *Pinus taeda*. Não existe na região estudada, tradição de regimes de diferentes rotações para espécies de *Eucalyptus*. Também não foi totalmente explorado as várias combinações de diminuição de área basal, corte seletivo e sistemático, idade dos desbaste e porcentual do corte de árvores nos desbastes e no corte raso.

Optou-se por simular regimes com e sem desbaste, com tempo de duração máxima de 20 anos, e utilizando manejos citados em literatura, visando apresentar algumas alternativas de condução, diferente de rotações mais curtas, bastante difundidas no meio florestal.

4.1. REGIMES SEM DESBASTE DE *Eucalyptus dunnii*

Os resultados do SisDunnii mostraram que os maiores espaçamentos produzirão maior o porcentual de madeira mais grossa (no caso 22 cm). Assim, a densidade com 1333 produziu maior volume de madeira acima de 22 cm (18%), seguido de da densidade 1600 (11%) e com 2000 árvores (6%). Raciocínio contrário em relação a madeira mais fina, com maior volume na densidade de 2000 árvores.

A distribuição dos sortimentos influenciam a rentabilidade, pois a diferença de preços entre os mesmos é significativa. Em geral nos regimes não desbastados, cerca de 88% do volume é de madeira fina (6 a 22 cm) e 12% com diâmetros superiores a 22 cm.

Os 30 regimes sem desbaste tiveram um volume médio de 450,67 m³.ha⁻¹, com incremento médio de 39,95 m³.ha⁻¹.ano⁻¹, resultados coerentes com as informações de incremento médio anual para a espécie, citados pelas publicações da ACR (2014) e ABRAF (2007).

Os resultados de rentabilidade econômica dos regimes de manejo sem desbaste, em três densidade de árvores, constam da TABELA 7.

No GRÁFICO 2 (VAE) e GRÁFICO 3 (TIR), mostram a rentabilidade dos regimes sem desbaste.

TABELA 7 – RENTABILIDADE ECONÔMICA DE REGIMES DE MANEJO DE *Eucalyptus dunnii* SEM DESBASTE

(nº)	Esp. (m)	Regime nº	Manejo Corte Raso (anos)	Indicadores Econômicos COM TERRA		Indicadores Econômicos SEM TERRA	
				VAE (R\$.ha ⁻¹)	TIR (%)	VAE (R\$.ha ⁻¹)	VET R\$.ha ⁻¹)
1	1333	1	7	R\$ 39,70	7,75%	R\$ 524,36	R\$ 7.490,86
2	1333	2	8	R\$ 148,05	9,45%	R\$ 632,71	R\$ 9.038,66
3	1333	3	9	R\$ 321,63	11,57%	R\$ 806,29	R\$ 11.518,44
4	1333	4	10	R\$ 360,55	11,68%	R\$ 845,21	R\$ 12.074,42
5	1333	5	11	R\$ 362,48	11,38%	R\$ 847,14	R\$ 12.102,04
6	1333	6	12	R\$ 363,42	11,10%	R\$ 848,08	R\$ 12.115,44
7	1333	7	13	R\$ 328,23	10,53%	R\$ 812,90	R\$ 11.612,80
8	1333	8	14	R\$ 315,78	10,22%	R\$ 800,45	R\$ 11.434,97
9	1333	9	15	R\$ 267,77	9,64%	R\$ 752,44	R\$ 10.749,09
10	1333	10	16	R\$ 204,07	8,97%	R\$ 688,74	R\$ 9.839,07
11	1600	52	7	R\$ 67,76	8,22%	R\$ 552,42	R\$ 7.891,72
12	1600	53	8	R\$ 164,94	9,64%	R\$ 649,59	R\$ 9.279,92
13	1600	54	9	R\$ 298,13	11,17%	R\$ 782,79	R\$ 11.182,64
14	1600	55	10	R\$ 310,16	11,02%	R\$ 794,82	R\$ 11.354,60
15	1600	56	11	R\$ 292,03	10,56%	R\$ 776,70	R\$ 11.095,65
16	1600	57	12	R\$ 268,52	10,09%	R\$ 753,18	R\$ 10.759,68
17	1600	58	13	R\$ 218,94	9,43%	R\$ 703,61	R\$ 10.051,50
18	1600	59	14	R\$ 183,34	8,95%	R\$ 668,01	R\$ 9.542,98
19	1600	60	15	R\$ 122,74	8,28%	R\$ 607,40	R\$ 8.677,21
20	1600	61	16	R\$ 57,64	7,59%	R\$ 542,31	R\$ 7.747,23
21	2000	103	7	R\$ 79,37	8,38%	R\$ 564,03	R\$ 8.057,50
22	2000	104	8	R\$ 193,71	9,98%	R\$ 678,37	R\$ 9.690,95
23	2000	105	9	R\$ 260,67	10,62%	R\$ 745,33	R\$ 10.647,53
24	2000	106	10	R\$ 250,28	10,25%	R\$ 734,93	R\$ 10.499,04
25	2000	107	11	R\$ 210,11	9,60%	R\$ 694,77	R\$ 9.925,30
26	2000	108	12	R\$ 161,62	8,92%	R\$ 646,28	R\$ 9.232,64
27	2000	109	13	R\$ 96,50	8,11%	R\$ 581,16	R\$ 8.302,28
28	2000	110	14	R\$ 39,60	7,45%	R\$ 524,26	R\$ 7.489,45
29	2000	111	15	-R\$ 24,66	6,73%	R\$ 460,01	R\$ 6.571,52
30	2000	112	16	-R\$ 91,27	6,00%	R\$ 393,40	R\$ 5.619,96

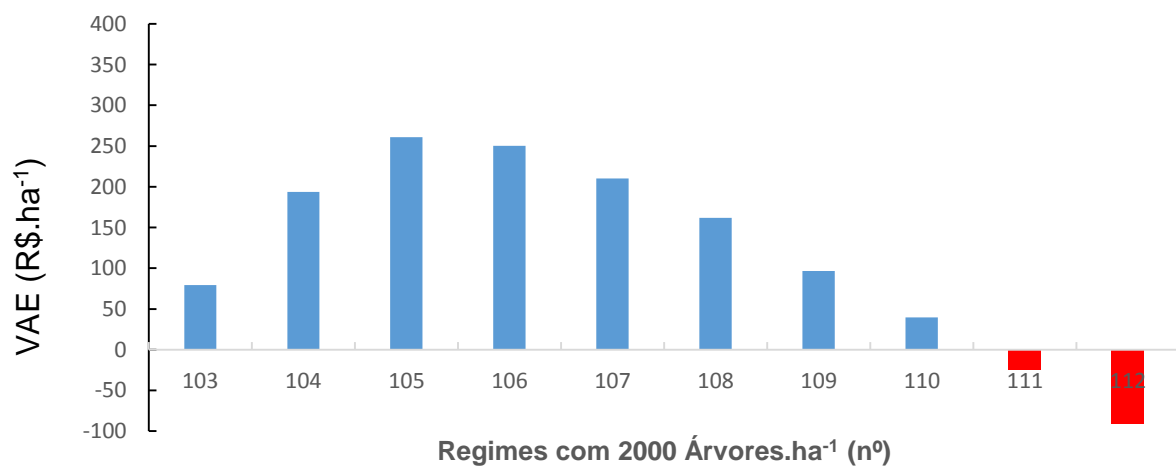
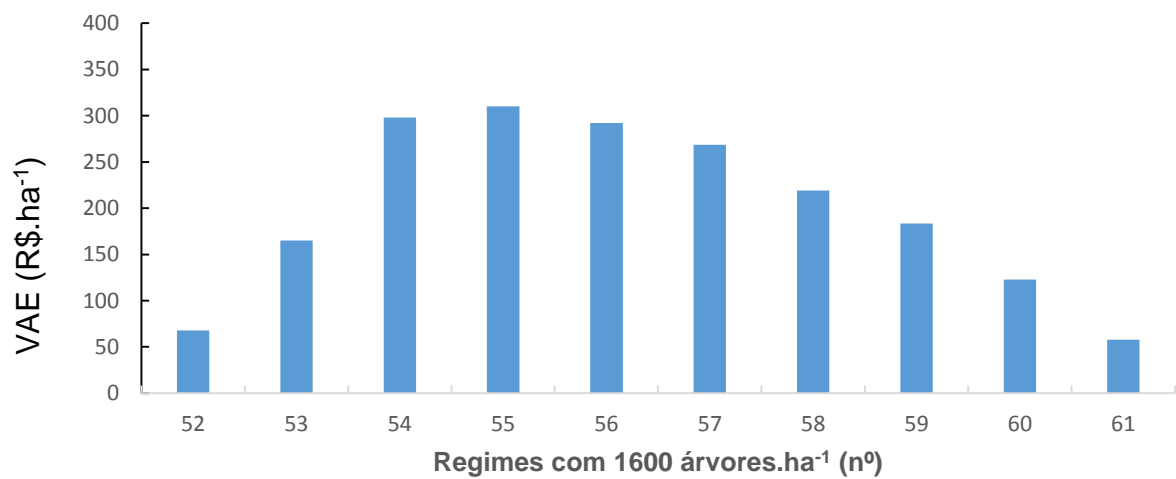
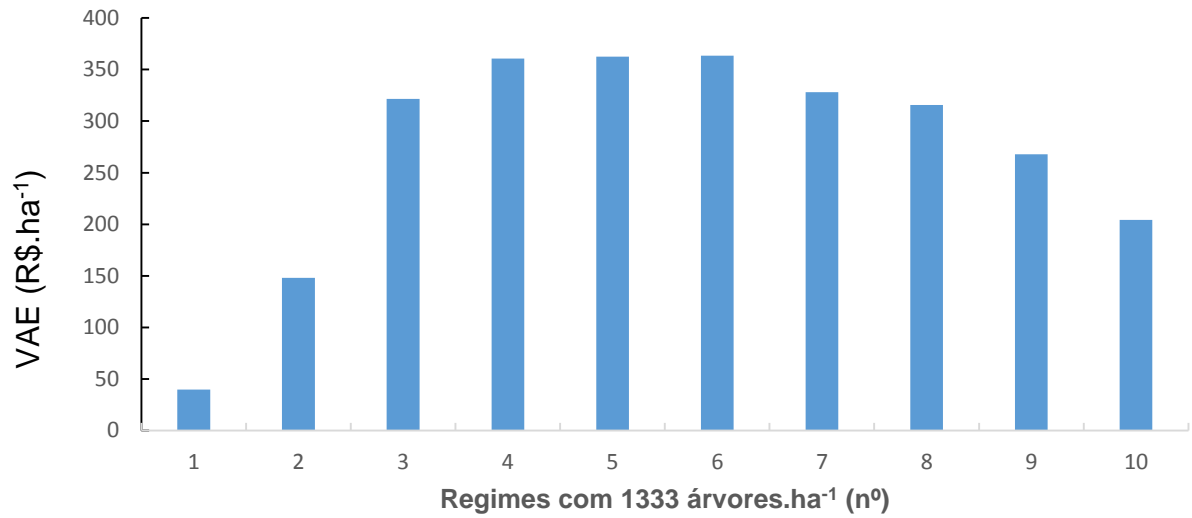


GRÁFICO 2 – RENTABILIDADE DOS REGIMES DE *Eucalyptus dunnii* SEM DESBASTE, COM VALOR DO VAE (R\$.ha⁻¹) INCLUINDO VALOR DA TERRA, COM TRÊS DENSIDADE DE ÁRVORES.ha⁻¹

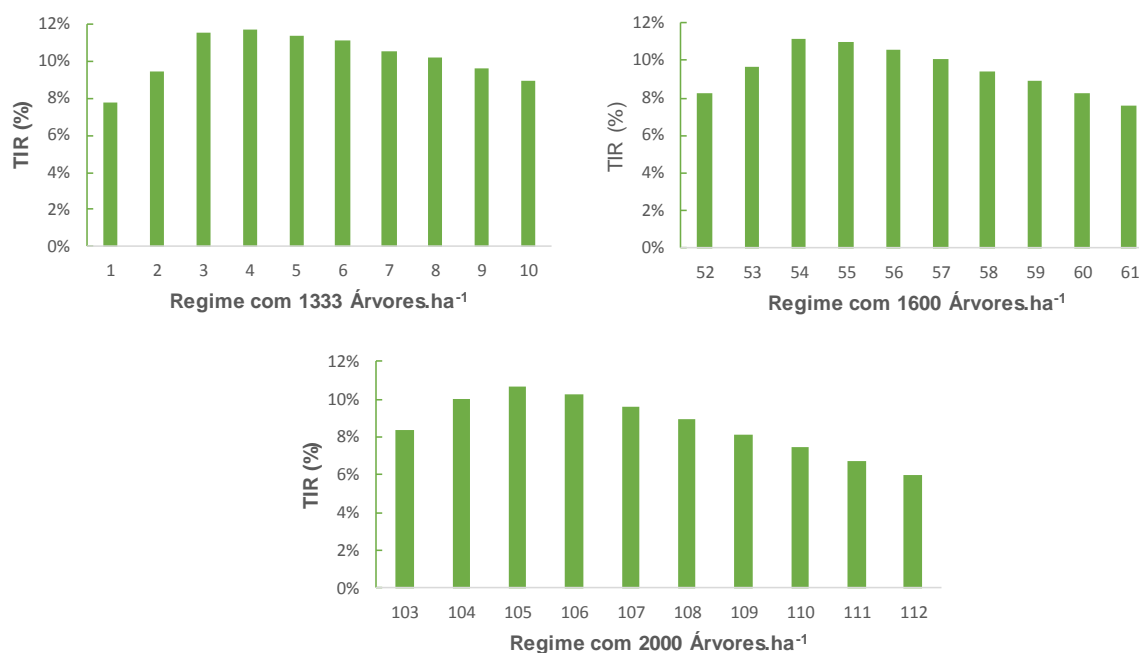


GRÁFICO 3 - RENTABILIDADE COM PORCENTAGEM DA TIR (%) INCLUINDO VALOR DA TERRA, DOS REGIMES DE *Eucalyptus dunnii* SEM DESBASTES EM 3 DENSIDADES.ha⁻¹

Dos 30 regimes simulados sem desbastes, apenas 2 regimes com densidade de 2000 árvores.ha⁻¹ tiveram valores de VAE negativos, economicamente inviáveis, que também não alcançaram a taxa mínima de atratividade (7% ao ano). Dos regimes avaliados, 28 regimes foram viáveis.

Os regimes com densidade de 1333 árvores.ha⁻¹, tiveram melhores resultados econômicos em comparação aos regimes com 1600 e 2000 árvores.ha⁻¹. Os regimes com 2000 árvores.ha⁻¹ tiveram os piores resultados em relação as outras lotações.

Em geral os resultados do VAE não foram tão elevados, o maior foi de R\$ 363,42.ha⁻¹, com receita bruta de R\$ 32.632,49.ha⁻¹. A razão principal é o preço não muito favorável da madeira fina (entre 5 a 22 cm) e o custo de remuneração da terra, pois quando o mesmo não é considerado, todos os regimes são viáveis, e os resultados melhoram substancialmente, com o melhor resultado com R\$ 848,00 ha⁻¹ e o pior com R\$ 393,00.ha⁻¹.

Isto reflete o atual mercado de venda, fazendo com que muitos produtores evitem a colheita, pelos altos custos e baixa remuneração de venda, de madeira para energia e de processo, estimados entre R\$ 50 e R\$ 60 por tonelada, incluindo custos de colheita e frete (GAZETA DO POVO, 2014).

Os custos obtidos neste trabalho foram de R\$ 49,40 por tonelada carregada no caminhão, sem custos de frete, concordando com a baixa remuneração pela madeira de energia, que alcança R\$ 13,50 por tonelada da madeira em pé, sem considerar os custos de colheita e carregamento.

Assim muitas destas rotações se prolongam por mais tempo e acabam suprindo o mercado de serraria, painéis de madeira, dormentes de ferrovia, embalagens, paletes, escoras e madeira estrutural na construção civil, a fim de melhorar os rendimentos econômicos.

Os regimes de produção sem desbastes normalmente são destinados à produção de energia e celulose entre outros fins e privilegiam a produção de altos volumes, que não atende necessariamente os objetivos do manejo florestal, concordando com Baloni e Simões (1980), de que o alto volume produzido nos regimes, seja de material adequado a cada uso e que proporcione um máximo retorno do investimento aplicado.

Souza (2012) citou que nos regimes sem desbaste, os povoamentos são manejados geralmente com a obtenção de produtos que não necessitam grandes dimensões para sua comercialização. No seu manejo não ocorre à realização de desbaste ou podas, sendo que o corte raso é realizado entre o 6º e 9º ano. No caso de produtores rurais e empresas que comercializam madeira com regimes sem desbaste, muitas vezes seguindo o procedimento de grandes empresas regionais, nem sempre trazem o maior retorno econômico.

4.1.1 Melhores Rentabilidades dos Regimes de Manejo sem Desbaste de *Eucalyptus dunnii*

Os 5 regimes sem desbastes mais rentáveis, com corte raso entre 7 a 16 anos, são citados na TABELA 8, por ordem de classificação. Os regimes com 1333 árvores.ha⁻¹ tiveram melhor desempenho dos regimes não desbastados.

O melhor regime sem desbaste, entre 30 regimes testados, em 3 espaçamentos, foi o regime nº 6, com 1333 árvores.ha⁻¹, com corte raso aos 12 anos de idade (TABELA 9).

TABELA 8 - MELHORES RENTABILIDADES DOS REGIMES SEM DESBASTE DE *Eucalyptus dunnii*

(nº)	Regime (nº)	Densidade (arv/ha. ⁻¹)	Manejo CR	Com terra		Sem terra	
				VAE (R\$.ha)	TIR (%)	VAE (R\$.ha)	VET R\$.ha)
1	6	1333	12	R\$ 363,42	11,10%	R\$ 848,08	R\$ 12.115,44
2	5	1333	11	R\$ 362,48	11,38%	R\$ 847,14	R\$ 12.102,04
3	4	1333	10	R\$ 360,55	11,68%	R\$ 845,21	R\$ 12.074,42
4	7	1333	13	R\$ 328,23	10,53%	R\$ 812,90	R\$ 11.612,80
5	3	1333	9	R\$ 321,63	11,57%	R\$ 806,29	R\$ 11.518,44

TABELA 9 – PRODUÇÃO TOTAL E POR SORTIMENTO DO MELHOR REGIME DE *Eucalyptus dunnii* SEM DESBASTE, REGIME Nº 6, COM CORTE RASO AOS 12 ANOS

Produção (m ³ .ha ⁻¹) por Diâmetro e Sortimento	Faqueado	Laminação	Serraria I	Serraria	Celulose	Energia	PRODUÇÃO TOTAL (m ³ .ha ⁻¹)
	Ø 35 >	Ø 30-35	Ø 25-30	Ø 22-25	Ø 12-22	Ø 6-12	
	0,00	0,80	29,70	58,00	386,90	6,00	481,40
%	0,00%	0,17%	6,17%	12,05%	80,37%	1,25%	100,00%

O volume produzido aos 12 anos é de 481,40 m³.ha⁻¹. O incremento médio deste regime é de 40,12 m³.ha⁻¹.ano⁻¹. O volume maior é de madeira fina (82%), com 18% de madeira de maior diâmetro (22 cm acima), com madeira de maior valor de mercado, favorecendo os resultados econômicos, contribuindo com cerca de 31% da renda, apesar de apenas 18% do total do sortimento.

Neste regime, as receitas (TABELA 10) alcançaram R\$ 32.685,00 por hectare, provenientes de mais de um produto, compensando menor valor de mercado de outros produtos, como ocorre no momento atual do mercado de madeira fina (como energia), com valores considerados baixos, em consequência, com menor rentabilidade no rendimento econômico dos povoamentos.

Este manejo com corte raso aos 12 anos, com VAE de R\$ 363,42.ha⁻¹, pode ser uma opção bastante interessante, pois a diferença para os regimes tradicionais com corte raso entre 7 a 9 anos, na mesma densidade, tem rendimentos econômicos inferiores, com regimes de 7 anos com VAE de R\$ 39,70.ha⁻¹, aos 8 anos com VAE R\$ 148,05 ha⁻¹, e aos 9 anos com VAE R\$ 321,63 ha⁻¹.

TABELA 10 – RECEITA BRUTA (R\$.ha⁻¹) DO MELHOR REGIME (Nº 6), SEM DESBASTE, DE *Eucalyptus dunnii* COM CORTE RASO AOS 12 ANOS

RENDA TOTAL (R\$.ha ⁻¹)	Faqueado	Laminação	Serraria I	Serraria	Celulose	Energia
	Ø 35 >	Ø 30-35	Ø 25-30	Ø 22-25	Ø 12-22	Ø 6-12
R\$ 32.684,89	R\$ 0,00	R\$ 150,28	R\$ 3.737,76	R\$ 6.139,34	R\$ 22.382,41	R\$ 275,10
%	0,00%	0,46%	11,44%	18,78%	68,48%	0,84%

4.2. REGIMES COM DESBASTES DE *Eucalyptus dunnii*

A produção volumétrica média dos regimes com desbastes foi de 556,46 m³.ha⁻¹, com incremento médio anual de 32,03 m³.ha⁻¹.ano⁻¹. Os regimes sem desbastes tiveram incremento médio anual de 39,95 m³.ha⁻¹.ano⁻¹. Portanto, no tocante a incremento médio anual, os regimes sem desbaste superaram os regimes desbastados, nas condições de sítio já relatadas, porém não superaram em resultados econômicos.

O critério principal adotado de análise, foi o VAE com a inclusão dos custos da terra. Os resultados também mostram que a exclusão do valor da terra no VAE, causa um aumento substancial neste indicador (168% superior), porém a não inclusão deste fator de produção, superestima os resultados econômicos, constatação também de BASSO (2014) e SOARES (2003).

Os resultados econômicos dos regimes com desbastes foram muito superiores aos regimes não desbastados. Os desbastes favoreceram o aumento do valor do VAE, sendo que o maior número de desbastes, proporcionou os melhores resultados.

Os regimes com 1333 árvores.ha⁻¹ alcançaram um valor de VAE médio de R\$ 390,44.ha⁻¹, com o maior valor de R\$ 781,39 e o menor valor de R\$ 99,02.ha⁻¹.

Nos regimes com 1600 árvores.ha⁻¹, os resultados mostraram valores médios de VAE de R\$ 295,59.ha⁻¹, com o maior valor de R\$ 597,08 e o menor valor de R\$ 15,14.ha⁻¹.

Nos regimes de maior densidade de árvores, com 2000 árvores.ha⁻¹, o VAE médio alcançou valor de R\$ 175,73.ha⁻¹, com o maior valor de R\$ 652,95 e o menor com valor negativo de R\$ -99,22.ha⁻¹.

Em geral os regimes com 1333 árvores tiveram melhor desempenho econômico em relação aos outros regimes, seguido pelos regimes de 1600 árvores, estes com resultados superiores a densidade de 2000 árvores.ha⁻¹.

Os resultados conferem com as afirmações dos autores Dobner Jr., Higa e Urbano (2012); Dosa *et al.* (2002) e Soares *et al.*, (2003a), que destacaram os benefícios financeiros dos regimes com desbastes, com estoques financeiramente mais valiosos, explorando árvores de maior crescimento em diâmetro e valor individual.

Também se assemelham aos resultados de Souza Junior (2012), que indicou melhores resultados econômicos para espécies de *Eucalyptus*, com ciclos mais longos, já que os regimes de ciclo curto obtiveram os piores resultados econômicos na região do Planalto Sul de Santa Catarina.

Do total de 123 regimes desbastados nas três densidades, 3 regimes tiveram resultados de VAE negativos, portanto considerados inviáveis e com a TIR abaixo da taxa mínima de atratividade (7%).

A média da TIR dos regimes com 1333 árvores.ha⁻¹ foi de 9,94%, com maior resultado de 12,95% e o menor com taxa de 7,13, no limite da taxa mínima de atratividade de 7%. Os regimes com 1600 árvores.ha⁻¹ tiveram TIR de 8,81%, com maior resultado de 12,95% e menor de 7,13%. Nos regimes com 2000 árvores.ha⁻¹ a TIR média foi de 8,81%, sendo a maior com 13,28% e a menor taxa com 6,05%

Os melhores resultados obtidos neste trabalho, são coerentes com a citação de Dossa *et al.* (2002), afirmando que a produção de eucaliptos apresenta resultados estimados entre 11 e 12 % ao ano, valores compatíveis com investimentos no setor. Também no trabalho de Souza Junior (2012), a TIR alcançou taxa de 11,70%, com TMA de 5% ao ano.

A TIR média de todos os 123 regimes os regimes desbastados foi de 9,83%, sendo a maior de 13,79% e a menor com 6,05%.

Os resultados gerais da rentabilidade dos regimes desbastados, nas 3 densidades consideradas, são apresentados nas TABELA 11, TABELA 12 e TABELA 13 e GRÁFICO 4 e GRÁFICO 5.

TABELA 11 – RENTABILIDADES DOS REGIMES COM DESBASTES DE *Eucalyptus dunnii*, COM DENSIDADE DE 1333 ÁRVORES.ha⁻¹

(nº)	Espaçamento (m)	Regime (nº)	Desbastes e Corte Final (anos)				Indicadores Econômicos COM TERRA		Indicadores Econômicos SEM TERRA	
			I	II	III	CR	VAE (R\$.ha)	TIR (%)	VAE (R\$.ha)	VET R\$.ha)
1	1333	11	5			14	R\$ 474,65	11,53%	R\$ 959,32	R\$ 13.704,52
2	1333	12	5			16	R\$ 366,27	10,28%	R\$ 850,94	R\$ 12.156,30
3	1333	13	5			18	R\$ 233,02	9,01%	R\$ 717,69	R\$ 10.252,72
4	1333	14	5			20	R\$ 99,03	7,84%	R\$ 583,70	R\$ 8.338,56
5	1333	15	6			14	R\$ 506,37	11,87%	R\$ 991,04	R\$ 14.157,75
6	1333	16	6			16	R\$ 425,81	10,80%	R\$ 910,48	R\$ 13.006,91
7	1333	17	6			18	R\$ 308,11	9,63%	R\$ 792,78	R\$ 11.325,39
8	1333	18	6			20	R\$ 180,01	8,50%	R\$ 664,68	R\$ 9.495,44
9	1333	19	7			14	R\$ 490,34	11,90%	R\$ 975,01	R\$ 13.928,68
10	1333	20	7			16	R\$ 424,05	10,94%	R\$ 908,72	R\$ 12.981,70
11	1333	21	7			18	R\$ 301,22	9,71%	R\$ 785,89	R\$ 11.227,00
12	1333	22	7			20	R\$ 182,55	8,61%	R\$ 667,22	R\$ 9.531,68
13	1333	23	8			14	R\$ 456,02	11,69%	R\$ 940,69	R\$ 13.438,42
14	1333	24	8			16	R\$ 368,22	10,59%	R\$ 852,89	R\$ 12.184,19
15	1333	25	8			18	R\$ 266,10	9,51%	R\$ 750,77	R\$ 10.725,31
16	1333	26	8			20	R\$ 164,35	8,52%	R\$ 649,02	R\$ 9.271,69
17	1333	27	9			14	R\$ 425,95	11,47%	R\$ 910,61	R\$ 13.008,74
18	1333	28	9			16	R\$ 330,77	10,35%	R\$ 815,44	R\$ 11.649,15
19	1333	29	9			18	R\$ 152,21	8,59%	R\$ 636,88	R\$ 9.098,25
20	1333	30	9			20	R\$ 141,32	8,38%	R\$ 625,99	R\$ 8.942,71
21	1333	31	5	8		16	R\$ 667,05	13,46%	R\$ 1.151,72	R\$ 16.453,17
22	1333	32	5	8		18	R\$ 558,87	12,26%	R\$ 1.043,54	R\$ 14.907,66
23	1333	33	5	8		20	R\$ 470,70	11,30%	R\$ 955,37	R\$ 13.648,17
24	1333	34	5	10		16	R\$ 394,69	11,34%	R\$ 879,35	R\$ 12.562,18
25	1333	35	5	10		18	R\$ 439,04	11,39%	R\$ 923,71	R\$ 13.195,83
26	1333	36	5	10		20	R\$ 335,96	10,37%	R\$ 820,63	R\$ 11.723,31
27	1333	37	5	12		16	R\$ 273,14	10,07%	R\$ 757,81	R\$ 10.825,84
28	1333	38	5	12		18	R\$ 217,56	9,44%	R\$ 702,23	R\$ 10.031,83
29	1333	39	5	12		20	R\$ 174,63	8,94%	R\$ 659,30	R\$ 9.418,52
30	1333	40	7	10		16	R\$ 595,97	12,77%	R\$ 1.080,63	R\$ 15.437,61
31	1333	41	7	10		18	R\$ 494,82	11,69%	R\$ 979,49	R\$ 13.992,71
32	1333	42	7	10		20	R\$ 387,00	10,64%	R\$ 871,67	R\$ 12.452,44
33	1333	43	7	12		16	R\$ 381,65	11,15%	R\$ 866,32	R\$ 12.375,96
34	1333	44	7	12		18	R\$ 503,91	11,81%	R\$ 988,58	R\$ 14.122,57
35	1333	45	7	12		20	R\$ 399,19	10,84%	R\$ 883,86	R\$ 12.626,54
36	1333	46	9	12		16	R\$ 503,96	12,05%	R\$ 988,62	R\$ 14.123,20
37	1333	47	9	12		18	R\$ 492,09	11,68%	R\$ 976,76	R\$ 13.953,67
38	1333	48	9	12		20	R\$ 405,80	10,85%	R\$ 890,47	R\$ 12.720,99
39	1333	49	7	10	14	18	R\$ 781,40	13,79%	R\$ 1.266,06	R\$ 18.086,62
40	1333	50	7	10	14	20	R\$ 617,46	12,57%	R\$ 1.102,13	R\$ 15.744,69
41	1333	51	7	10	16	20	R\$ 618,07	12,40%	R\$ 1.102,74	R\$ 15.753,43

TABELA 12 - RENTABILIDADES DOS REGIMES COM DESBASTES DE *Eucalyptus dunnii*, COM DENSIDADE DE 1600 ÁRVORES.ha⁻¹

(nº)	Espaçamento (m)	Regime (nº)	Desbastes e Corte Final (anos)				Indicadores Econômicos COM TERRA		Indicadores Econômicos SEM TERRA	
			I	II	III	CR	VAE (R\$.ha)	TIR (%)	VAE (R\$.ha)	VET (R\$.ha)
42	1600	62	5			14	R\$ 336,41	10,38%	R\$ 821,08	R\$ 11.729,72
43	1600	63	5			16	R\$ 248,54	9,34%	R\$ 733,21	R\$ 10.474,44
44	1600	64	5			18	R\$ 133,24	8,21%	R\$ 617,91	R\$ 8.827,28
45	1600	65	5			20	R\$ 15,14	7,13%	R\$ 499,81	R\$ 7.140,19
46	1600	66	6			14	R\$ 373,60	10,78%	R\$ 858,27	R\$ 12.260,99
47	1600	67	6			16	R\$ 307,03	9,88%	R\$ 791,70	R\$ 11.309,96
48	1600	68	6			18	R\$ 204,31	8,84%	R\$ 688,98	R\$ 9.842,53
49	1600	69	6			20	R\$ 96,00	7,84%	R\$ 580,67	R\$ 8.295,33
50	1600	70	7			14	R\$ 325,55	10,49%	R\$ 810,21	R\$ 11.574,48
51	1600	71	7			16	R\$ 308,26	10,01%	R\$ 792,92	R\$ 11.327,50
52	1600	72	7			18	R\$ 233,16	9,16%	R\$ 717,83	R\$ 10.254,66
53	1600	73	7			20	R\$ 126,78	8,15%	R\$ 611,45	R\$ 8.734,98
54	1600	74	8			14	R\$ 241,09	9,74%	R\$ 725,75	R\$ 10.367,92
55	1600	75	8			16	R\$ 280,65	9,85%	R\$ 765,32	R\$ 10.933,07
56	1600	76	8			18	R\$ 216,26	9,09%	R\$ 700,93	R\$ 10.013,33
57	1600	77	8			20	R\$ 110,67	8,06%	R\$ 595,34	R\$ 8.504,80
58	1600	78	9			14	R\$ 171,63	9,04%	R\$ 656,29	R\$ 9.375,64
59	1600	79	9			16	R\$ 239,25	9,52%	R\$ 723,91	R\$ 10.341,64
60	1600	80	9			18	R\$ 195,26	8,96%	R\$ 679,93	R\$ 9.713,31
61	1600	81	9			20	R\$ 100,11	8,00%	R\$ 584,78	R\$ 8.354,00
62	1600	82	5	8		16	R\$ 597,08	12,95%	R\$ 1.081,75	R\$ 15.453,54
63	1600	83	5	8		18	R\$ 556,85	12,21%	R\$ 1.041,52	R\$ 14.878,85
64	1600	84	5	8		20	R\$ 459,91	11,21%	R\$ 944,57	R\$ 13.493,91
65	1600	85	5	10		16	R\$ 281,77	10,28%	R\$ 766,43	R\$ 10.949,06
66	1600	86	5	10		18	R\$ 395,02	10,99%	R\$ 879,69	R\$ 12.566,96
67	1600	87	5	10		20	R\$ 305,94	10,08%	R\$ 790,61	R\$ 11.294,44
68	1600	88	5	12		16	R\$ 182,64	9,13%	R\$ 667,30	R\$ 9.532,90
69	1600	89	5	12		18	R\$ 159,88	8,82%	R\$ 644,55	R\$ 9.207,83
70	1600	90	5	12		20	R\$ 109,61	8,25%	R\$ 594,28	R\$ 8.489,66
71	1600	91	7	10		16	R\$ 512,97	12,07%	R\$ 997,63	R\$ 14.251,90
72	1600	92	7	10		18	R\$ 420,98	11,06%	R\$ 905,65	R\$ 12.937,85
73	1600	93	7	10		20	R\$ 322,50	10,08%	R\$ 807,17	R\$ 11.530,98
74	1600	94	7	12		16	R\$ 330,22	10,66%	R\$ 814,89	R\$ 11.641,30
75	1600	95	7	12		18	R\$ 373,95	10,82%	R\$ 858,62	R\$ 12.265,99
76	1600	96	7	12		20	R\$ 356,78	10,49%	R\$ 841,45	R\$ 12.020,67
77	1600	97	9	12		16	R\$ 395,86	11,19%	R\$ 880,53	R\$ 12.579,01
78	1600	98	9	12		18	R\$ 381,97	10,87%	R\$ 866,64	R\$ 12.380,56
79	1600	99	9	12		20	R\$ 340,27	10,36%	R\$ 824,94	R\$ 11.784,83
80	1600	100	7	10	14	18	R\$ 533,10	11,85%	R\$ 1.017,77	R\$ 14.539,58
81	1600	101	7	10	14	20	R\$ 404,80	10,75%	R\$ 889,47	R\$ 12.706,68
82	1600	102	7	10	16	20	R\$ 434,19	10,86%	R\$ 918,86	R\$ 13.126,50

TABELA 13 – RENTABILIDADES DO S REGIMES COM DESBASTES DE *Eucalyptus dunnii*, COM DENSIDADE DE 2000 ÁRVORES.ha⁻¹

(nº)	Espaçamento (m)	Regime (nº)	Desbastes e Corte Final (anos)				Indicadores Econômicos COM TERRA		Indicadores Econômicos SEM TERRA	
			I	II	III	CR	VAE (R\$.ha)	TIR (%)	VAE (R\$.ha)	VET (R\$.ha)
83	2000	113	5			14	R\$ 179,54	8,94%	R\$ 664,21	R\$ 9.488,69
84	2000	114	5			16	R\$ 99,68	8,01%	R\$ 584,34	R\$ 8.347,77
85	2000	115	5			18	R\$ 0,85	7,01%	R\$ 485,52	R\$ 6.936,04
86	2000	116	5			20	R\$ 99,22	6,05%	R\$ 385,45	R\$ 5.506,46
87	2000	117	6			14	R\$ 177,61	8,97%	R\$ 662,27	R\$ 9.461,00
88	2000	118	6			16	R\$ 154,86	8,57%	R\$ 639,53	R\$ 9.136,14
89	2000	119	6			18	R\$ 77,20	7,74%	R\$ 561,87	R\$ 8.026,65
90	2000	120	6			20	R\$ 17,30	6,84%	R\$ 467,37	R\$ 6.676,68
91	2000	121	7			14	R\$ 175,47	9,02%	R\$ 660,13	R\$ 9.430,45
92	2000	122	7			16	R\$ 148,56	8,58%	R\$ 633,23	R\$ 9.046,15
93	2000	123	7			18	R\$ 79,14	7,80%	R\$ 563,81	R\$ 8.054,37
94	2000	124	7			20	R\$ 8,51	7,08%	R\$ 493,17	R\$ 7.045,35
95	2000	125	8			14	R\$ 153,51	8,83%	R\$ 638,18	R\$ 9.116,83
96	2000	126	8			16	R\$ 101,49	8,15%	R\$ 586,16	R\$ 8.373,66
97	2000	127	8			18	R\$ 57,85	7,62%	R\$ 542,51	R\$ 7.750,18
98	2000	128	8			20	R\$ 11,76	7,12%	R\$ 496,42	R\$ 7.091,76
99	2000	129	9			14	R\$ 87,63	8,08%	R\$ 572,29	R\$ 8.175,61
100	2000	130	9			16	R\$ 54,25	7,64%	R\$ 538,91	R\$ 7.698,74
101	2000	131	9			18	R\$ 0,21	7,00%	R\$ 484,88	R\$ 6.926,79
102	2000	132	9			20	R\$ 52,22	6,42%	R\$ 432,44	R\$ 6.177,77
103	2000	133	5	8		16	R\$ 652,95	13,28%	R\$ 1.137,62	R\$ 16.251,66
104	2000	134	5	8		18	R\$ 552,71	12,16%	R\$ 1.037,38	R\$ 14.819,70
105	2000	135	5	8		20	R\$ 444,28	11,08%	R\$ 928,94	R\$ 13.270,64
106	2000	136	5	10		16	R\$ 222,10	9,67%	R\$ 706,76	R\$ 10.096,62
107	2000	137	5	10		18	R\$ 370,18	10,76%	R\$ 854,85	R\$ 12.212,10
108	2000	138	5	10		20	R\$ 278,70	9,83%	R\$ 763,36	R\$ 10.905,20
109	2000	139	5	12		16	R\$ 117,50	8,41%	R\$ 602,16	R\$ 8.602,34
110	2000	140	5	12		18	R\$ 108,83	8,26%	R\$ 593,49	R\$ 8.478,48
111	2000	141	5	12		20	R\$ 50,43	7,59%	R\$ 535,10	R\$ 7.644,28
112	2000	142	7	10		16	R\$ 377,72	11,00%	R\$ 862,39	R\$ 12.319,79
113	2000	143	7	10		18	R\$ 372,31	10,67%	R\$ 856,98	R\$ 12.242,52
114	2000	144	7	10		20	R\$ 281,30	9,75%	R\$ 765,96	R\$ 10.942,35
115	2000	145	7	12		16	R\$ 165,63	8,95%	R\$ 650,30	R\$ 9.289,98
116	2000	146	7	12		18	R\$ 114,43	8,33%	R\$ 599,10	R\$ 8.558,50
117	2000	147	7	12		20	R\$ 115,03	8,26%	R\$ 599,69	R\$ 8.567,04
118	2000	148	9	12		16	R\$ 156,76	8,85%	R\$ 641,43	R\$ 9.163,24
119	2000	149	9	12		18	R\$ 121,09	8,40%	R\$ 605,75	R\$ 8.653,64
120	2000	150	9	12		20	R\$ 93,99	8,06%	R\$ 578,66	R\$ 8.266,56
121	2000	151	7	10	14	18	R\$ 410,09	11,04%	R\$ 894,75	R\$ 12.782,20
122	2000	152	7	10	14	20	R\$ 399,67	10,76%	R\$ 884,33	R\$ 12.633,34
123	2000	153	7	10	16	20	R\$ 399,84	10,62%	R\$ 884,50	R\$ 12.635,76

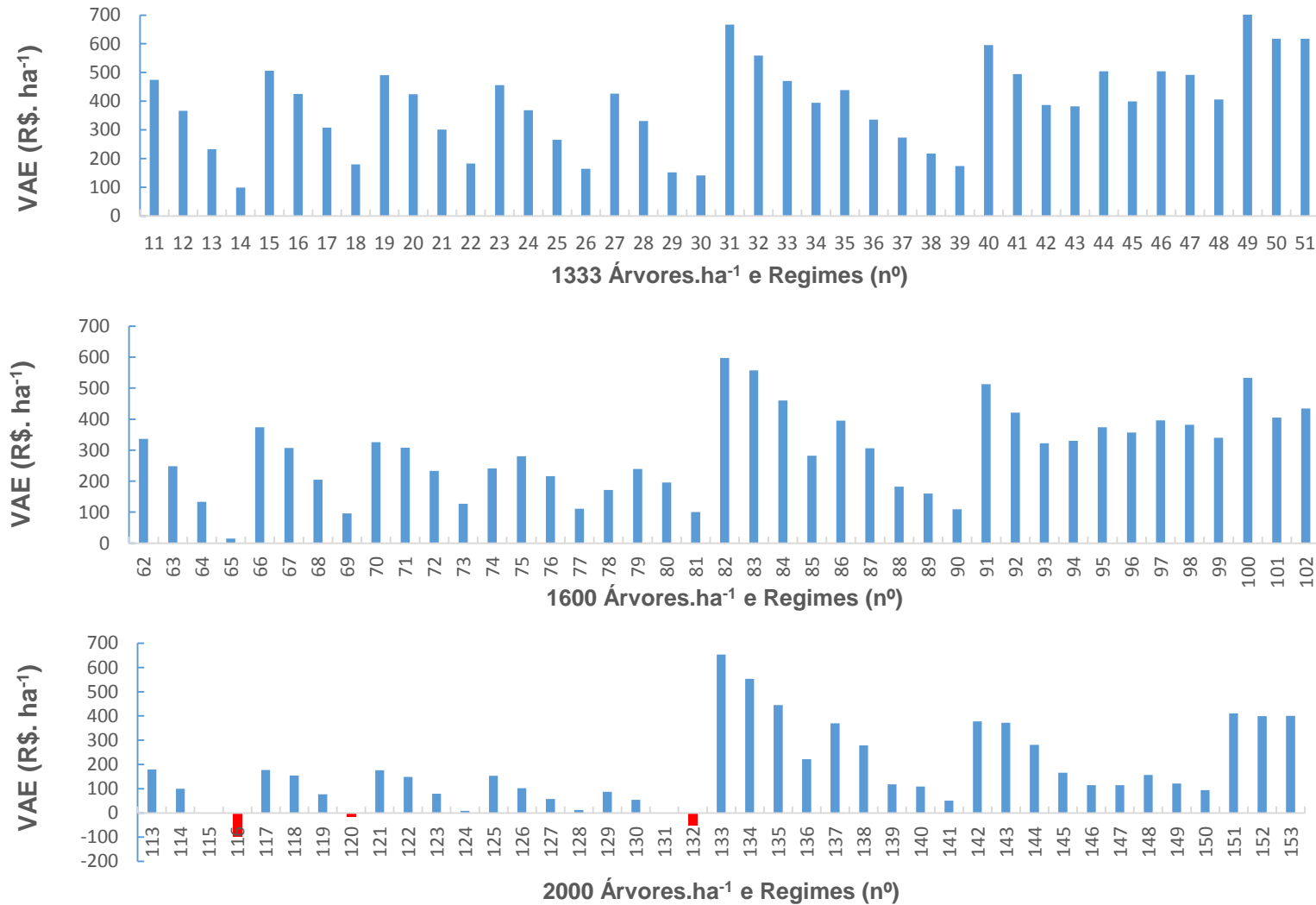


GRÁFICO 4 – VALOR ANUAL EQUIVALENTE (VAE) DOS REGIMES DE *Eucalyptus dunnii*, DOS REGIMES COM DESBASTES, EM 3 DENSIDADES.ha⁻¹

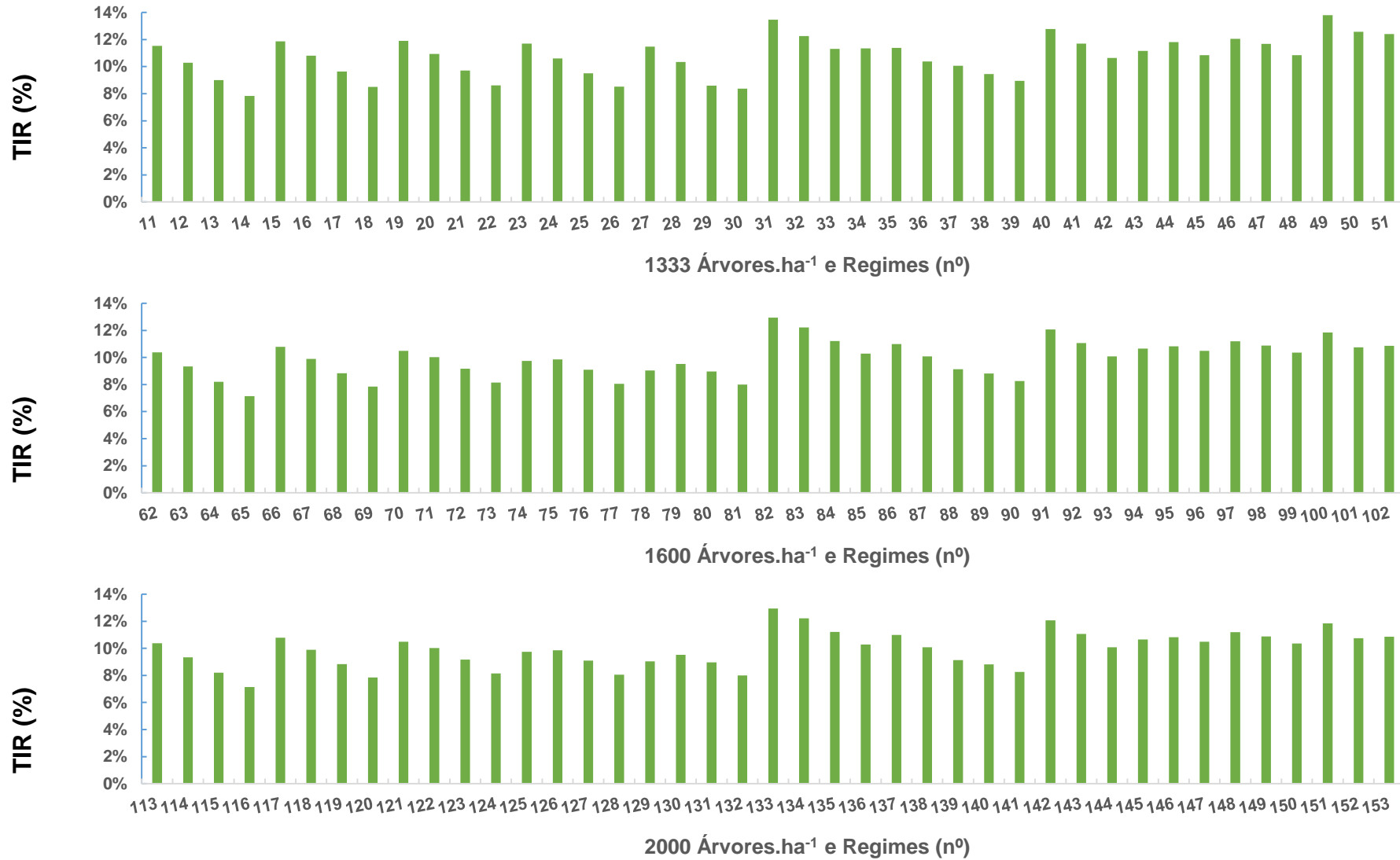


GRÁFICO 5 – TAXA INTERNA DE RETORNO (TIR%) DOS REGIMES DE *Eucalyptus dunnii*, COM DESBASTES, EM 3 DENSIDADES.ha⁻¹

4.2.1 Melhores Rentabilidades dos Regimes de Manejo com Desbaste

Os 10 regimes mais rentáveis com desbaste, com corte raso entre 7 a 16 anos, são citados na TABELA 14, por ordem de classificação, sendo que os regimes com densidade de 1.333 árvores.ha⁻¹, tiveram melhor desempenho (7 melhores entre 10 classificados). Esta mesma densidade também teve o melhor desempenho entre os regimes não desbastados.

TABELA 14 – RESULTADOS DOS OS 10 MELHORES RENTABILIDADES DOS REGIMES COM DESBASTES DE *Eucalyptus dunnii*

nº	Densidade (árv.ha ⁻¹)	Regime (nº)	Desbastes e Corte Final (anos)				Indicadores		Indicadores	
			I	II	III	CR	VAE (R\$.ha ⁻¹)	TIR (%)	VAE (R\$.ha ⁻¹)	VET (R\$.ha ⁻¹)
1	1333	49	7	10	14	18	R\$ 781,40	13,79%	R\$ 1.266,06	R\$ 18.086,62
2	1333	31	5	8		16	R\$ 667,05	13,46%	R\$ 1.151,72	R\$ 16.453,17
3	2000	133	5	8		16	R\$ 652,95	13,28%	R\$ 1.137,62	R\$ 16.251,66
5	1333	51	7	10	16	20	R\$ 618,07	12,40%	R\$ 1.102,74	R\$ 15.753,43
4	1333	50	7	10	14	20	R\$ 617,46	12,57%	R\$ 1.102,13	R\$ 15.744,69
6	1600	82	5	8		16	R\$ 597,08	12,95%	R\$ 1.081,75	R\$ 15.453,54
7	1333	40	7	10		16	R\$ 595,97	12,77%	R\$ 1.080,63	R\$ 15.437,61
8	1333	32	5	8		18	R\$ 558,87	12,26%	R\$ 1.043,54	R\$ 14.907,66
9	1600	83	5	8		18	R\$ 556,85	12,21%	R\$ 1.041,52	R\$ 14.878,85
10	2000	134	5	8		18	R\$ 552,71	12,16%	R\$ 1.037,38	R\$ 14.819,70

Os melhores regimes com desbastes tiveram ciclo total entre 16 a 20 anos, com a realização de pelo menos 2 desbastes.

O regime nº 49 com ciclo de 18 anos, foi considerado o regime de melhor resultado econômico, com produção de volume de 574,40 m³.ha⁻¹, gerando um Incremento Médio Anual (IMA) de 32,00 m³.ha⁻¹. Também é o regime de melhor rentabilidade entre todos os regimes simulados, sem desbaste e com desbaste, totalizando 153 simulações realizadas neste trabalho.

Neste regime, o primeiro desbaste é realizado aos 7 anos de idade, com remoção de 14,00 m².ha⁻¹ de área basal, ficando um remanescente de 14,30 m².ha⁻¹, seguindo critérios técnicos indicados por Dobner Jr., Higa e Urbano (2012). O número de árvores definidas para corte foi de 683 árvores.ha⁻¹, ficando o remanescente de 612 árvores.ha⁻¹.

No segundo desbaste realizado aos 10 anos, são cortadas 207 árvores.ha⁻¹, ficando 400 árvores.ha⁻¹ remanescentes. Aos 14 anos é realizado o terceiro desbaste, com corte seletivo de 146 árvores, ficando 250 árvores.ha⁻¹ remanescentes para o corte raso aos 18 anos. Os volumes produzidos, constam da TABELA 15.

TABELA 15 – PRODUÇÃO TOTAL E POR SORTIMENTO DO MELHOR REGIME (Nº 49) DE *Eucalyptus dunnii* COM DESBASTES AOS 8, 10 E 14 ANOS E CORTE RASO AOS 18 ANOS

Manejo (anos)	Produção (m ³ .ha ⁻¹) por Diâmetro e Sortimento						PRODUÇÃO TOTAL (m ³ .ha ⁻¹)
	Faqueado	Laminação	Serraria I	Serraria	Celulose	Energia	
	Ø 35 >	Ø 30-35	Ø 25-30	Ø 22-25	Ø 12-22	Ø 6-12	
8	0,00	0,00	0,00	0,20	93,20	25,80	119,20
10	0,00	0,00	0,00	7,60	73,10	0,50	81,20
14	0,00	0,00	40,50	25,40	35,00	0,10	101,00
18	0,00	92,10	71,90	72,60	36,20	0,20	273,00
Total	0,00	92,10	112,40	105,80	237,50	26,60	574,40
%	0,00%	16,03%	19,57%	18,42%	41,35%	4,63%	100%

Este regime tem certo equilíbrio entre a produção de madeira para laminação e serraria (46%) e com produção de madeira fina (54%) para energia ou celulose, sendo uma alternativa de condução diferente de regimes tradicionais, onde o foco é a produção de energia ou outras utilizações que utilizam madeira mais fina.

A renda total deste regime é de R\$ 57.604,80.ha⁻¹ (TABELA 16), com a madeira grossa (diâmetros acima de 22) participando com 74% da renda, somando-se a 26% da renda da madeira fina (diâmetro entre 5 a 22 cm).

A realização de desbastes, possibilita o maior crescimento em diâmetro, e a consequente produção de madeira para usos de maior valor agregado. No corte final deste regime o DAP médio é de 27,30 cm, superior a povoamento da mesma idade sem desbaste, que é de 20,40 cm.

Comparando a rentabilidade do melhor regime sem desbaste, com corte raso aos 12 anos e VAE de R\$ 363,42.ha⁻¹, com o melhor regime com regimes desbastados, com desbastes ao 7, 10, 14 e corte final aos 18 anos e VAE de R\$ 781,40, nota-se uma grande superioridade dos regimes desbastados, com renda muito superior aos não desbastados.

TABELA 16 – RECEITA BRUTA (R\$.ha⁻¹) DO MELHOR REGIME COM DESBASTE (Nº 49) DE *Eucalyptus dunnii*, COM DESBASTE AO 8, 10 E 14 ANOS, E CORTE RASO AOS 18 ANOS

Produção (m ³ .ha ⁻¹) por Diâmetro e Sortimento	Laminação	Serraria I	Serraria	Celulose	Energia	TOTAL
	Ø 30-35	Ø 25-30	Ø 22-25	Ø 12-22	Ø 6-12	
	92,10	112,40	105,80	237,50	26,60	574,40
Valor (R\$.m ⁻³)	R\$ 187,85	R\$ 125,85	R\$ 105,85	R\$ 57,85	R\$ 45,85	
Valor por Sortimento (R\$)	R\$ 17.301,04	R\$ 14.145,61	R\$ 11.199,00	R\$ 13.739,52	R\$ 1.219,63	R\$ 57.604,80
%	30,03%	24,56%	19,44%	23,85%	2,12%	100,00%

Soares *et al.* (2003b) também indicam que regimes com a alternativa de uso da madeira para geração de energia não são lucrativos, comparando com manejos de madeira para multiprodutos (serraria e energia), devido à maior valorização da tora para multiprodutos.

Este tipo de manejo também é mais uma opção para empresas florestais e produtores rurais, pois o gênero *Eucalyptus* apresenta-se como uma grande alternativa para a produção de madeira para os outras finalidades mais lucrativas, especialmente pelo descompasso crescente entre oferta e demanda de madeira (SOARES *et al.*, 2003b).

A realização de desbastes para melhoria dos rendimentos econômicos também foi sugerida por Dossa *et al.* (2002); Dobner Jr., Higa e Urbano (2012); Soares *et al.*, (2003a) e Souza Junior (2012).

No caso de condição de mercado não muito favorável, o produtor pode optar por estender o ciclo, com melhorias no desenvolvimento do povoamento, pois a área basal continua sua evolução se distribuindo em um número menor de árvores remanescentes, após os desbastes.

Pelos resultados do melhor regime com desbaste, á exemplo de Soares *et al.* (2003b), também pode-se concluir que a produção de vários produtos em termos de resultados econômicos é um diferencial competitivo, pois agrega uma crescente flexibilidade no que diz respeito à comercialização dos produtos, propiciando a redução dos riscos de prejuízos.

4.3. VALOR ESPERADO DA TERRA (VET) PARA TODOS OS REGIMES

O Valor Esperado da Terra (VET) indica o valor máximo que deve ser pago pela terra para a atividade econômica foi citado nos resultados dos regimes com e sem desbastes nas TABELAS 6, 10, 11 e 12. O valor da terra na região estudada alcançou R\$ 12.754,67 por hectare de terra nua.

Para o VET ser viável e utilizado como comparativo de alternativas de investimento, seu valor deverá ser maior que o preço de mercado da terra. Se ao contrário, ou seja, o VET for menor do que o valor de mercado, o empreendimento é inviável (SILVA e FONTES, 2005).

Souza Junior (2012) obteve VET de R\$ 13.651,68, para a região do Planalto Sul de Santa Catarina. Os resultado se aproximam dos valores de terras pesquisados neste trabalho (R\$ 12.754,67), utilizados como limite para o VET.

O GRÁFICO 6 mostra os resultados do VET e a linha limite do valor da terra.

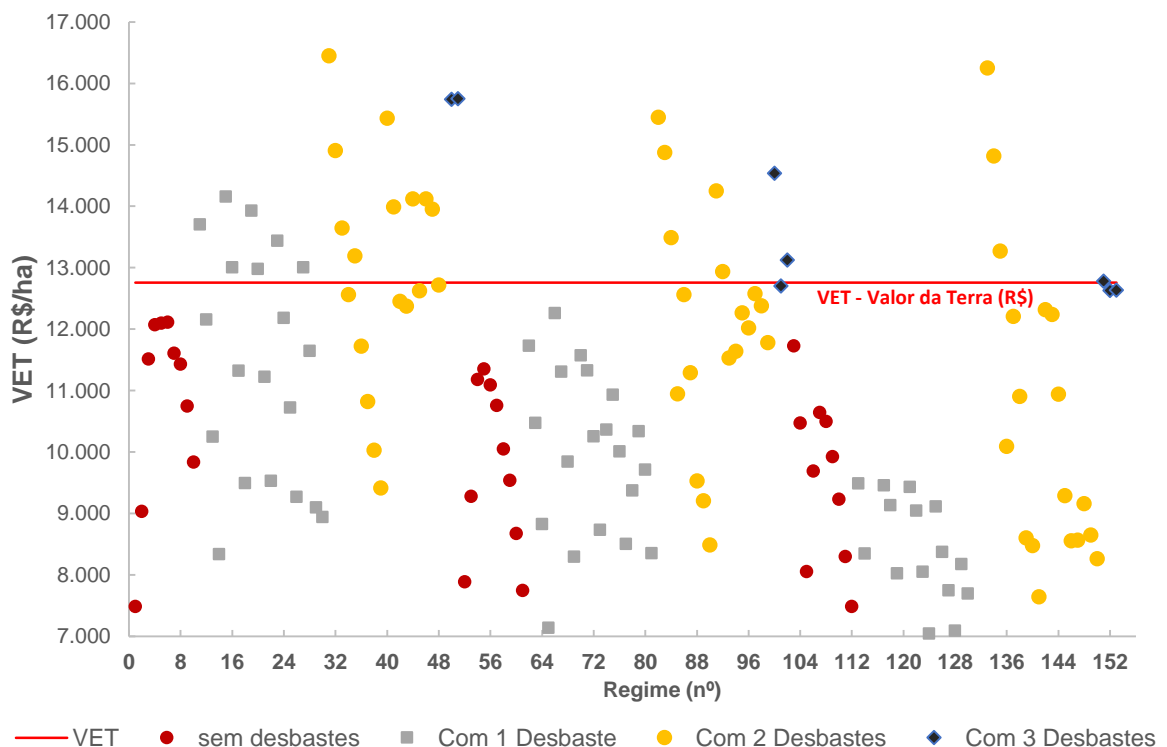


GRÁFICO 6 – VALOR DO VET – VALOR ESPERADO DA TERRA (R\$.ha⁻¹) DOS REGIMES DE *Eucalyptus dunnii*, COM E SEM DESBASTES, E O LIMITE VIÁVEL PARA O PROJETO SE TORNAR VIÁVEL

Pelo critério do VET, os valores das receitas líquidas (perpétuas) da quase totalidade dos projetos não são viáveis economicamente, pois os valores não atingem o suficiente para se pagar as terras necessárias para o investimento.

Dos 153 regimes com e sem desbastes, 30 regimes se mostraram viáveis para o VET. Todos os regimes sem desbaste se mostraram inviáveis pelo critério do VET, sendo a razão principal o baixo preço da madeira fina (diâmetro entre 5 a 22 cm), com preços considerados baixos pelo mercado de madeiras.

Os regimes com 2 desbastes tiveram os melhores resultados em relação ao VET, com 18 regimes viáveis economicamente (60% do total), seguido dos regimes com 1 desbaste com 7 regimes viáveis (23%), e restando 5 regimes viáveis com 3 desbastes (17%).

Os regimes desbastados considerados mais rentáveis (TABELA 14) tiveram VET acima do valor máximo que deve ser pago pela terra, fato não ocorrido com os regimes sem desbastes mais rentáveis (TABELA 8).

Sobre os resultados do VET as ponderações apresentadas por Silva *et al.* (2008), Rezende, Silva e Junior (1996) e Uys e Kotze (1992), trazem pontos interessantes sobre o VET em países tropicais, pois os ciclos rápidos das florestas podem proporcionar oportunidades de mudanças nos investimentos, fazendo com que o horizonte infinito possa ser considerado inadequado. As taxas de juros nestes países são instáveis e com juros reais elevados, podendo trazer prejuízos à estimativa do VET.

Também os autores apontam a terra como opção de reserva de valor, devido às incertezas econômicas. As especulações do mercado de terras trazem limitações na aplicação do VET nestes países, pois seu cálculo assume que o único fator determinante do valor da terra o seu valor produtivo, ou sejam as receitas obtidas da atividade produtiva.

5 CONCLUSÕES

A menor densidade de árvores no plantio favorece os resultados econômicos.

A realização de desbastes em povoamentos de *Eucalyptus dunnii* melhoram os resultados econômicos, em relação aos regimes sem desbastes.

O regime com densidade de 1333 árvores.ha⁻¹, com corte raso aos 12 anos, deve ser considerado o de melhor desempenho entre os regimes não desbastados.

O regime com densidade de 1333 árvores.ha⁻¹, com desbaste aos 8,10 e 14 anos e corte final aos 18 anos, deve ser considerado o de melhor desempenho econômico entre regimes com e sem desbastes.

6 RECOMENDAÇÕES

Este capítulo é um estudo preliminar sobre possíveis alternativas de manejo de *Eucalyptus dunnii*, com e sem desbaste, com uso do Simulador SisDunnii. Seria muito interessante pesquisas de rentabilidade reais da espécie, que sirvam de contraponto com as pesquisas realizadas nesta tese.

Também seria importante, outros trabalhos incluindo produção e rentabilidade em diversos sítios. Neste capítulo, realizou-se todos os cálculos e raciocínios tomando por base o valor central da Classe II de sítio, sendo que a extrapolação para outros sítios é possível, porém, a realização de trabalhos completos seria necessária.

Os aspectos de desbastes precisam serem melhor explorados, pois existem poucos trabalhos em *Eucalyptus dunnii*, como Dobner Jr., Higa e Urbano (2012), fundamentais para projeções futuras de produções e rendas.

REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS (ABRAF). **Anuário Estatístico da ABRAF. Ano-base 2006**. Brasília: ABRAF, 2007. 120 p.
- ACERBI JUNIOR, F. W.; SCOLFORO, J. R. S., OLIVEIRA, A. D. D.; MAESTRI, R. (2002). Modelo para Prognose do Crescimento e da Produção e Análise Econômica de Regimes de Manejo para *Pinus taeda* L. **Revista Árvore**, v. 26, n. 6, p. 699-713, 2002.
- ASSOCIAÇÃO CATARINENSE DE EMPRESAS FLORESTAIS (ACR). **Apresentação Institucional**. Lages: ACR, 24p. Out. 2014.
- ASSIS, T. F. Estratégias de melhoramento para obtenção de madeira de qualidade para laminação e serraria. **Seminário de madeira de Eucalipto: tendências e usos**. FUFPEF-UFPR-DETF, v. 58, 2001.
- AVEIRO, A. V. D.; CERCAL, M. L. P. M. Eucalipto. Serviço Brasileiro de Respostas técnicas. **Dossiê Técnico**. Instituto de Tecnologia do Paraná (TECPAR): set. 2007. 37 p.
- BALLONI, E. A.; SIMÕES, J. W. (1980). O espaçamento de plantio e suas implicações silviculturais. **IPEF – Série Técnica**, v. n.3. p.11-16. 1980.
- BARCELLOS, D.C.; COUTO, L.C.; MÜLLER, M.D.; COUTO, L. O Estado da Arte da Qualidade da Madeira de Eucalipto para Produção de Energia: Um enfoque nos Tratamentos Silviculturais. **Biomassa & Energia**. Viçosa, v. 2, n. 2, p. 141-158, 2005.
- BASSO, M. **Análise Econômica da Produção de Eucalipto do Programa Produtor Florestal no Estado do Espírito Santo**. 70 p. Dissertação de Mestrado (Mestrado em Ciências Florestais) Universidade Federal do Espírito Santo. 2014.
- BATISTA, K. M. **Análise crescimento e do desempenho econômico-financeiro de povoamentos de *Eucalyptus dunnii* em diferentes sítios no planalto catarinense**. 56 p. Trabalho de Conclusão de Graduação em Engenharia Florestal. Universidade Federal de Santa Catarina. 2014.
- BERGER, R. **Crescimento e qualidade da madeira de um clone de *Eucalyptus saligna* Smith sob o efeito do espaçamento e da fertilização**. 105 p. Dissertação de Mestrado (Mestrado em Engenharia Florestal). Universidade Federal de Santa Maria, RS, 2000.
- BERGER, R.; TIMOFEICZYK JUNIOR, R.; DOS SANTOS, A.J.; BITTENCOURT, A.M.; DE SOUZA, V.S.; EISFEL, C. de L.; POLZ, W.B. Rentabilidade da Produção de *Pinus* spp. por Região Homogênea do Paraná. **FLORESTA**, Curitiba, v.41, n.1, p.161-168, Jan/Mar. 2011.

BERTOLANI, F.; NORIVAL N.; CHAVES, R. Manejo de *Eucalyptus* sp. para Serraria: A Experiência da DURATEX SA. In: **Seminário Internacional de Utilização da Madeira de Eucalipto para Serraria**, São Paulo, 1995.

BNDES - Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social. **Programa para Redução da Emissão de Gases de Efeito Estufa na Agricultura – Programa ABC**. Disponível em: <http://www.bndes.gov.br/apoio/abc.html>
Acesso em 15/10/2014.

CARPANEZZI, A.A.; PEREIRA, J.C.D.; CARVALHO, P.E.R.; REIS, A.; VIEIRA, A.R.R.; ROTTA, E.; STURION, J.A.; RAUEN, M. de J.; SILVEIRA, R.A. **Zoneamento Ecológico para Plantios Florestais no Estado de Santa Catarina**. Curitiba: EMBRAPA, 113 p., 1988.

COELHO, A.R.C.; MELLO, H.A.; SIMÕES, J.W. Comportamento de Espécies de Eucaliptos face ao Espaçamento. **IPEF**, n.1, p.25-55, 1970.

CONSELHO DE INFORMAÇÃO SOBRE BIOTECNOLOGIA (CBI). **Guia do Eucalipto: oportunidade para um desenvolvimento sustentável**. 2008. 2009. Disponível em: http://www.cib.org.br/pdf/Guia_do_Eucalipto_junho_2008.pdf. Acesso em: 05/04/2015.

DO COUTO, H. T. Z. Manejo de florestas e sua utilização em serraria. In: **SEMINÁRIO INTERNACIONAL DE UTILIZAÇÃO DA MADEIRA DE EUCALIPTO PARA SERRARIA**, Piracicaba. Anais. Piracicaba: IPEF/IPT, 1995. p. 20-30.

DOBNER JR, M.; HIGA, A.R; URBANO, E. Determinação da Idade e Intensidade Ótimas para Realização do Primeiro Desbaste em um Povoamento de *Eucalyptus dunnii*. **Floresta**, v. 42, n. 3, p. 485-494, 2012.

DOSSA, D.; SILVA, H.D. da; BELLOTE, A.F.J.; RODIGHERI, H.R. Produção e rentabilidade do eucalipto em empresas florestais. **Comunicado Técnico nº 83**. Colombo, Embrapa, 2002. 4p.

EMPRESA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA E EXTENSÃO RURAL DE SANTA CATARINA (EPAGRI). **Preço da terra nua para uso agrícola em Santa Catarina, levantados no 4º trimestre do ano 2009-2014 - Versão preliminar, 2014**. Disponível em: http://www.epagri.sc.gov.br/?page_id=2711 Acesso em 15/10/2014.

BOCA, R. T.; PATHAUER, P. S.; LOPEZ, G. A.; GALLETI, M. A; ESPARRACH, C. A. Efecto de la densidad de plantación sobre el crecimiento de *Eucalyptus globulus* en un ensayo Nelder modificado. **Forest Systems**, v. 14, n. 2, p. 174-184, 2005.

FINGER, C.A, G.; SCHNEIDER, P.R. Determinação do peso do desbaste para florestas de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden, com base no índice de espaçamento relativo. **Ciência Florestal**, v. 9, n. 1, p. 79-87, 2009.

GAZETA DO POVO. Setor florestal prevê crise de abastecimento de toras em uma década. **Gazeta do Povo**, Notícias, Agricultura, 31 de Julho de 2014. Disponível em <http://agro.gazetadopovo.com.br/noticias/agricultura/crise-anunciada/>. Acesso em 18/02/2014.

GONÇALES, J.C.; BRENDA, L. de C.; BARROS, J.F.M.; MACEDO, D.G.; JANIN, G.; DA COSTA, A.F.; DO VALE, A.T. Características Tecnológicas das Madeiras de *Eucalyptus grandis* Hill ex-Maiden e *Eucalyptus cloeziana* Visando ao seu Aproveitamento na Indústria Moveleira. **Ciência Florestal**, vol.16, n.3, p.239-341, 2006.

GORGENS, E. B.; LEITE, H. G.; NOGUEIRA, G. S.; DIAS, A. N. (2007). Yield trend in thinned stands of eucalyptus. **Revista Árvore**, v. 31, n. 5, p. 879-885, 2007.

HIGA, R.C.V. Aspectos Ecológicos e Silviculturais do *Eucalyptus benthamii* Maiden et Cambage. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Colombo, n. 38, p. 121-123, Jan./Jun. 1999.

HIGA, R.C.V.; PEREIRA, J.C.D. Usos Potenciais do *Eucalyptus benthamii* Maiden et Cambage. **Comunicado Técnico**, Colombo. n. 100, 2003.

LIMA, I. **Influência do desbaste e da adubação na qualidade da madeira serrada de *Eucalyptus grandis* Hill ex-Maiden**. 137 p. Tese de Doutorado (Doutorado em Recursos Florestais) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, 2005.

LIMA, E. A. da.; SILVA, H. D. da.; MAGALHÃES, W. L. E.; LAVORANTI, O. J. Caracterização individual de árvores de *Eucalyptus benthamii* para uso energético. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v.31, n.65, p. 09-107, 2007.

LIMA JÚNIOR, V. B.; REZENDE, J. L.P.; OLIVEIRA, A.D. Determinação da taxa de desconto a ser usada na análise econômica de projetos florestais. 1997. **Revista Cerne**, v. 3, n. 1, p. 45-66, 1997.

NOGUEIRA, L.A.D.; LORA, E.E.S. **Dendroenergia: Fundamentos e Aplicações**. 2ª. Ed. Interciência: Rio de Janeiro, 2003. 199 p.

PALUDZYSZYN FILHO, E.; SANTOS, P.E.T. Considerações sobre o Plantio de *Eucalyptus dunnii* no Estado do Paraná. **Comunicado Técnico**, Colombo. n. 141, 2005.

PEDROSA, A. de L. **Desempenho Estrutural de Vigas "I" Constituídas por PLP e Compensados de *Pinus taeda* L. e *Eucalyptus dunnii* Maiden e OSB de *Pinus spp.*** 103 p. Dissertação de Mestrado (Mestrado em Ciências Florestais). 2003.

PEREIRA, J.C.D.; HIGA, A.R.; SHIMIZU, J.Y.; HIGA, R.C.V. Comparação da Qualidade da Madeira de Três Procedências de *Eucalyptus dunnii* Maiden , para Fins Energéticos. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Colombo, n. 13, p.9-16, dez. 1986.

PEREIRA, J.C.D.; SCHAITZA, E. G.; HIGA, A.R. Avaliação das tensões de crescimento e comparação de métodos de desdobro em madeira de *Eucalyptus dunnii*. **EMBRAPA-CNPF**, nº 3, p.1-2,1997.

PULRONIK, K.; DOS REIS, G. G.; DOS REIS, M. das G.F. Desrama Artificial de Florestas Plantadas de Eucalipto. Planaltina: EMBRAPA Cerrados. **Documentos 2009**. 34p, 2009.

REINER, D. A.; SILVEIRA, E.R.; SZABO, M.S. O uso do eucalipto em diferentes espaçamentos como alternativa de renda e suprimento da pequena propriedade na região sudoeste do Paraná. **Synergismus scyentifica**. Pato Branco, v. 6, n. 1, p. 10 - 18, 2011.

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

REZENDE, J.L.P.; SILVA, M.L.; JUNIOR, L.V.B. Determinação do Valor de Terras de Reflorestamento nos Trópicos: Uma Crítica ao Conceito de Faustmann. In: Simpósio Internacional Sobre Ecossistemas Florestais. Belo Horizonte. **Anais**. p. 59-60. 1996.

ROCHA, M.P. da.; TOMASELLI, I. Efeito de Modelo de Corte nas Dimensão de Madeira Serrada de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus dunnii*. **Floresta e Ambiente**.v.8, n.1.p.94-103, Jan/Dez, 2001.

ROCHA. M; P. da. ***Eucalyptus grandis* Hill ex maiden e *Eucalyptus dunnii* como Fontes de Matéria Prima para Serrarias**.185 p. Tese de Doutorado (Doutorado em Engenharia Florestal). Universidade Federal do Paraná, 2000.

ROCHA, M. P.; TRUGILHO, P.F. Qualidade de madeira serrada de *Eucalyptus dunnii* em função do método de desdobro e condição de umidade. **Cerne**, Lavras, v. 12, n. 4, p. 314-321, 2006.

SCHNEIDER, P. R., FINGER, C. A. G., HOPPE, J. M., DRESCHER, R., SCHEEREN, L. W., MAINARDI, G. L., FLEIG, F. D. Produção de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden em diferentes intensidades de desbaste. **Ciência Florestal**, v. 8, n. 1, p. 129-140, 2009.

SCOLFORO, J.R.S. **Manejo Florestal**. Lavras: UFLA/FAEPE. 1998, 443 p.

SCREMIN, A.L.T. **Estudo Energético e Fisiológico do Carvão Vegetal de *Eucalyptus dunnii* Maiden**. 101 p. Dissertação de Mestrado (Mestrado em Bionergia). Universidade Estadual do Centro-Oeste. 2012.

SEITZ, Rudi Arno. **Manual da poda de espécies arbóreas florestais**. FUPEF, 1995.

SILVA, H. da. Espécies de *Eucalyptus* Tolerantes a Geadas. In: **Anais do I Encontro Brasileiro de Silvicultura**, pg. 79-80, Curitiba, PR, 2008.

SILVA, J. C. Influência dos tratamentos silviculturais na qualidade da madeira. **Revista da Madeira**, v. 75, p. 1-10, 2003.

SILVA, J.V. da. **Influência do Desbaste e da Fertilização na Produção de um Povoamento de Eucalipto**. 50 p. Dissertação de Mestrado (mestrado em Ciência Florestal). Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri. 2012.

SILVA, M. da; FONTES, A. A. Discussão Sobre os Critérios de Avaliação Econômica: Valor Presente Líquido (VPL), Valor Anual Equivalente (VAE) e Valor Esperado Da Terra (VET). **Revista Árvore**, v.29, n.6, p.931-936, 2005.

SILVA, M.L.; JACOVINE, L.A.G.; VALVERDE, S.R. **Economia florestal**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2002. 178p.

SILVA, M. L.; REZENDE, J. L. P.;LIMA, V. B.; CORDEIRO, S. A.; COELHO, L. M. (2008). Métodos de cálculo do custo da terra na atividade florestal. **Cerne**, Lavras, v. 14, n. 1, p. 75-81, 2008.

SOARES, T. S.; DO VALE, A. B.; LEITE, H. G.; MACHADO, C. C. Otimização de multiprodutos em povoamentos florestais. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 27, n. 6, 2003a.

SOARES, T. S., SILVA, M. L. D., GAMA, J. R. V., CARVALHO, R., VALE, R. S. D. Avaliação econômica de plantações de eucalipto submetidas a desbaste. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 27, n. 4, p. 481-486, 2003b.

SOUZA JUNIOR, J. de O. **Análise econômica em plantios de pinus e eucalipto no planalto serrano catarinense**. 2013. 173 p. Dissertação de Mestrado (Mestrado em Engenharia Florestal). Universidade Federal do Paraná, 2012.

STURION, J.A; PEREIRA, J. C. D.; ALBINO, J. C.; MORITA, M. Variação da densidade básica da madeira de doze espécies de *Eucalyptus* plantadas em Uberaba, MG. **Boletim de Pesquisa Florestal, Colombo**, n. 14, p. 28-38, 1987.

THOMAS, D.; HENSON, M.; BOYTON, S.; DICKSON, R. Growth and wood quality of plantation grown *Eucalyptus dunnii*. **Growing Forest Values**, p. 372-384, 2007.

THOMAS, D.; HENSON, M.; BOYTON, J.B.; DICKSON, R. Review of growth and wood quality of plantation-grown *Eucalyptus dunnii* Maiden. **Australian Forestry**, v. 72, n. 1, p. 3-11, 2009.

TREVISAN, R.; HASELEIN, C. R.; SANTINI, É. J.; SCHNEIDER, P. R.; MENEZES, L. F. Efeito da intensidade de desbaste na qualidade da madeira serrada de *Eucalyptus grandis*. **Floresta**, v. 39, n. 4, 2009.

UYS, H.J.E.; KOTZE, H. Land Valuation with a Limited Planning Horizon. **South African Forestry Journal**. Pretoria, n. 162, p. 33-17, sept. 1992.

**CAPÍTULO III - ESTRATÉGIAS DE SECAGEM AO AR LIVRE DE MADEIRA
PARA ENERGIA DE *Eucalyptus dunnii* MAIDEN**

RESUMO

A secagem da biomassa pode representar uma melhoria substancial do combustível para geração de energia. Com objetivo de avaliar as estratégias de secagem da madeira de *Eucalyptus dunnii* Maiden visando a redução do custo da energia de biomassa, foi realizado um experimento de secagem de madeira da espécie. A pesquisa durou cerca de 2 anos, com montagem de pilhas de secagem, com coleta quinzenais, totalizando 28 coletas anuais. Em cada coleta foi determinado o teor de umidade da madeira. Foram levantados os custos do pátio de madeira e custos de colheita da madeira. Foi utilizado apenas os dados do segundo ano de coleta, em função de alta precipitação no primeiro ano, muito superior a média local. Durante o período de estocagem de 379 dias, o teor de umidade diminuiu de 53,84% para 28,89%, representando redução de 46% do teor inicial. Também o poder calorífico útil aumentou 74% no mesmo período. No período de 01 ano a densidade energética também cresceu 56%. A partir da necessidade mensal de energia necessária para as atividades industriais, realizou-se uma simulação de diversas estratégias de secagem no campo ou no pátio de madeira. Com secagem da madeira no campo e transporte para o pátio de armazenamento, as melhores opções seriam a secagem de três a cinco meses no campo, complementado com um mês de pátio. Com a opção de aumento na área física de pátio, as melhores opções seriam a secagem de três a quatro meses no campo, complementado com dois meses de pátio.

Palavras chave: umidade da madeira; poder calorífico; densidade energética; custos industriais; estocagem de madeira.

ABSTRACT

The drying of the biomass may represent a substantial improvement of the fuel for power generation. In order to evaluate the strategies *Eucalyptus dunnii* Maiden wood drying in order to reduce the cost of biomass energy, there was a wood drying experiment of the species. The search lasted about two years, with mounting drying cells, with fortnightly collection, totaling 28 annual collections. Was used only the data from the second year of data collection, because of the high precipitation in the first year, much higher than the local average. In each sample was determined the moisture content of the wood. The woodyard costs and timber harvesting costs were raised. During the storage period of 379 days, the moisture content decreases from 53.84% to 28.89 %, representing a reduction of 46% of the initial content. Also the calorific power useful increased 74% in the same period. In the period of 01 years the energy density also grew 56 % . from the need monthly energy required for the industrial activities, there was a simulation of various strategies of drying in the field or in the courtyard of wood. With wood drying in the field and transport for the courtyard of storage, the best options would be the drying of three to five months in the field, complemented with a month in wood yard. With the option to increase the physical area of courtyard, the best options would be the drying of three to four months in the field, supplemented with two months in the courtyard of storage of wood.

Key words: wood moisture; Calorific power; energy density; industrial costs, storage of wood

1 INTRODUÇÃO

A secagem da biomassa pode representar uma melhoria substancial do combustível para geração de energia, como no caso do *Eucalyptus dunnii* Maiden, uma das principais espécies para uso energético no sul do País.

O teor de umidade é o fator de maior variação e de maior efeito em todos os aspectos, quando se utiliza a madeira como combustível para energia (ROCHA e KLITZKE, 1998).

A umidade afeta o poder calorífico da madeira, observam-se expressivos ganhos em energia conforme o teor de umidade diminui, levando a um menor consumo de biomassa, já que se consegue suprir a demanda energética com uma menor quantidade de combustível, e possivelmente com custos menores. O menor consumo implicará em menor área de plantio, pois exigirá menor volume de madeira.

A secagem por um determinado tempo promove melhoria da qualidade energética da biomassa. Por outro lado, o tempo é um dos fatores mais importantes, representando um custo na geração de energia.

O tempo de secagem nas empresas representa custos, pelos valores investidos na obtenção do material (colheita, transporte) e pelos custos de armazenagem no pátio industrial.

O custo do material estocado deve ser avaliado, pois em muitos setores, como o de papel e celulose, representa um dos maiores centros de custo para a atividade, em função do alto volume nos pátios industriais.

Com o conhecimento da curva de secagem e dos custos envolvidos, é possível traçar estratégias que melhor atendam a necessidade de abastecimento energético das empresas.

Neste capítulo o objetivo é avaliar as estratégias de secagem da madeira de *Eucalyptus dunnii* visando a redução do custo da energia de biomassa.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 MADEIRA COMO FONTE ENERGÉTICA

A madeira segundo Brito (2007), se constitui num componente essencial no atendimento da demanda energética do Brasil, com a maior parte do consumo situada na produção de carvão vegetal, uso domiciliar, industrial e agropecuário.

O interesse do uso da madeira para fins energéticos tem novamente despertado o interesse de técnicos e pesquisadores, especialmente pela crise energética mundial, e a madeira tem sido considerada como um recurso em potencial para o atendimento de uma faixa bastante ampla das necessidades energéticas futuras (BRITO E BARICHELLO, 1979).

Normalmente a biomassa bruta produzida nas atividades agrícolas e florestais, não é completamente adequada para uso industrial, incluindo sua granulometria e sua umidade (NOGUEIRA e LORA, 2003).

O gênero *Eucalyptus* desempenha importante papel no suprimento dos estoques florestais em várias regiões do mundo, contribuindo decisivamente para a continuidade da oferta de madeira para uso energético (BRITO, 1994).

A madeira de eucalipto possui propriedades como sua densidade básica, composição química (teor de lignina, extrativos e cinzas) e poder calorífico, que demonstram sua aptidão como fonte de energia (TRUGILHO *et al.*, 2004).

Algumas características do *Eucalyptus dunnii* Maiden, como a rapidez e uniformidade de crescimento, boa tolerância a geadas, apontam a espécie como uma das principais espécies para o sul do Brasil (PEREIRA *et al.*, 1986; REINER; SILVEIRA; SZABO, 2011).

2.2 A ÁGUA NA MADEIRA

A água é absorvida pelas raízes que misturada aos sais minerais forma a seiva bruta, que é deslocada para as folhas. Das folhas se junta aos produtos da fotossíntese e segue em direção das raízes como seiva elaborada. A madeira das árvores vivas ou recentemente derrubadas possui alto teor de umidade. Os vasos e os canais da madeira, assim como o lúmen de suas células encontram-se saturados de água (JANKOWSKY e GALVÃO, 1985).

A madeira é um material higroscópico, possuindo a capacidade de absorver água do ambiente de exposição, diminuindo seu poder energético principalmente pelo gasto de energia ocasionado durante a etapa da secagem (KLITZKE, 2003).

A água presente na madeira pode ser dividida em diversos tipos (KLITZKE, 2003; COUTO e BARCELOS, 2011):

- Água livre ou de capilaridade, que se encontra nas cavidades celulares ou lúmen dos elementos vasculares, resultando na condição de “verde” para a madeira. A água livre, por estar submetida a pressões capilares, distingue-se da água líquida ordinária;
- Água de impregnação ou higroscópica, ligada ou água de impregnação adsorvida, que se encontra impregnando as paredes celulares, depois de escoada toda a água livre. As moléculas de água ligada são adsorvidas por grupos hidroxilas que se situam nas macromoléculas de polioses, de celulose e na de lignina em menor grau;
- Água de constituição química, que participa da composição química das membranas celulares. Encontra-se unida por ligações fortes, por pontes de hidrogênio, que se estabelecem entre as valências não saturadas (OH^{\cdot}) das cadeias celulósicas e as moléculas de água cuja polaridade facilita a ligação.

A porcentagem de umidade tem variação entre as diversas espécies e mesmo dentro da própria espécie, assim como internamente dentro do tronco da árvore, tanto no sentido medula casca, como no sentido base topo (TOMASELLI e KLITZKE, 2000).

Logo após o corte da árvore, se inicia a interação com o meio ambiente. Inicialmente a água presente nos vasos, nos canais e no lúmen das células é evaporada, sendo a água livre ou de capilaridade. Permanece na madeira a água de adesão ou higroscópica, localizada no interior das paredes celulares. Neste estado ocorre o ponto de saturação das fibras (PSF), que é atingido ao redor de 28% de umidade (JANKOWSKY, 1990).

2.3 O PONTO DE SATURAÇÃO DAS FIBRAS (PSF)

O Ponto de Saturação das Fibras (PSF) é atingido quando toda a água livre é perdida para o ambiente, mas sua parede celular ainda estiver saturada, sendo seu valor de aproximadamente 30% para todas as espécies (PONCE e WATAI, 1985). Se a umidade da madeira é de 30%, isto significa que, algumas cavidades da madeira poderão ainda conter água livre, enquanto outras poderão ter perdido água de impregnação (PONCE e WATAI, 1985).

O PSF é atingido com a umidade ao redor de 28%, sendo que quando a madeira atinge o PSF com umidade entre 28 a 32%, as paredes estão completamente saturadas, mas suas cavidades (lúmens) estão vazias (TOMASELLI e KLITZKE, 2000).

O PSF é muito importante na tecnologia da madeira, pois a partir deste estágio, ocorrem mudanças relativamente grandes nas propriedades físicas e mecânicas da madeira, como sua contração. No aspecto da secagem, a partir do PSF é necessário mais energia para evaporar a água, pois a atração entre a água e a madeira tem que ser vencida (PONCE e WATAI, 1985).

A umidade saindo das paredes celulares não deixará um espaço vazio, pelo contrário, os elementos que constituem a parede celular vão se posicionar nos espaços anteriormente ocupados pela água, causando uma diminuição do volume das paredes celulares (PONCE e WATAI, 1985).

Do mesmo modo, quando a madeira é previamente seca a 0% de umidade é exposta ao meio ambiente, inicia absorção de água presente no ar sob a forma de vapor de água. A água assim absorvida corresponde à água higroscópica ou de adesão e o teor de umidade alcançado pela madeira é denominado umidade de equilíbrio com o ambiente, o qual é função da temperatura e da umidade relativa do ar (JANKOWSKY, 1990).

Gatto *et al.* (2003) cita que o ponto de saturação das fibras é alcançado com aproximadamente 5 meses de secagem.

2.4 O TEOR DE UMIDADE DA MADEIRA

A armazenagem de material para geração de energia ocorre durante o verão na Escandinávia, onde a produção de energia para fins de aquecimento é baixa. Durante a armazenagem as propriedades dos combustíveis podem se alterar, devido aos processos físicos, químicos e microbiológicos. A umidade do material tem grande impacto nestas mudanças (HÖRNQVIST, 1984).

O teor de umidade da madeira corresponde ao teor de água da relação entre a massa de água livre e a água de saturação e a massa anidra ou absolutamente seca da madeira (HUSSON, 2009).

A secagem da madeira pode evitar o transporte de água junto com a madeira, pois a secagem pode reduzir em 400 Kg ou mais, um metro cúbico de madeira (PONCE E WATAI, 1985).

Existem duas formas de se expressar a umidade contida em qualquer material, a umidade em base seca e a umidade em base úmida. A umidade em base úmida é a mais utilizada em termos comerciais e para armazenamento de produtos, enquanto a base seca é mais utilizada em equações de secagem de produtos e em pesquisas científicas (PARK e ANTONIO, 2006).

A umidade em base úmida (B_u) (%), conforme Park e Antonio (2006), pode ser definida da seguinte forma:

$$U_{bu} = \frac{Pa}{P(t)} \times 100 = \frac{Pa}{Pa+Ps} \times 100$$

Onde:

Pa = peso da água

Ps = peso da matéria seca em estufa (valor constante)

$P(t)$ = Peso Total

A umidade em base seca (B_s) (%), conforme os mesmos autores Park e Antonio (2006), pode ser definida da seguinte forma:

$$U_{bu} = \frac{Pa}{Ps} \times 100$$

Onde:

Pa = peso da água

Ps = peso da matéria seca (valor constante)

Apesar da certa simplicidade na determinação do teor de umidade, podem gerar confusões pelo fato de não se especificar se a base de cálculo é de amostra seca ou amostra úmida. É sempre conveniente se mencionar a base de cálculo para se evitar erros grosseiros (JUVILLAR, 1979).

O teor de umidade da biomassa consumida varia dentro de uma ampla faixa de valores, ligado diretamente às espécies florestais empregadas, clima da região, sistema de armazenamento e picagem, o que dificulta o controle do processo de combustão nas caldeiras (ZERMIANI, 2007).

O teor de umidade da madeira exerce influência em praticamente todos os processos de sua conversão e processamento industrial, além do seu poder calorífico (COUTO e BARCELOS, 2011).

Rocha e Klitzke (1998), afirmam que o teor de umidade é o fator de maior variação e de maior efeito em todos os aspectos, quando se utiliza a madeira como combustível para energia. Como a umidade afeta diretamente o poder calorífico do combustível, observam-se expressivos ganhos em energia conforme o teor de umidade diminui, levando a um menor consumo de biomassa, já que se consegue suprir a demanda energética com um menor volume de combustível (ZERMIANI, 2007).

A remoção da umidade é diretamente ligada à qualidade plena do produto final. No caso da produção de energia, seu potencial estará ligado principalmente a sua densidade e umidade baixa (COUTO e BARCELOS, 2011).

O teor de umidade da madeira é especialmente influenciado pelo tempo de exposição a que é submetida (GATTO *et al.*, 2003). A energia disponibilizada pode aumentar significativamente com a secagem da madeira, com maior ganho das madeiras de maior densidade. A perda do teor de umidade é sempre decrescente, não linear, influenciando em muito o custo da queima (MOREIRA; LIMA; GOULART, 2012).

2.5 SECAGEM DE MADEIRA ROLIÇA (EM TORAS)

A maioria dos estudos sobre secagem de madeira estão relacionados com a secagem artificial e ao ar livre de madeira serrada (REZENDE, 2009; ZANUNCIO, 2013; PERTUZZATTI *et al.*, 2013). No caso de secagem de madeira roliça, os trabalhos publicados são escassos (REZENDE, 2009; ZANUNCIO, 2013).

Senelwa e Sims (1999) citam que a biomassa é uma fonte de energia renovável, com importância crescente e a maior fração do custo da geração de energia de biomassa tem origem na questão logística e no seu armazenamento. A biomassa para energia tem pouca exploração da pesquisa científica, especialmente a questão do armazenamento.

Na secagem ao ar livre a madeira é exposta às condições ambientais, sendo o processo mais simples de secagem, com o objetivo principal de evaporar a maior quantidade possível de água, com o auxílio das forças da natureza (PONCE e WATAI, 1985). Neste caso a taxa de secagem não pode ser controlada, pois vai depender das condições ambientais (TOMASELLI e KLITZKE, 2000). A secagem ao ar livre é rápida em seu início, quando a madeira apresenta elevada umidade.

Quando a madeira se aproxima da umidade de equilíbrio, dependente das condições de temperatura e umidade relativa do ar, a secagem entra numa fase mais lenta (PONCE e WATAI, 1985).

O tempo necessário de secagem depende da densidade da madeira, que normalmente é proporcional, ou seja, espécies de baixa densidade secam mais rapidamente do que as espécies de maior densidade. Quando se considera a influência do tempo, a temperatura e umidade relativa do ar, que têm grandes efeitos sobre a taxa de secagem (SIMPSON E HART, 2000).

A secagem da madeira é uma das etapas mais importante para seu uso industrial. Na produção de carvão vegetal a madeira estocada é consumida após 90 dias de secagem ao ar livre, quando se deseja alcançar 30% de umidade, obtido em Lavras (MG) por Rezende *et al.* (2010).

A redução da umidade é desejável, pois aumenta a quantidade de madeira a ser transportada e seus custos. Nas regiões tropicais a madeira é cortada, ficando um período de 3 a 4 meses antes da queima, com a umidade reduzindo entre 25 a 30% (MARTINS, 1988).

Segundo Brand (2010) quanto maior o teor de umidade, menor será a quantidade de energia útil para geração de energia (o calor latente de evaporação é perdido junto com os gases formados na combustão). Normalmente o teor médio de umidade está entre 45 a 55%, sendo o teor de 50% utilizado nas projeções de consumo em caldeiras, podendo chegar a 25% com a estocagem por cerca de 120 dias (ROCHA e KLITZKE, 1998).

Muitos tipos de biomassa contém umidade muito alta, dificultando sua utilização como combustível e reduz a quantidade de energia disponível. Na combustão, a umidade evaporada consome parte da energia liberada, dificultando a ignição do combustível e sua temperatura. O ideal é que a biomassa deve ter entre 50% a 60% de umidade (base úmida). Quanto maior a umidade, maior o consumo de biomassa. Para adequar a umidade é necessária uma secagem preliminar (NOGUEIRA e LORA, 2003). A umidade residual e a densidade energética são as principais características que uma biomassa deve ter (VIDAL E HORA, 2011).

A velocidade de secagem da biomassa é influenciada pela transferência de umidade da mesma para o ar e a difusão ou migração de umidade no interior do material. Na secagem natural, sob condições adequadas de ar e clima, o material

pode atingir umidade final de 15 a 20% (base úmida) num período de dois a três meses de exposição (NOGUEIRA e LORA, 2003).

Para ocorrer a secagem é necessário calor para evaporar a água do material e também um sorvedouro de umidade para remover o vapor de água, formado a partir da superfície do material a ser seco (CARNEIRO, 2001).

Lima, Abdala e Wenzel (2008) evidenciam a importância da secagem da madeira para o melhor aproveitamento da energia, que em muitos casos é negligenciada, levando à baixa eficiência energética.

O teor de umidade de 60 % na madeira é considerado crítico para ocorrer a combustão, devido à elevada quantidade de água presente. Na prática o valor pode ser considerado de 50% (BRAND, 2010). A secagem da madeira aumenta a quantidade de energia útil durante a queima (LIMA; ABDALA; WENZEL, 2008).

Sobre a secagem, Stein (2003) cita que é recomendável secagem da madeira no máximo de 3 a 4 meses no campo, pois acima deste período a taxa de secagem é relativamente mais lenta, aumentando riscos de degradação biológica, além da indisponibilidade de área para a realização do baldeio em áreas acidentadas, e para a silvicultura efetuar o plantio ou condução da regeneração destas áreas.

As características de higroscopicidade da madeira continuam seu efeito, mesmo depois da secagem. Mantendo-se constantes as condições de temperatura e umidade relativa, o teor de umidade irá atingir um equilíbrio dinâmico com a umidade do ar. Nessa situação define-se a umidade de equilíbrio da madeira. Este teor pode ainda alterar de acordo com as mudanças das condições ambientais (JANKOWSKY e GALVÃO, 1985).

2.6 PODER CALORÍFICO DA MADEIRA

O poder calorífico pode ser definido como a quantidade de energia liberada na forma de calor pela combustão de uma unidade de madeira, sendo expresso em calorias por gramas (cal.g^{-1}) ou quilocaloria/quilograma (Kcal.kg^{-1}) (BRITO, 1994; FERREIRA *et al.*, 2009). A presença de água na madeira representa a redução do poder calorífico, em razão da energia necessária para evaporá-la. Além disso, se o teor de umidade for muito variável, o controle do processo de combustão pode se tornar difícil (VIDAL E HORA, 2011).

O poder calorífico é dividido em duas formas, o superior e o inferior. O poder calorífico superior (PCS) é aquele que considera a água formada pela combustão do combustível na forma líquida e em volume constante o calor derivado da condensação é recuperado (BRIANE e DOAT, 1985).

A medição do PCS é realizada em aparelhos denominados calorímetros e é um valor teórico pois na prática dificilmente consegue-se aproveitar toda energia (BRITO,1994).

No poder calorífico inferior (PCI) se conta a água de evaporação, ou seja, a energia efetivamente disponível por unidade de massa de combustível após deduzir as perdas com a evaporação da água (JARA, 1989).

A relação entre PCI e PCS tem base na quantidade de íons de hidrogênio presentes na composição química elementar da madeira, normalmente estimado em 6%. A energia consumida na evaporação da água normalmente também é constante, equivalente a 324 kcal/kg (BRITO,1994).

Brand (2010) cita que o poder calorífico inferior (PCI) é o calor efetivamente possível do combustível, sendo em torno de 10 a 20% inferior ao PCS, dependendo da análise laboratorial.

Assim para o cálculo do PCI, pode-se usar a seguinte equação (BRITO,1994; MOREIRA; LIMA; GOULART, 2012):

$PCI = PCS - 324$, onde:

PCI = poder calorífico inferior (Kcal/ kg)

PCS = poder calorífico superior ((Kcal/ kg)

Em termos práticos o PCI deve ser preferido em relação ao PCS, calculado à partir do conhecimento do PCS (BRITO,1994).

Tanto o PCS quanto o PCI são expressos em sua forma anidra, ou seja, considera-se que não contém, ou quase não contém água na sua composição. Porém, na realidade dificilmente se utiliza madeira nestas condições, pois a mesma contém em seu interior a água livre e a água higroscópica (BRITO,1994).

A água contida na madeira é expressa pelo seu teor de umidade, e é a característica que mais influencia a liberação de energia durante a combustão, sob forma de evaporação.

Assim é possível o cálculo aproximado do PCI e do chamado poder calorífico líquido (PCL) (BRITO,1994), também conceituado por diversos autores como poder calorífico Útil (PCU), que é o PCI descontado a energia necessária para evaporar a água referente a umidade da madeira (LIMA, 2010).

O PCU pode ser estimado pela fórmula indicada (BRITO,1994; MOREIRA; LIMA; GOULART, 2012):

$$PCU = PCI \times \frac{(100 - U)}{100} - 6 \times U$$

Onde:

PCU = poder calorífico Útil (Kcal/ kg)

PCI = poder calorífico Inferior (Kcal/ kg)

U = teor de umidade da madeira (em % base úmida)

Normalmente o poder calorífico superior da madeira está em torno de 4.700 a 5.000 kcal/kg, considerando a madeira seca a 0%. Quirino *et al.* (2004) afirma que estes valores de combustão são para madeira em geral, independentemente de sua espécie.

2.7 UMIDADE E PODER CALORÍFICO DA MADEIRA

A umidade influencia negativamente a combustão da madeira, pela energia liberada para sua evaporação, diminuindo o poder calorífico e a geração de energia (LIMA; ABDALA; WENZEL, 2008). Quanto maior o teor de umidade, menor é seu poder de queima, resultado do processo de evaporação da água que absorve energia no decorrer da queima (CUNHA *et al.*,1989)

No conceito de Brito e Barichello (1979), o teor de umidade tem grande variação em função de espécie, clima, condições de armazenagem e outros. Quando a madeira é recém cortada tem um teor de umidade entre 45 a 50%. Depois de período de secagem entre seis meses a um ano, o teor de umidade pode variar de 15 a 25%.

A umidade influencia muito a queima do material combustível, reduzindo seu poder calorífico, aumenta o consumo do material e os produtos da combustão, aumenta a perda dos gases de escape, aumenta a necessidade de potências dos exaustores de fumaça nas caldeiras e acumula sujeiras nas superfícies de aquecimento (BRAND, 2010).

Lima, Silva e Lavoranti (2007) realizaram pesquisa para avaliar a variação do poder calorífico superior em função da umidade na madeira em *Eucalyptus benthamii* de 07 anos. Os resultados de Lima, Abdala e Wenzel (2008) mostraram que o poder calorífico é inversamente proporcional à umidade da madeira. Para cada unidade de umidade que aumenta, diminui-se $0,1858 \text{ KJ.kg}^{-1}$ no poder calorífico da madeira de *E. benthamii*. Isto significa que a cada tonelada de madeira queimada com 30 % de umidade (madeira seca ao ar livre no campo), equivale a 1,37 tonelada de madeira queimada com 50 % de umidade.

2.8 DENSIDADE DA MADEIRA E DENSIDADE ENERGÉTICA

A densidade da madeira expressa a quantidade de madeira existente em um determinado volume de material (BRAND, 2010). Em termos genéricos a densidade é relação de seu peso com o volume, expressa na unidade Kg.m^{-3} . É uma das características que melhor expressa suas qualidades para determinado uso (RIBEIRO e ZANI FILHO, 1993), sendo uma das característica da madeira mais estudadas (BRAND,2010).

A densidade se relaciona com o poder calorífico, visando a determinação do potencial de energia por unidade de volume (BRAND,2010). Não influencia o seu poder calorífico expresso por unidade de massa.

Brito (1994) define como PCVL - “poder calorífico líquido volumétrico”, que alguns autores também definem como densidade energética (DE). Moreira, Lima e Goulart (2012) definem densidade energética como a energia contida em um determinado volume de madeira, expresso em Kcal.m^{-3} .

Como o volume empilhado é um dos métodos mais comuns para comercialização de madeira para energia no Brasil, o estéreo é uma das medidas mais utilizadas, pela sua praticidade e objetividade em condições de campo (BATISTA e COUTO, 2002). Esta unidade de volume deve ser substituída ao longo do tempo, por razões legais já publicadas pelo Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (INMETRO), citado por Batista e Couto (2002).

A relação entre o volume de madeira empilhada e o volume real (em m^3) é o chamado fator de empilhamento (FE), calculado pela fórmula:

$$FE = \frac{VE}{VS}, \text{ onde:}$$

FE = fator de empilhamento (st.m⁻³)

VS = volume de madeira empilhada (st)

VE = Volume de madeira sólido (m³)

A densidade energética é calculada levando em conta a densidade básica da madeira, o poder calorífico da madeira, o teor de umidade da madeira e o fator de empilhamento, presentes na fórmula (MOREIRA; LIMA; GOULART, 2012):

$$DE = DB \times \left[\frac{(PCS - 324) \times \frac{(100 - U) - 6 \times U}{100}}{FE \times 10^6} \right]$$

Onde:

DE = densidade energética (Gcal.st⁻¹)

DB = densidade básica (kg.st⁻¹)

PCS = poder calorífico superior ((Kcal.kg⁻¹)

U = teor de umidade da madeira (em % base úmida)

FE = fator de empilhamento (st.m⁻³)

Moreira, Lima e Goulart (2012), demonstraram o impacto do aumento de energia útil da madeira após a secagem com várias espécies. Os ganhos de densidade energética podem chegar a 143%, entre os teores de umidade de 60% a 20%, conforme a FIGURA 1.

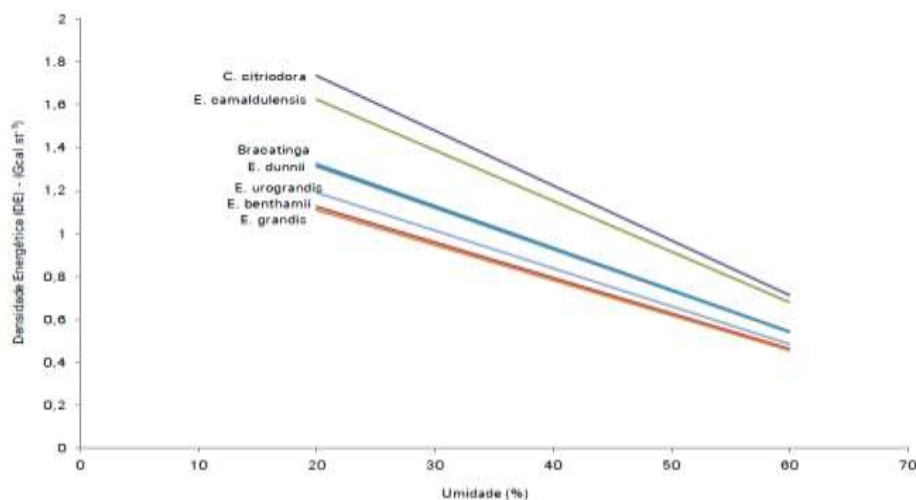


FIGURA 1 – DENSIDADE ENERGÉTICA CONFORME O TEOR DE UMIDADE DA MADEIRA DE ESPÉCIES DE *Eucalyptus* E DE BRACATINGA
Fonte: Moreira, Lima e Goulart (2012).

2.9 MODELAGEM E EXPERIMENTOS COM SECAGEM DE MADEIRA

A secagem apresenta dificuldades de modelagem pela grande variabilidade do material em si e reações diversas ao meio ambiente. Rezende *et al.* (2010) afirma que uma das alternativas para se prever o comportamento da madeira em função do tempo de secagem e de outras variáveis é por meio da utilização de modelos estatísticos ajustados.

Vital, Lúcia e Valente (1985) estudaram a secagem de lenha de *Eucalyptus grandis*, ajustando equação de secagem em função de número de dias, do diâmetro das toras e da posição da pilha, para lenha com e sem casca. O teor de umidade foi afetado pela posição na pilha e classe de diâmetros. O experimento durou 175 dias, com desempenho melhor na secagem da madeira sem casca.

Segundo Vital, Lúcia e Valente (1985), neste estudo a taxa de secagem foi mais intensa no início, em função da evaporação da água livre. Depois houve redução na secagem em função da água de adesão, com maior dificuldade de evaporação desta forma de água. Houve redução maior nas classes com maior diâmetro, em função do percurso mais longo que as moléculas de água tem para atingirem as camadas superiores da madeira e serem evaporadas.

Sturion e Tomaselli (1990) estudaram secagem de lenha de bracatinga (*Mimosa scabrella* Benth), em condições de ar livre e coberto dentro de barracão, durante período de 4 meses. Os resultados indicaram acentuada perda de umidade e um ganho expressivo no poder calorífico durante o período de secagem. A redução da umidade que inicialmente era em torno de 110%, foi reduzida para 43%, no caso de secagem ao ar livre e 36% para secagem em barracão. O poder calorífico teve acréscimo de 130% em relação ao inicial. Assim os resultados mostram que com o ganho de poder calorífico, os custos podem se reduzir, com menor volume de madeira e menores gastos com colheita e transporte.

Rezende (2009) relata que na secagem de clones de eucalipto as maiores taxas de secagem ocorreram nas três semanas iniciais. Os resultados variaram conforme o clone estudado e a região de estudo. Em Lavras, o tempo de secagem para atingir o teor de umidade de 50% foi de 200 dias para clone de *E. urophylla* e *E. camaldulensis*. O clone de *E. urophylla* identificado como MN463, atingiu média de 57% em 90 dias. Para o mesmo clone na região de Paraopeba (MG) a redução de umidade em 80 dias foi de 52% e para o Clone VM01, foi de 44% no mesmo período.

Rezende (2009) também cita que as toras de menor diâmetro secaram mais rápido em comparação as toras de maior diâmetro. A distribuição de umidade através do diâmetro das toras, indicou maior secagem nas regiões externas em relação as regiões do interior das toras. Os maiores valores de umidade ocorreram na região central das toras, reduzindo em direção às extremidades das toras.

Brand *et al.* (2004a) analisou a qualidade do material energético na forma de cavacos, analisando o teor de umidade e poder calorífico durante um período de 180 dias. O teor de umidade do cavaco obtido de torretes de pinus com casca recém coletado foi de 55,80%. Com 30 dias de armazenamento a umidade ficou em 62,11%; com 120 dias, 25,20% e com 180 dias, 50,19%.

No caso de eucalipto com casca, o cavaco teve teor de umidade inicial de 52,73%, baixando para 43,72%, aos 30 dias de armazenamento e 32,54% aos 120 dias, finalizando com 28,15% aos 180 dias. Para a mesma espécie de eucalipto sem casca, o teor de umidade inicial do cavaco foi de 47,39%. Com 30 dias de armazenamento a umidade ficou em 43,59%, com 120 dias caiu drasticamente para 9,55% e finalizou com teor de 26,28% aos 180 dias.

Brand *et al.* (2004a) concluíram que o tempo de armazenamento mais adequado da biomassa estudada está num período de 30 a 120 dias, sendo 30 dias muito reduzido e de 180 dias muito elevado. Num período de 30 dias o material energético não perdeu a quantidade de umidade necessária para uso em energia e com 180 dias a madeira fica permeável e já entrou em processo de degradação.

Rezende *et al.* (2010a) relatam experimento de secagem de *Eucalyptus* citando que as maiores perdas de umidade ocorreram nas três semanas iniciais. A redução de umidade ocorreu em intensidades diferentes em função do diâmetro das toras. Após 80 dias de secagem, as toras sem casca apresentavam 54% de umidade, superior aos 50% de umidade das toras com casca. Porém, as toras sem casca apresentaram uma maior redução de umidade para as toras sem casca.

Segundo Rezende *et al.* (2010a), a redução do teor de umidade ocorreu em diferentes intensidades em função do diâmetro das toras, com maior perda de umidade sendo observado em toras sem casca e diâmetros menores, sendo 65% de diminuição de umidade para toras de maiores diâmetros e 80% para as toras menores. Nas toras com casca a diminuição de umidade foi de 56% para toras maiores e 75% para toras menores.

Gatto (2002) cita que o ponto de saturação das fibras é alcançado, aproximadamente após 5 meses de secagem. Com o passar do tempo, a madeira pode adquirir novamente umidade, provocada pelas precipitações e pelo apodrecimento. Isto pode ter ocorrido devido a confecção de pilhas sem cobertura e sem isolamento com o solo.

Farinhaque (1981) estudou umidade e combustão de Bracatinga (*Mimosa scabrella* Benth), demonstrando a influência da umidade no poder calorífico, que diminui com maior umidade, devido ao gasto do processo de vaporização da água. No estudo a madeira apresentava teores de umidade variando de 0 a 80%, com redução do poder calorífico de até 57%.

O autor Farinhaque (1981), conclui que o melhor aproveitamento da combustão da madeira deve ser com teores de umidade abaixo de 25% (peso seco). Acima deste teor, a quantidade de energia diminui acentuadamente, assim como a temperatura da queima e a temperatura dos gases de escape.

Vital, Lúcia e Valente (1985) testaram o teor de umidade em função do tempo de secagem, com a seguinte formulação: Umidade = $a \cdot b_1^{\text{dias}}$. Dias^{b₂}, sendo a e b os coeficientes e dias a unidade do tempo de secagem.

Os autores optaram pelo modelo: $\text{Log umidade} = a' \cdot b \cdot \text{dias}$. A variação do teor relativo de umidade em função do número de dias de tempo, seguiu o modelo não linear:

$E = \text{Exp}(-b_1 \cdot \text{Dias} / \text{classe de diâmetro})$, onde:

E: Teor relativo de umidade calculado pela fórmula:

$E = \frac{M_{\text{atual}} - M_{\text{equilíbrio}}}{M_{\text{inicial}} - M_{\text{equilíbrio}}}$, sendo:

M atual: teor de umidade após “n” dias de secagem

M inicial: teor de umidade médio inicial

Simpson e Wang (2003) relacionaram a taxa diária de perda de umidade de *Pinus ponderosa* e Abeto empilhados ao ar livre com as condições climáticas (umidade relativa e temperatura), obtiveram a equação para estimar a variação da umidade.

Rezende *et al.* (2010b) testaram ajustes para selecionar um modelo estatístico para estimativa da umidade de toras de *Eucalyptus* sp., em função do número de dias de secagem e diâmetro das toras, visando à sua aplicação no processo de carbonização.

A equação que melhor explicou o teor de umidade, em função do número de dias para toras com casca e sem casca, válida para as condições da região de Paraopeba, Minas Gerais, foi uma equação logarítmica. Os autores também utilizaram o mesmo modelo adaptado por Vital, Lúcia e Valente (1985) para a variação do teor de umidade em função do tempo de secagem.

Zanuncio (2013) pesquisou a secagem de toras de *Eucalyptus* e *Corymbia* para carbonização, ajustando modelo logístico representado por:

$$u = \frac{\alpha}{1 + \beta \cdot \text{Exp}(-\gamma \cdot t)}$$

Sendo,

U = umidade (%)

Exp= função exponencial

t= tempo de secagem

α , β , γ coeficientes do modelo

Pertuzzatti *et al.* (2013) avaliaram a influência do diâmetro das toras de *Eucalyptus globulus* Labill na secagem ao ar livre em Encruzilhada (RS). A duração do experimento foi de 230 dias, onde todos os diâmetros atingiram o PSF (Ponto de Saturação das Fibras). Os autores concluíram que o diâmetro influenciou o processo de secagem, com os diâmetros menores atingindo umidade final inferior comparado aos maiores diâmetros. Foi selecionada a equação ($U = 131,62 - 6,966 \sqrt{t}$), para estimar a variação da umidade (U) com o tempo de secagem (t), apresentando coeficiente de determinação ajustado (R^2 aj.) de 0,81 e erro padrão da estimativa de 13,60%.

2.11 AVALIAÇÃO ECONÔMICA DA SECAGEM

2.11.1 Conceitos de Avaliação Econômica

Uma avaliação econômica pode ser conceituada como a estimativa de valor para uma empresa ou ativo, utilizou-se modelo matemático num dado momento, adotando-se premissas e hipóteses comportamentais, levando-se em conta o contexto em que a avaliação está sendo realizada e os fatores envolvidos, como o mercado de atuação e as expectativas de resultados futuros (ENDLER, 2004).

A avaliação, mesmo utilizando-se modelos matemáticos, envolve julgamentos subjetivos, sujeita a incertezas e erros. Isto é devido à subjetividade das informações envolvidas no processo, pois o retorno de um ativo é calculado baseado na expectativa de resultados esperados por este ativo (ENDLER, 2004).

Normalmente se utiliza taxas de desconto para um valor presente, que representa o quanto do capital irá retornar a partir de um investimento de um determinado valor. O capital pode ser real ou imobilizado em máquinas, estruturas, construções, ou o capital em dinheiro (capital de giro), a ser usado no pagamento de materiais, serviços, juros, salários e outros (SILVA, JACOVINE E VALVERDE, 2002).

Os juros são a remuneração pelo emprego de determinado capital, seja próprio ou de terceiros, podendo variar dependendo de sua origem (SILVA, JACOVINE E VALVERDE, 2002).

O pagamento ao capital é expresso por uma taxa porcentual, que se refere a um certo período de tempo. A taxa de juros indica a remuneração do capital durante uma unidade de tempo considerada (REZENDE e OLIVEIRA, 2001).

Existe certa dificuldade em se determinar esta taxa de juros, pois a mesma pode variar de acordo com as características de cada empresa ou da própria conjuntura econômica do momento. Normalmente nos investimentos florestais citados em literatura, utilizam-se taxas de juros entre 6 a 12% ao ano (LIMA JÚNIOR; REZENDE; OLIVEIRA, 1997).

O custo de oportunidade da terra é o custo alternativo ou o retorno que poderia ser obtido caso os investimentos em terra fossem utilizados em outra alternativa econômica. No caso das empresas este fato é mais do que evidente, pois existem várias opções de investimento (DA SILVA *et al.*, 2008).

O valor que o proprietário deve receber para sua terra deve ser o mesmo que receberia se utilizasse a mesma baseado na taxa de desconto da atividade alternativa (BERGER *et al.*, 2011).

Normalmente o tema relativo a pátio industrial é pouco explorado na literatura, na maioria das vezes apenas citado como o local de depósito de produtos. O pátio de madeira é o local para manuseio e a preparação da madeira, a partir do momento que a mesma dá entrada na fábrica. A madeira armazenada muitas vezes representa o maior custo da matéria prima em setores como o de celulose e papel.

2.11.2 Avaliação Econômica da secagem de Madeira para Energia

A viabilidade econômica da utilização de madeira de eucalipto para energia é objeto de apreciação de diversos autores, como Junior, Filho e Costa, (2006), Quéno (2009), Araujo (2010), Moreira, Lima e Goulart (2012) e Goltz (2013).

Dal Farra e Esperancini (2005) comentam a existência de muitos estudos sobre a viabilidade econômica de biomassa, porém poucos trabalhos envolvendo aspectos econômicos para a produção de energia. Para isto, requer conhecimentos sobre poder calorífico, avaliação do potencial energético e seu retorno econômico.

Quéno (2009) sugere que somente o volume produzido por unidade de área não é suficiente para a avaliação da produção energética de eucalipto. A quantidade de matéria seca e a densidade são variáveis utilizadas na avaliação da energia da biomassa.

Moreira, Lima e Goulart (2012) concluem que existem diferenças significativas entre a densidade energética de diferentes espécies florestais em função da densidade básica e dos teores de umidade. A secagem pode disponibilizar mais energia da combustão, podendo até dobrar, sendo que o maior ganho ocorre em madeiras com maior densidade básica. O custo da energia de um metro estéreo de lenha decresce com a diminuição de seu teor de umidade, sendo não linear e diminui a taxas decrescentes.

Na avaliação econômica de secagem, alguns aspectos devem ser considerados, como o poder calorífico da madeira, o poder calorífico útil, a densidade básica e o fator de empilhamento (MOREIRA, LIMA E GOULART, 2012).

No trabalho de Quéno (2009) para o custo da produção da unidade energética (GJ.ha⁻¹) foram considerados a densidade básica, o valor energético da matéria seca, a densidade do plantio, a taxa anual de juros, o preço da terra, o poder calorífico, obtendo-se a produção equivalente (GJ.ha⁻¹) e o custo médio de produção (R\$.GJ⁻¹).

O custo da energia obtida a partir de um metro cúbico de madeira empilhada é calculado pela fórmula descrita por Moreira, Lima e Goulart (2012):

$$CE = \frac{\text{Preço} \times FE \times 10^6}{DB \times [(PCS - 324) \times (\frac{100 - U}{100}) - 6 \times U]}$$

Onde:

CE = custo da energia (R\$.Gcal⁻¹)

Preço – preço da madeira (R\$.st⁻¹)

DB = densidade básica (kg.st⁻¹)

PCS = poder calorífico superior (Kcal.kg⁻¹)

U = teor de umidade da madeira (em % base úmida)

A análise de sensibilidade do custo da energia útil a ser liberada na combustão de um metro estéreo de lenha, conforme o teor de umidade das espécies, pesquisada por Moreira, Lima e Goulart (2012) é mostrado na FIGURA 2.

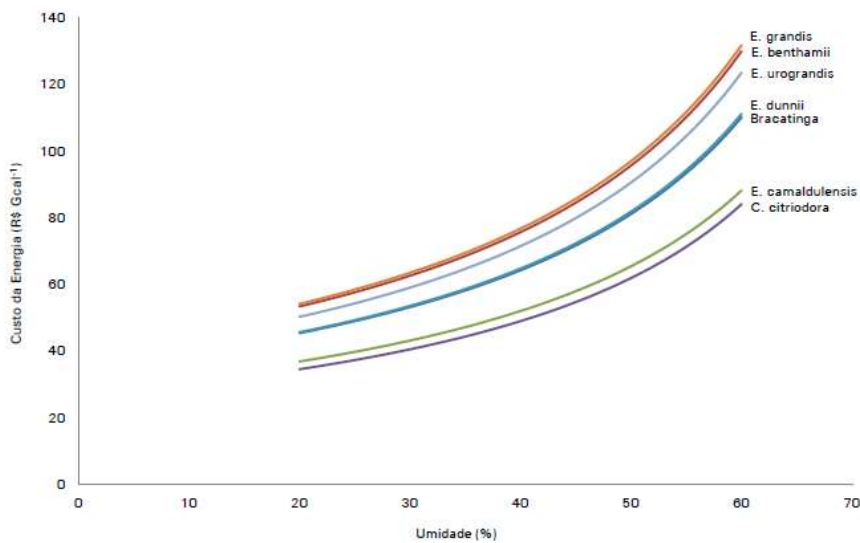


FIGURA 2 – CUSTO DA ENERGIA DE ALGUMAS ESPÉCIES DE EUALYPTUS E DE BRACATINGA SOB TEORES DE UMIDADE DE 20% A 60%

Fonte: Moreira, Lima e Goulart (2012).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 LOCAL E DESCRIÇÃO DO EXPERIMENTO

O experimento foi localizado no Município de Rio Negrinho, norte de Santa Catarina, na Localidade de Volta Grande, no sul do município (FIGURA 3).

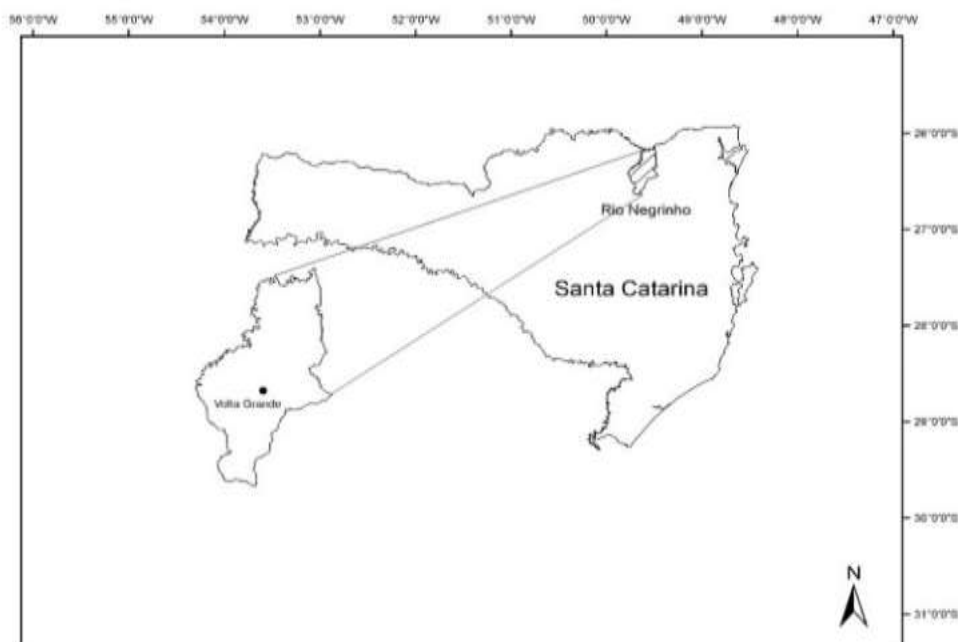


FIGURA 3 – LOCALIZAÇÃO DO EXPERIMENTO DE SECAGEM DE *Eucalyptus dunnii*

A pesquisa durou cerca de 2 anos, sendo realizado em dois experimentos distintos, com secagem de torretes (lenha) da espécie *Eucalyptus dunnii* Maiden com 8 anos de idade.

No primeiro ano a avaliação foi realizada no período de 14/09/2010 a 27/11/2011, durante 378 dias. A madeira foi utilizada e novamente montado novo experimento de secagem, com madeira da mesma área florestal, com idade semelhante (8 anos), realizado de 22/11/2011 a 05/12/2012, com duração de 379 dias.

A pilha do experimento de secagem teve 2 metros de largura, 30 metros de comprimento, 2 metros de altura, simulando condições de madeira em pátios industriais. Após 2,5 metros do início, foram colocadas estacas delimitando cada repetição, com comprimento de 5 metros, num total de 5 parcelas, delimitada por 2,5 metros ao final da pilha.

O delineamento estatístico utilizado foi o de blocos ao acaso, com cinco repetições no mesmo tratamento, identificadas na pilha, conforme FIGURA 4 e FIGURA 5.

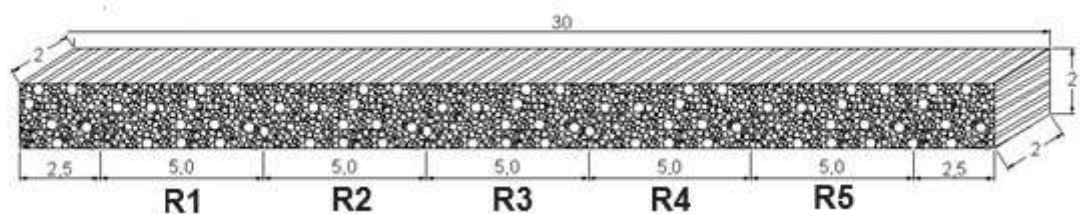


FIGURA 4 – AMOSTRAS NA PILHA DE SECAGEM DO EXPERIMENTO



Detalhes da pilha

Pilha com delimitação das amostras

FIGURA 5– DETALHES DO EXPERIMENTO DE SECAGEM

3.1.1 Condições Climáticas da Região

A região de Rio Negrinho, situada no Planalto Norte Catarinense, possui altitudes que variam de 900 a 1000 metros. O clima é classificado como de clima Cfb, segundo Köppen, ou seja, clima temperado constantemente úmido, sem estação seca, com verão fresco (temperatura média do mês mais quente menor que 22°C).

A temperatura média 15,5°C a 17° C (EMPRESA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA E EXTENSÃO RURAL DE SANTA CATARINA (EPAGRI), 1999). A precipitação pluviométrica total anual pode variar de 1.360 a 1.670 mm, com o total anual de dias de chuva entre 138 e 164 dias. A umidade relativa do ar pode variar de 80,0 a 86,2%. A ocorrência de geadas é de 5,4 a 14 ao ano. (EPAGRI, 1999).

Os dados locais de precipitação, indicam uma média histórica de 16 anos, com média anual de 1.757,00 mm de chuvas, segundo informações da empresa estudada, obtidos de unidades coletoras dotadas de pluviômetros.

3.2 COLETA DOS DADOS DO TEOR DE UMIDADE DA MADEIRA

Para cada coleta foram selecionados três torretes de diferentes diâmetros, sendo diâmetro grosso acima 15 cm, diâmetro médio entre 10 a 15 cm e diâmetro fino abaixo de 10 cm, do centro da pilha, em cinco repetições. Do centro destes torretes foram retirados discos com 10 cm de altura para análise de umidade e poder calorífico. Foi considerado o valor médio de umidade dos três diâmetros. No primeiro ano, as coletas foram realizadas a cada 14 dias, com 28 coletas, iniciando em 14/09/2010 e finalizando em 27/09/2011.

Todos os discos foram retirados de toras da parte central da pilha, conforme FIGURA 6, puxados por trator, devidamente embalados em papel filme para não perder a umidade e enviadas para análise no Laboratório da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), em Colombo (PR).



Retirada de torrete na pilha



Retirada de disco de madeira no centro da tora



Discos de madeira nas três classes de diâmetros



Amostras embaladas para envio ao laboratório

FIGURA 6 – RETIRADA NAS PILHAS DE SECAGEM E PREPARO DAS AMOSTRAS

Em todas as amostras foi obtida a umidade das toras e após a coleta final, a madeira foi utilizada para queima em caldeira. O segundo ano de coleta foi iniciado em 22/11/2011 e finalizado em 05/12/2012, com madeira de idade semelhante (em torno de 08 anos). O procedimento foi o mesmo do primeiro ano, totalizando 28 coletas, com coletas a cada 14 dias.

3.3 ANÁLISES LABORATORIAIS

3.3.1 Determinação da Umidade da Madeira

A determinação quinzenal do teor de umidade, foi realizada no Laboratório de Tecnologia da madeira da EMBRAPA Florestas, em Colombo (PR), seguindo a Norma NBR 11941 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS -ABNT, 2003)

3.3.2 Determinação do Poder Calorífico e Densidade da Madeira

A determinação do poder calorífico superior e da densidade da madeira de *Eucalyptus dunnii*, foram realizadas no Laboratório de Energia de Biomassa Florestal da Universidade Federal do Paraná (UFPR) em Curitiba, Paraná.

O poder calorífico superior foi determinado por meio de um calorímetro adiabático, de acordo com a norma NBR 8633 (ABNT, 1984).

Para as análises de poder calorífico e densidade da madeira, foram derrubadas 40 árvores que serviram para montar o experimento de secagem. As árvores foram derrubadas e retirados discos de 5 cm de espessura nas posições, em relação ao tronco, base, DAP, 25%, 50%, 75% e 100 da altura comercial (>6cm). De cada disco foram retirados quatro cunhas, sendo, respectivamente, duas para determinação de densidade aparente e teor de umidade e duas para determinação de poder calorífico.

Para cada árvore, para o poder calorífico e para a densidade, considerou-se o valor médio da madeira obtido das diferentes posições da árvore. Na FIGURA 9, detalhes de bomba calorimétrica.

A densidade da madeira foi determinada pelo método estereométrico, após acondicionamento das amostras das diferentes espécies em câmara de climatização, à temperatura de 20 ± 1 °C e umidade relativa de $65 \pm 5\%$, de acordo com a norma NBR 11941 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT), 2003).

3.4 DADOS CLIMÁTICOS

Os dados climáticos foram obtidos com a Estação Meteorológica automática Davis Vantage Pro2. Esta unidade foi instalada a cerca de 30 metros do experimento de secagem, mostrada na FIGURA 7.

A estação é totalmente automatizada, segundo o Manual da estação (DAVIS INSTRUMENTS, 2006) e França (2012), os componentes principais da estação são: um sensor de temperatura e umidade, um sensor de direção e velocidade do vento (anemômetro), um sensor de chuvas (pluviômetro), um sensor de radiação solar, um sensor de sensação térmica e um sensor de pressão barométrica.

Os dados das variáveis de clima são enviados *on-line*, automaticamente para um console de armazenamento, com registros de 5 em 5 minutos, a partir das leituras dos sensores. Assim os períodos do experimento, ou seja, no primeiro ano de 14/09/2010 a 27/09/2011, período de 378 dias, e, no segundo ano de experimento de 22/11/2011 a 05/12/2012, período de 379 dias, possuem registros das variáveis climáticas citadas neste trabalho.



FIGURA 7 - ESTAÇÃO METEOROLÓGICA AUTOMÁTICA DAVIS VANTAGE PRO2
 FONTE: Adaptado de FRANÇA (2012)

Dentro dos períodos de coleta dos dados de secagem, aproximadamente a cada 14 a 15 dias, foram consideradas as médias, no caso da temperatura média e umidade relativa do ar. Para a precipitação pluviométrica foi considerada a soma do período. A extração dos dados foi realizada mensalmente, com auxílio do *software* Weatherlink. A formatação e tabulação dos dados foi realizada com o *software* Excel 2010.

3.5 MODELOS PARA ESTIMATIVA DO TEOR DE UMIDADE EM FUNÇÃO DO TEMPO DE SECAGEM

Os dados das coletas dos teores de umidade, foram submetidos a análise de regressão, ajustando modelos previamente selecionados, obtendo equações para permitir a estimativa do tempo de secagem. Os modelos testados de estimativa do teor de umidade em função do tempo estão na TABELA 1.

TABELA 1 – MODELOS DE ESTIMATIVA DO TEOR DE UMIDADE DA MADEIRA EM FUNÇÃO DO TEMPO

n°	Modelo	Referências
1.	$U = a \cdot \text{EXP}(-k \cdot t)$	Meneghetti <i>et al.</i> (2012)
2.	$\text{Ln } U = a + b \cdot t + c \cdot \text{Ln } t$	Vital, Lúcia e Valente (1985); Rezende <i>et al.</i> (2010)
3.	$\text{Ln } U = a + b \cdot t$	Vital, Lúcia e Valente (1985)
4.	$U = a / (1 + b \cdot \exp(-c \cdot t))$	Zanuncio (2013)

Sendo:

U: umidade da madeira (%)

Ln u: logaritmo natural (neperiano) da umidade da madeira

Exp: função exponencial

t: Tempo de secagem (dias)

a, b, c e k são coeficientes dos modelos

3.6 CUBAGEM DA MADEIRA E CÁLCULO DO FATOR DE EMPILHAMENTO

Foi realizada a cubagem das toras da madeira do experimento, a fim de se obter o volume em metro cúbico (m³) e a cubagem das pilhas em estéreos (st). Foram mensuradas as toras com 2,20 metros de comprimento, com a medição dos diâmetros nas extremidades (g). Foram calculadas as áreas de cada secção e obtido o volume pela fórmula de Smallian, citada por Machado e Figueiredo Filho (2006).

$$V = \left(\frac{g_1 + g_2}{2} \right) \times \ell$$

Onde:

V = volume da tora (seção)

g_1 = área transversal na base da tora

g_2 = área transversal no topo da tora

ℓ = comprimento da tora

Na medição do volume da pilha em esténeos se adotou um comprimento fixo para as toras. Foi medido diretamente o comprimento da pilha, sendo a altura obtida através de diversas medidas, adotando-se a média das medições. Para o cálculo do volume da pilha utilizou-se a fórmula, também adotada por Batista e Couto (2002):

$$V = L \times \ell \times h$$

Onde:

V = volume empilhado em esténeos (st)

L = comprimento da pilha (m)

ℓ = comprimento da toras (m)

h = média das diferentes alturas tomadas da pilha (m)

3.7 CUSTOS DO PÁTIO DE LENHA

No estudo sobre estratégias de secagem, foram utilizadas as estimativas de custos do pátio industrial de lenha, tendo como modelo o pátio industrial de armazenamento de lenha da empresa CVG – Cia. Volta Grande de Papel, de Rio Negrinho (SC), construído em 1976 para atender as necessidade de consumo de lenha da empresa (FIGURA 8).



FIGURA 8 – VISTA DO PÁTIO INDUSTRIAL DE MADEIRA PARA ENERGIA

A área total do pátio de lenha é 8.500 m², com área útil das pilhas de armazenamento de 3.000 m². A capacidade total é de cerca de 7.000 estéreos de lenha, equivalentes a aproximadamente 4.687 metros cúbicos de madeira. A capacidade mensal utilizada no último ano foi de 5.060 st.mês⁻¹.

Foram levantados os custos de implantação e de manutenção do pátio industrial, obtendo-se os dados com a supervisão dessa área industrial. Com estes dados, foi estimado os valores do aluguel do pátio, ou seja, o custo por cada volume de madeira (st). No caso dos investimentos de formação do pátio, foi estimada uma vida útil de 60 anos (exceção do encaibramento inicial com 08 anos) e calculado o valor de depreciação, sendo adotado o valor de 20% de valor residual. Assim obtém-se o valor médio do capital imobilizado, que irá gerar o valor do aluguel.

As taxas de juros utilizadas foram de 4% ano para investimentos e 7% ao ano para valores de custeio anual.

3.8 CUSTO DE MADEIRA DE EUCALIPTO ATÉ O PÁTIO

Foram levantados todos os custos relacionados com a colheita, envolvendo diversas etapas de trabalho, incluindo derrubada e corte, baldeio, carregamento, transporte e descarregamento. Foi também pesquisado, o valor comercial da madeira de eucalipto utilizada para a geração de energia.

3.9 CÁLCULO DA DENSIDADE ENERGÉTICA

Assim como publicado por Moreira, Lima e Goulart (2012), a unidade de energia foi convertida em Gcal.st⁻¹ de lenha, sendo seu denominador multiplicado por 1.000.000. O cálculo da densidade energética segue a fórmula abaixo.

$$DE = \frac{DB \times [(PCS - 324) \times \left(\frac{100 - TU}{100} \right) - 6 \times TU]}{FE \times 10^6}$$

Onde:

DB (densidade básica) em Kg/ m³

PCS (poder calorífico superior) em Kcal / cal

TU (teor de umidade), em (%)

FE (Fator de empilhamento), em st.m⁻³

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 RESULTADOS DO PRIMEIRO ANO DE EXPERIMENTO DE SECAGEM DE *Eucalyptus Dunnii*

O experimento de secagem do primeiro ano, iniciou-se em 14/09/2010 e terminou em 27/09/2011.

A precipitação média no período foi de 2.613,30 mm de chuva em 1,05 ano, com taxa anual de 2.482,29 mm de chuva, muito superior à média da região. Em razão disto, não foram aproveitados os dados das coletas deste primeiro ano de experimento.

4.2 RESULTADOS DO SEGUNDO ANO DO EXPERIMENTO DE SECAGEM DE *Eucalyptus Dunnii*

Os resultados de secagem do segundo ano de secagem, iniciado em 22/11/2011 e concluído em 05/12/2012, constam da TABELA 2 e GRÁFICO 1.

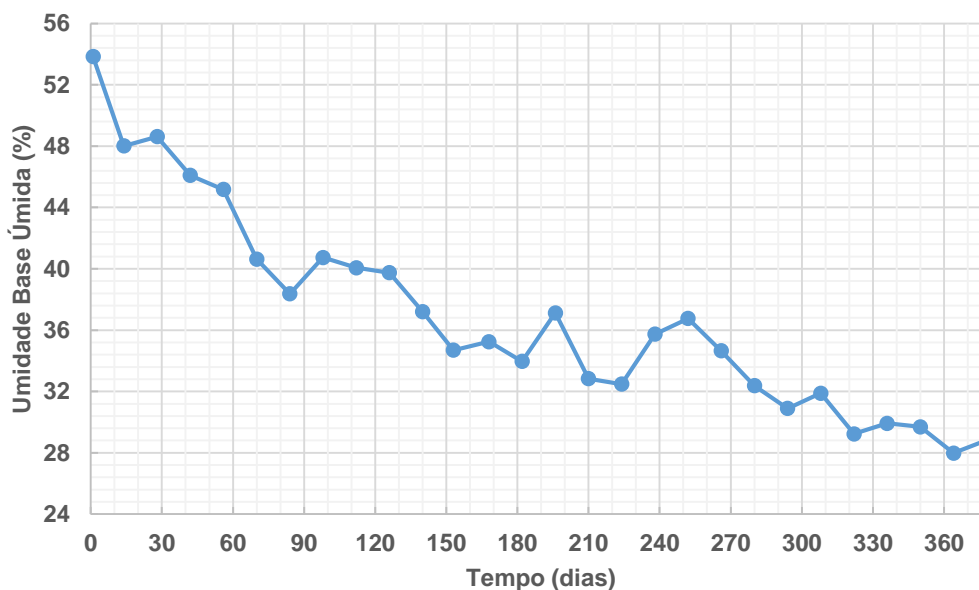


GRÁFICO 1 – PERDA DE UMIDADE DE *Eucalyptus dunnii* DURANTE A SECAGEM

A secagem a umidade inicial foi de 53,84%, decaindo ao longo do tempo, alcançando 38,37% aos 84 dias. A queda de umidade inicial também foi relatada por Brand (2007); Sturion e Tomaselli (1990); Rezende *et al.*, (2010a) e Vital, Lúcia e Valente (1985).

TABELA 2 – DATAS DAS COLETAS, INTERVALOS ENTRE COLETAS, DADOS CLIMÁTICOS E RESULTADOS DE SECAGEM DE *Eucalyptus dunnii*

Coleta	Data	Tempo (dias)	Umidade Base Úmida (%)	Temperatura °C	UR %	Precipitação (mm)
1	22/11/2011	1	53,84	19,59	82,98	2,40
2	06/12/2011	14	48,01	18,25	87,24	56,80
3	20/12/2011	28	48,62	19,08	81,46	37,40
4	03/01/2012	42	46,09	18,79	85,7	82,87
5	17/01/2012	56	45,17	19,32	88,85	186,40
6	31/01/2012	70	40,63	19,72	88,12	92,00
7	28/03/2012	84	38,37	20,88	85,6	57,00
8	28/02/2012	98	40,74	21	87,9	74,00
9	13/03/2012	112	40,07	21,14	82,48	26,00
10	27/03/2012	126	39,75	20,26	87,73	70,40
11	10/04/2012	140	37,21	17,46	86,68	14,20
12	23/04/2012	153	34,69	18,35	89,61	15,00
13	08/05/2012	168	35,25	17,3	92	178,80
14	22/05/2012	182	33,96	14,02	91,6	17,20
15	05/06/2012	196	37,12	13,81	95	221,00
16	19/06/2012	210	32,83	15,15	94,77	93,60
17	03/07/2012	224	32,48	12,01	90,18	17,20
18	17/07/2012	238	35,74	12,92	90,02	84,40
19	31/07/2012	252	36,76	13,64	92,67	140,40
20	14/08/2012	266	34,65	10,26	87,61	2,40
21	28/08/2012	280	32,38	13,74	89,11	5,00
22	11/09/2012	294	30,89	15,83	83,79	24,00
23	25/09/2012	308	31,88	14,56	83,65	52,00
24	09/10/2012	322	29,23	16,31	90,88	21,00
25	23/10/2012	336	29,92	14,08	94,72	109,60
26	06/11/2012	350	29,69	16,72	95,1	59,60
27	20/11/2012	364	27,98	16,16	95,52	70,80
28	05/12/2012	379	28,89	19,01	93,07	73,00

Após este período, houve um aumento no teor de umidade (40,73%) aos 98 dias de coleta, se estabilizando aos 126 dias, para decair aos 140 dias com 37,21% e 34,68% aos 153 dias. Depois houve ligeiro aumento com 37,12% aos 196 dias, seguido de período de oscilação, alcançando 36,75% aos 252 dias de secagem.

Iniciou-se um período de queda, que após leve interrupção aos 308 dias, alcançou 29,22% aos 322 dias. Após este período a umidade se manteve abaixo de 30%, finalizando com 28,89% aos 379 dias.

A taxa de secagem do experimento foi de 78 %, caindo a umidade inicial de 53,84% para a umidade final de 28,89%.

Os dados climáticos do período são apresentados nos gráficos seguintes, com curva de secagem e temperatura (GRÁFICO 2), com a umidade relativa do ar (GRÁFICO 3) e com a precipitação do período (GRÁFICO 4).

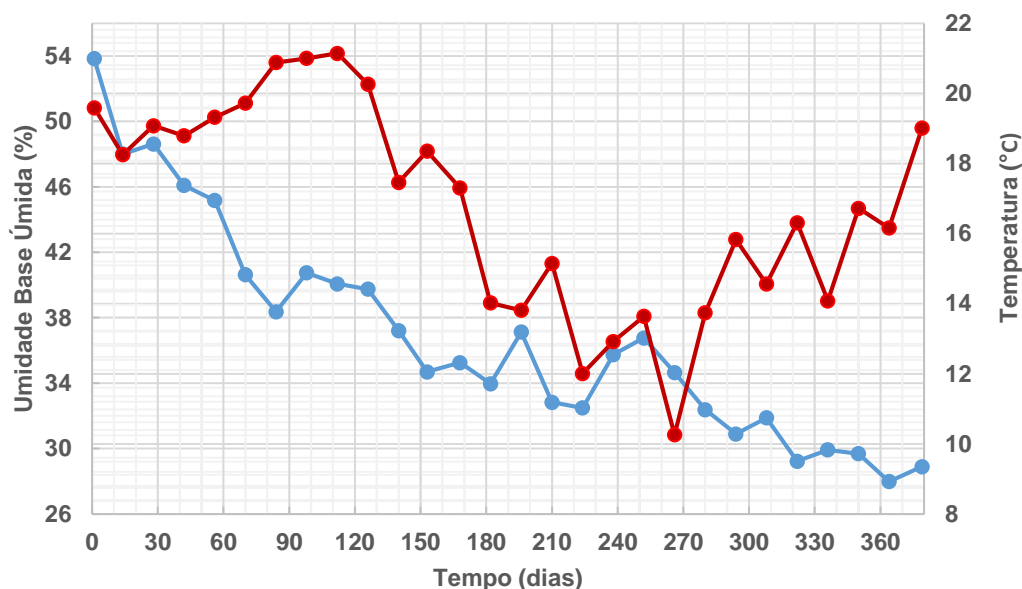


GRÁFICO 2 – TEOR DE UMIDADE E TEMPERATURA MÉDIA DURANTE O PERÍODO DE SECAGEM DE *Eucalyptus Dunnii*

É difícil estabelecer uma relação direta da temperatura média com as altas ou quedas do teor de umidade no mesmo período. Após período de queda no teor de umidade até os 84 dias, houve em contrapartida aumento da temperatura média, que depois teve quedas com 17°C aos 140 dias, 14°C aos 182 dias e a mais baixa do período com 10°C aos 266 dias.

A temperatura média de todo o período foi de 16,85°C, que pode ser considerada mediana, sendo difícil se estabelecer a relação direta da influência da temperatura com a secagem da madeira.

A umidade relativa do ar média de 89,28%, ocasionou dificuldades na secagem, difícil de ser quantificada em cada período individual, fato também citado por Sturion e Tomaselli (1990), relacionando a alta umidade relativa do ar com o prolongamento do tempo de secagem.

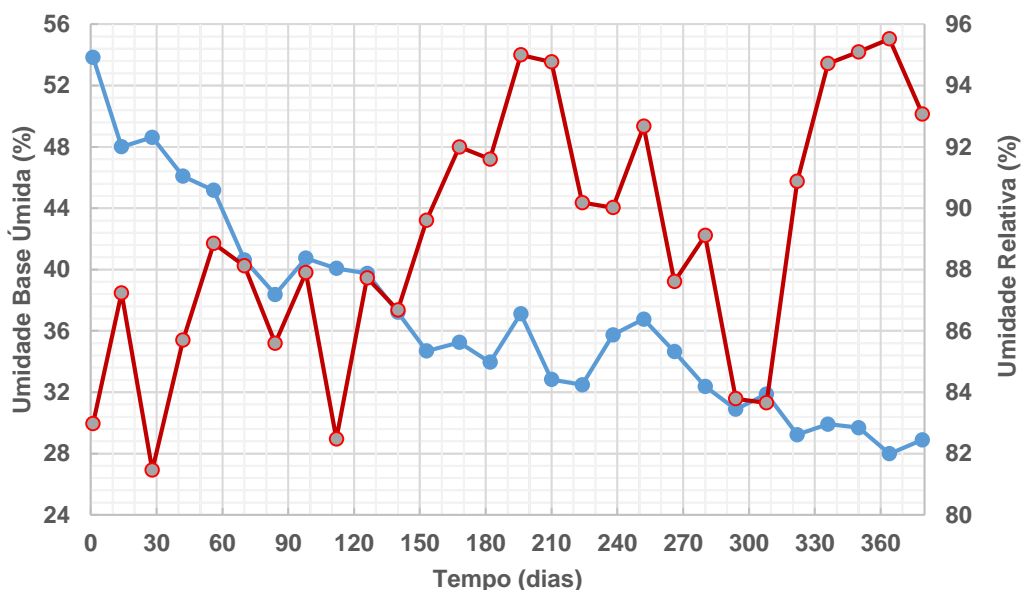


GRÁFICO 3 – RELAÇÃO DO TEOR DE UMIDADE E UMIDADE RELATIVA DO AR DURANTE O PERÍODO DE SECAGEM DE *Eucalyptus dunnii*

A precipitação ocorrida no período do experimento (1.884,47 mm em 379 dias, equivalente a 1.815 mm anuais), foi a condição climática que visivelmente se relacionou com o teor de umidade. A maior parte dos períodos de precipitação, coincidiu com períodos de alta no teor de umidade. Isto ocorreu aos 98 dias, 196 dias, 252 dias, 308 dias e 336 dias, conforme mostrado no GRÁFICO 8.

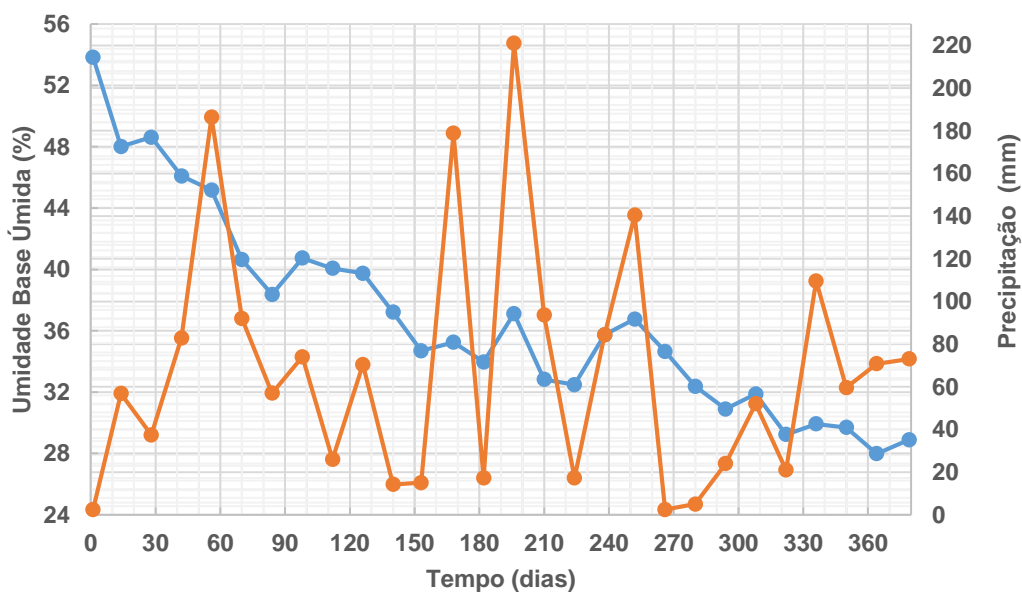


GRÁFICO 4– RELAÇÃO DO TEOR DE UMIDADE E PRECIPITAÇÃO DURANTE O PERÍODO DE SECAGEM DE *Eucalyptus dunnii*

4.3 AJUSTE DE MODELOS PARA ESTIMATIVA DO TEOR DE UMIDADE DE *Eucalyptus dunnii* EM FUNÇÃO DO TEMPO DE SECAGEM AO AR LIVRE

Os modelos testados de estimativa do teor de umidade (%) em função do tempo (dias) de secagem de torretes de *Eucalyptus dunnii* estão na TABELA 3.

TABELA 3 – AJUSTE DE MODELOS DE PERDA DE UMIDADE DE MADEIRA DE *Eucalyptus dunnii* EM FUNÇÃO DO TEMPO DE ESTOCAGEM

nº	Modelo	Coeficientes			Estatística			
		bo	b1	b2	F	R ² (%) ajust.	Sxy	Sxy %
1	$u = b_0 \times \exp(-b_1 \times t)$	48,2641	0,0015		3715,19	88,53	2,30	6,23
2	$\ln u = b_0 + b_1 \times t + b_2 \times \ln t$	4,0075	-0,0010	-0,0464	162,37	92,28	1,77	4,80
3	$\ln u = b_0 + b_1 \times t$	3,8605	-0,0014		210,54	88,59	2,32	6,28
4	$u = b_0 / (1 + b_1 \times \exp(-b_2 \times t))$	28,1633	23,6809	0,0067	3821,40	92,27	1,85	5,02

Para as equações com uso de logaritmo, foi corrigida a discrepância logarítmica, com o uso de um fator que corrige a média geométrica em uma média aritmética livre de erro sistemático (SCHNEIDER, 2002). A distribuição dos resíduos dos modelos ajustados é apresentada no GRÁFICO 5.

Para a escolha do melhor modelo adotou-se o critério do melhor coeficiente de correlação (R²), menor erro de estimativa (Sxy%) e melhor distribuição dos resíduos.

Nos modelos logarítmicos, originalmente expressos em ln de U (%), houve a transformação do erro padrão da estimativa para a unidade padrão de todos os modelos, permitindo a comparação entre os mesmos.

Observa-se que dos oito modelos apresentados na TABELA 3, os coeficientes de determinação (R² %), variaram de 88,53 a 92,27%, com bom ajuste, se comparados com ajustes feitos por Vital, Lúcia e Valente (1985) com 79 a 91%, Gato et al. (2003), Rezende (2009) de 83 a 98%, Zanuncio (2013) de 90 a 99% e Pertuzzatti et al. (2013) com 81%.

Foi selecionado o modelo nº 2, para a estimativa dos dados da umidade em função do tempo de secagem, também empregados em ajustes por Vital, Lúcia e Valente (1985) e Rezende et al. (2010). O coeficiente de determinação (R² %) foi de 92,28%; erro padrão (%) de 4,80% e com distribuição equilibradas dos resíduos do ajuste (GRÁFICO 5). O ajuste da umidade (U) em função do tempo (t), resultou na equação: $\ln U = 4,0075 - 0,0010 \times t - 0,0464 \times \ln(t)$.

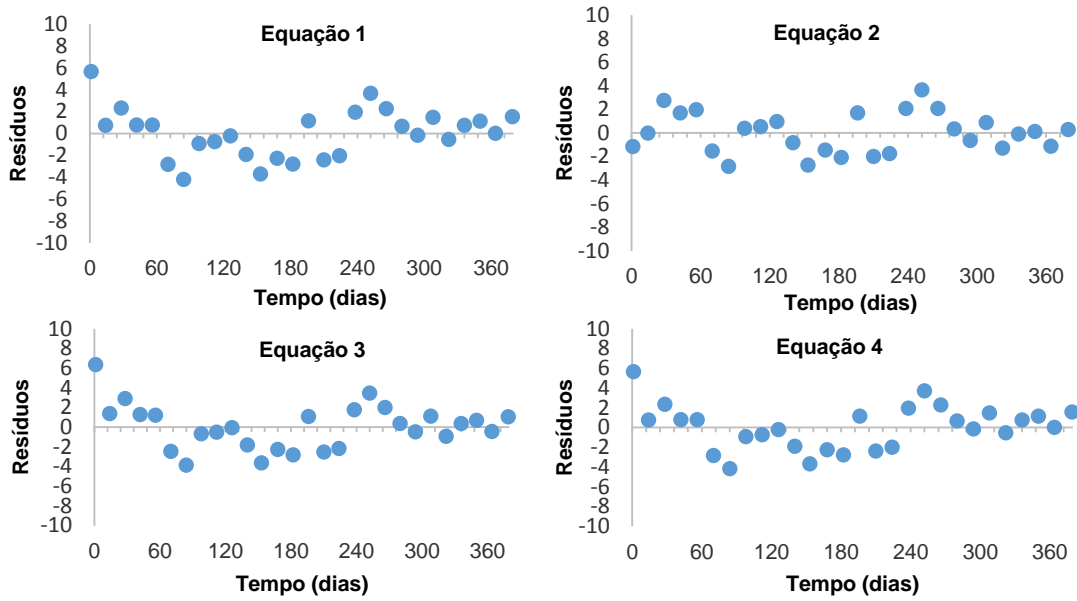


GRÁFICO 5 – DISTRIBUIÇÃO DOS RESÍDUOS DOS MODELOS DE SECAGEM DE *Eucalyptus dunnii* EM FUNÇÃO DO TEMPO

4.3.1 Teor de Umidade Real e Teor de Umidade Ajustada

A equação ajustada no item 3 permite a comparação entre o teor de umidade real e o teor de umidade ajustado, presentes no GRÁFICO 6.

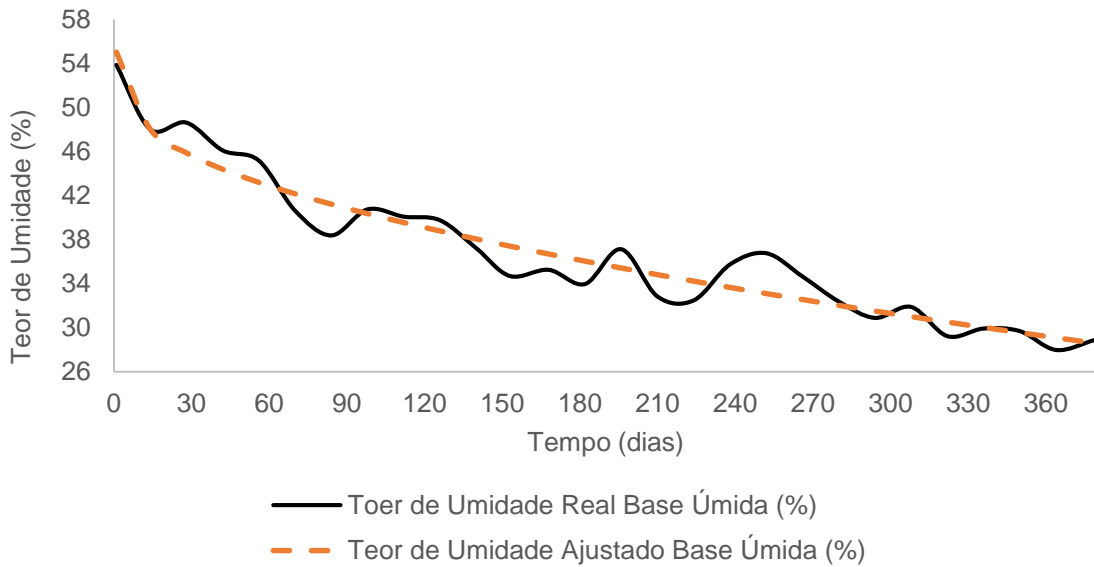


GRÁFICO 6 – TEOR DE UMIDADE REAL E TEOR DE UMIDADE AJUSTADA DE *Eucalyptus dunnii*

4.4 PODER CALORÍFICO E DENSIDADE BÁSICA DA MADEIRA DE *Eucalyptus dunnii*

Esta análise considerou os resultados da análise do poder calorífico e da densidade básica, obtidos de 40 árvores de *Eucalyptus dunnii* utilizadas no experimento de secagem, apresentados na TABELA 4.

TABELA 4 – ESTATÍSTICA DOS DADOS DE PODER CALORÍFICO E DENSIDADE BÁSICA DE *Eucalyptus dunnii*

Estatística	Poder Calorífico (Kcal Kg ⁻¹)	Densidade Básica (kg.m ⁻³)
Número (N)	40	40
Mediana	4.508	516
Média	4.484	513
Erro Padrão	2,73	3,73
Desvio Padrão	102,55	39,56
Variância da amostra	10.517,21	1.564,99
Coefficiente de Variação (CV)	2,29	7,71
Valor Máximo	4.658	616
Valor Mínimo	4.258	435

Portanto o poder calorífico médio foi determinado em 4.484 Kcal.Kg⁻¹ e a densidade básica média de 535 Kg m⁻³. Os resultados foram inferiores aos resultados para a mesma espécie obtida por PEREIRA *et al.* (2000), com densidade básica da madeira de 550,00 Kg.m⁻³ e poder calorífico de 4.732 Kcal.Kg⁻¹.

4.5 TEOR DE UMIDADE E PODER CALORÍFICO

O poder calorífico está diretamente relacionado com o teor de umidade da madeira, sendo possível calcular o poder calorífico útil (PCU), ao longo do tempo de secagem, a partir do poder calorífico superior estimado em 4.484 Kcal.Kg⁻¹ inicialmente, obtendo-se os dados constante do GRÁFICO 7.

$$PCU = PCI \times \left(\frac{100-U}{100} \right) - 6 \times U, \text{ onde:}$$

PCU = poder Calorífico Útil (Kcal/ kg)

PCI = poder calorífico útil (Kcal/ kg)

U = teor de umidade da madeira (em % base úmida)

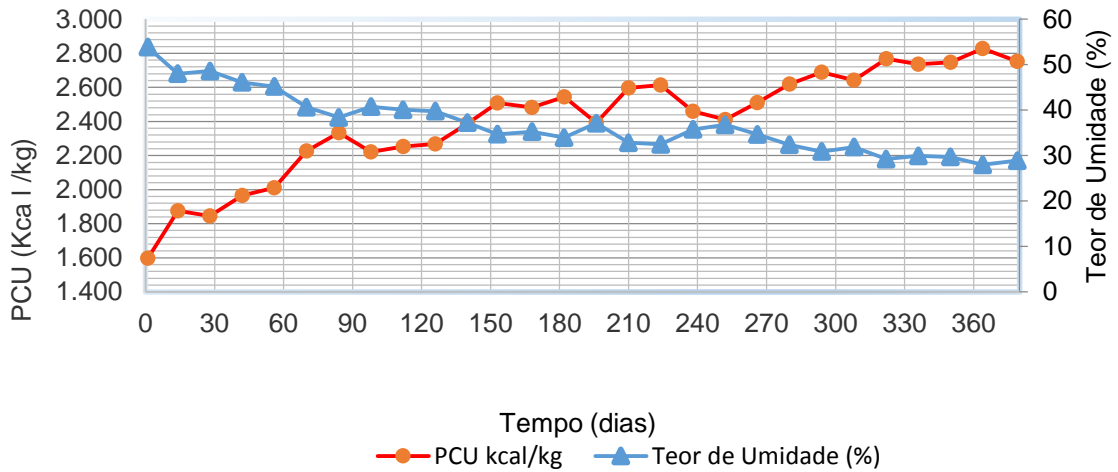


GRÁFICO 7 – COMPORTAMENTO DO PODER CALORÍFICO ÚTIL (PCU) E TEOR DE UMIDADE DE *Eucalyptus dunnii* AO LONGO DE 1 ANO

A medida que o teor de umidade cai, o poder calorífico útil aumenta, comprovando os resultados de Lima, Abdala e Wenzel (2008), que constataram que o poder calorífico é inversamente proporcional à umidade da madeira. No caso, o poder calorífico diminuiu cerca de 54% desde o início até o final (379) dias, sendo que o PCU subiu 72% no mesmo período. A relação entre as duas variáveis citada por Lima, Abdala e Wenzel (2008), com R^2 de 0,99 também ocorre neste trabalho, comprovando a relação direta entre PCU e teor de umidade (GRÁFICO 8).

O ganho energético produzido pela perda de umidade, também foi relatado por Gatto *et al.* (2003), Brand *et al.* (2004), Zanuncio (2013), Sturion e Tomaselli (1990) e Rezende (2009) e Rezende *et al.* (2010b).

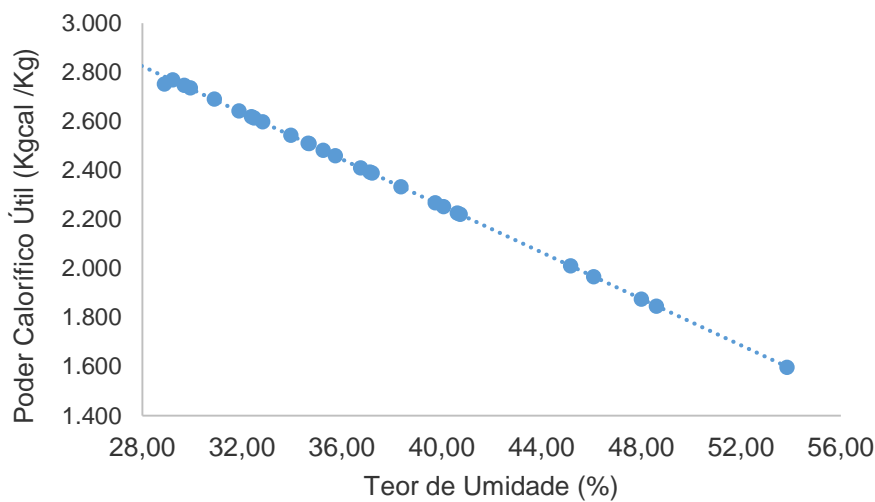


GRÁFICO 8 – RELAÇÃO DO PODER CALORÍFICO EM FUNÇÃO DA UMIDADE DE *Eucalyptus dunnii*

Os resultados mostram que a cada decréscimo do teor de umidade, tem-se um aumento no poder calorífico útil de 47,38 Kcal.Kg⁻¹.

Isto significa que ao consumir uma madeira com umidade de 30 e 50%, haverá diferença de 43,40 % na quantidade de madeira consumida. Para cada tonelada de madeira consumida com 30% de umidade equivale a 1,434 toneladas de madeira com 50% de umidade. Este resultado está de acordo com o obtido por Lima, Abdala e Wenzel (2008), Sturion e Tomaselli (1990) e Ferreira *et al.* (2009), de que a secagem da madeira aumenta substancialmente a energia aproveitável na queima das caldeiras, reduzindo o volume de madeira e conseqüentemente a área de corte necessária para o suprimento energético.

4.6 CUSTOS DE ARMAZENAMENTO NO PÁTIO

4.6.1 Custos de Implantação e Manutenção do Pátio Industrial

Os custos de implantação para a construção do pátio de madeira constam da TABELA 5 e o custo de manutenção anual do pátio na TABELA 6.

4.6.2 Custos de Aluguel do Pátio Industrial

O custo do aluguel do pátio é o custo de oportunidade ou o retorno que poderia ser obtido caso os investimentos realizados fossem utilizados em outra alternativa econômica. Para o cálculo do aluguel do pátio de madeira, foram considerados os custos necessários para sua implantação e os custos de manutenção anual.

Na TABELA 5 é mostrado o valor do aluguel correspondente aos investimentos realizados na implantação do pátio. Na TABELA 6 o valor do aluguel proporcional aos gastos anuais necessários para a manutenção do pátio. A totalização do valor do aluguel do pátio consta da TABELA 7.

TABELA 5 – CUSTOS DE IMPLANTAÇÃO DO PÁTIO DE MADEIRA E VALOR ANUAL DE ALUGUEL

Discriminação	Custo Total (R\$)	Vida Útil (anos)	Valor Residual (%)	Valor Residual (R\$)	Depreciação (R\$)	Capital médio imobilizado (R\$)	Valor Juros (R\$)	Aluguel (R\$/ano)
Terraplanagem da área	R\$ 73.500,00	60	20%	R\$ 14.700,00	R\$ 980,00	R\$ 44.590,00	R\$ 1.783,60	R\$ 2.763,60
Carregamento de terra	R\$ 73.500,00	60	20%	R\$ 14.700,00	R\$ 980,00	R\$ 44.590,00	R\$ 1.783,60	R\$ 2.763,60
Transporte de terra	R\$ 37.215,83	60	20%	R\$ 7.443,17	R\$ 496,21	R\$ 22.577,61	R\$ 903,10	R\$ 1.399,32
Pedras para revestimento	R\$ 36.822,00	60	20%	R\$ 7.364,40	R\$ 490,96	R\$ 22.338,68	R\$ 893,55	R\$ 1.384,51
Custos de drenagem	R\$ 7.350,00	60	20%	R\$ 1.470,00	R\$ 98,00	R\$ 4.459,00	R\$ 178,36	R\$ 276,36
Ensaibramento	R\$ 27.616,50	8	0%	R\$ 0,00	R\$ 3.452,06	R\$ 15.534,28	R\$ 621,37	R\$ 4.073,43
Outros custos	R\$ 4.567,76	60	20%	R\$ 913,55	R\$ 60,90	R\$ 2.771,11	R\$ 110,84	R\$ 171,75
Terra	R\$ 8.500,00	60	100%	R\$ 8.500,00	R\$ 0,00	R\$ 8.500,00	R\$ 340,00	R\$ 340,00
TOTAL	R\$ 269.072,09			R\$ 55.091,12	R\$ 6.558,14	R\$ 165.360,67	R\$ 6.614,43	R\$ 13.172,56

TABELA 6 – CUSTOS DE MANUTENÇÃO ANUAL DO PÁTIO DE MADEIRA E VALOR DE ALUGUEL

Discriminação	Unidade	Quantidade	Custo Unitário (R\$)	Custo Total (R\$)	Valor Juros (R\$)	Total Anual (R\$)
Colocação de estacas	hr/h	5,5	R\$ 64,38	R\$ 354,09	R\$ 2,00	R\$ 356,09
Estacas de madeira	unid	26	R\$ 6,00	R\$ 156,00	R\$ 0,88	R\$ 156,88
Amontoar casca	hr/maq	19,5	R\$ 80,00	R\$ 1.560,00	R\$ 8,82	R\$ 1.568,82
Retirada de casca	cargas	20,5	R\$ 40,00	R\$ 820,00	R\$ 4,64	R\$ 824,64
Carregamento	hr/maq	80	R\$ 20,00	R\$ 1.600,00	R\$ 9,05	R\$ 1.609,05
Aplicação de herbicidas	h/dia	4	R\$ 64,38	R\$ 257,52	R\$ 1,46	R\$ 258,98
Herbicida	kg	0,6	R\$ 25,00	R\$ 15,00	R\$ 0,08	R\$ 15,08
Impostos	unid.	0,85	R\$ 4,22	R\$ 3,59	R\$ 0,02	R\$ 3,61
Administração	hr	24	R\$ 9,09	R\$ 218,16	R\$ 1,23	R\$ 219,39
TOTAL				R\$ 4.984,36	R\$ 28,18	R\$ 5.012,54

TABELA 7 – CUSTO DO ALUGUEL DE PÁTIO DE MADEIRA

Discriminação	Valor do Aluguel (R\$)
Investimento	R\$ 13.172,56
Custeio	R\$ 5.012,54
TOTAL	R\$ 18.185,11
Valor Mensal	R\$ 1.515,43
Estoque médio do Pátio (st)	5.060,00
Valor por st (R\$.st ⁻¹)	R\$ 0,30

4.7 CUSTOS DE COLHEITA DE *Eucalyptus dunnii*

Os custos de colheita e transporte até o pátio são apresentados na TABELA 8. O valor comercial da madeira também foi incluído na composição dos custos. Os custos são apresentados em estéreo (st), metro cúbico (m³) e toneladas (t).

TABELA 8 – CUSTOS DE LENHA POSTO PÁTIO DE *Eucalyptus dunnii*

Operação	Custo (R\$.st ⁻¹)	Custo (R\$.m ⁻³)	Custo (R\$. t ⁻¹)
Madeira	R\$ 20,00	R\$ 30,80	R\$ 33,40
Colheita	R\$ 12,00	R\$ 18,48	R\$ 20,04
Baldeio com veículo autocarregável	R\$ 3,17	R\$ 4,88	R\$ 5,29
Guincho de apoio	R\$ 1,00	R\$ 1,54	R\$ 1,67
Descarregamento do autocarregável	R\$ 1,34	R\$ 2,06	R\$ 2,24
Carregamento para pátio	R\$ 1,34	R\$ 2,06	R\$ 2,24
Transporte para pátio (Frete 10 Km)	R\$ 5,73	R\$ 8,82	R\$ 9,57
Descarregamento no pátio	R\$ 0,98	R\$ 1,51	R\$ 1,64
TOTAL	R\$ 45,56	R\$ 70,16	R\$ 76,09

4.8 CÁLCULO DA DENSIDADE ENERGÉTICA DURANTE A SECAGEM

A densidade energética é a quantidade de energia por unidade de volume, neste caso calculada por estéreo de lenha. Para o cálculo da energia é necessário os valores do teor de umidade, da densidade básica, poder calorífico superior e fator de empilhamento da madeira. O teor de umidade da madeira foi obtido pela equação de umidade já demonstrada.

4.8.1 Fator de empilhamento da Madeira

O fator de empilhamento da madeira é apresentado na TABELA 9

TABELA 9 – FATOR DE EPILHAMENTO DE *Eucalyptus dunnii* com 8 anos

Amostra	Volume (m ³)	Volume (st)	Relação (st.m ⁻³)	Relação (m ³ . st ⁻¹)
Parcela 1	6,7450	10,260	1,5211	0,6574
Parcela 2	6,8417	9,950	1,4543	0,6876
Parcela 3	6,1788	10,270	1,6621	0,6016
Parcela 4	6,6487	10,590	1,5928	0,6278
Parcela 5	6,9105	10,250	1,4833	0,6742
TOTAL / MEDIA	33,3247	51,320	1,5400	0,6494

4.8.2 Cálculo da Densidade Energética

A densidade energética foi calculada com os dados da densidade básica, poder calorífico superior, teor de umidade e fator de empilhamento, utilizando a fórmula utilizada por Moreira, Lima e Goulart (2012).

Nos GRÁFICO 10 e 11, apresentamos a variação da densidade energética ao longo de um ano de secagem, que cresce conforme a madeira vai perdendo umidade.

Houve um acréscimo de mais de 79% na densidade energética, que cresceu de acordo com a queda da umidade ao longo do tempo. Os resultados seguem a mesma tendência relatada por Moreira, Lima e Goulart (2012), com diferentes espécies, com aumento da densidade energética pela queda da umidade da madeira. Gatto *et al.* (2003) relata também o ganho energético em ganho de energia de lenha para queima, em função do tempo de exposição.

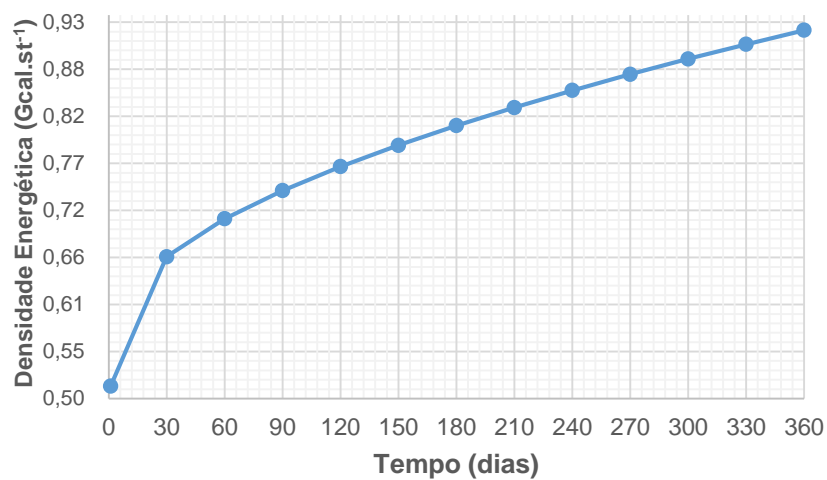


GRÁFICO 9 – DENSIDADE ENERGÉTICA DE *Eucalyptus dunnii* AO LONGO DE 1 ANO

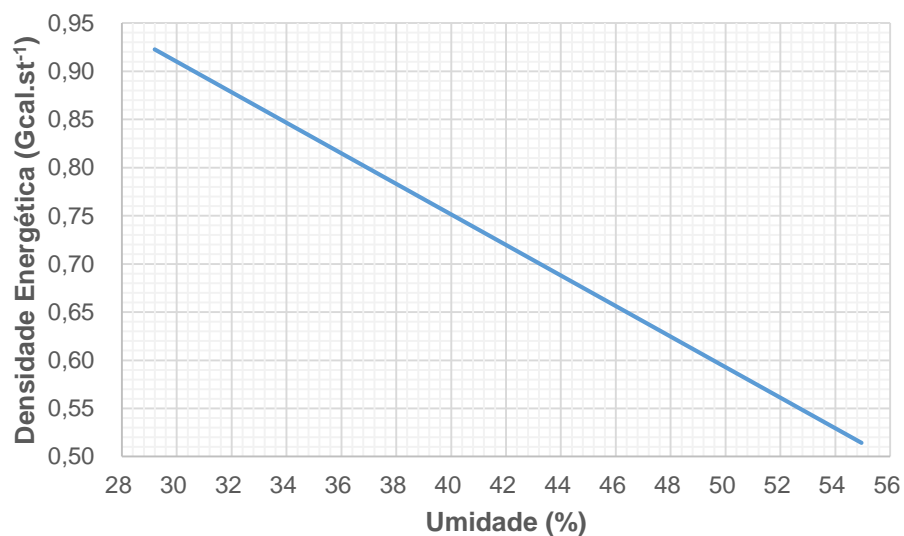


GRÁFICO 10 – DENSIDADE ENERGÉTICA EM RELAÇÃO A UMIDADE DA MADEIRA DE *Eucalyptus dunnii* AO LONGO DE 1 ANO

4.9 ESTRATÉGIAS DE SECAGEM DA MADEIRA DE *Eucalyptus dunnii*

4.9.1 Cálculo da Demanda Energética Mensal

A demanda energética é a energia necessária para suprir a indústria. Para este estudo de caso, foi usado o consumo atual de lenha roliça, excluindo-se compras externas.

Na situação atual, a empresa utiliza o pátio como uma segurança para o abastecimento, principalmente em períodos chuvosos. Para se estimar o consumo energético, considerou-se a estratégia mais usual da empresa, que adota a secagem de madeira no campo com duração de 02 meses, seguido do transporte para o pátio industrial, onde ocorre o consumo na indústria.

Neste caso a madeira de *Eucalyptus dunnii* atinge 40,79% de teor de umidade e 0,8447 Gcal.st⁻¹. Como o consumo é de 5.060 st mensais, a demanda estimada de energia mensal é de 4.274,16 Gcal.mês⁻¹. Este valor foi o adotado como a demanda energética mensal necessária para atender a demanda energética, e foi utilizado em estudo de caso para as simulações de estratégias de secagem.

A quantidade de madeira necessária para o suprimento, dependerá do tempo de secagem e sua densidade energética ao final do processo.

A TABELA 10 mostra todos os aspectos técnicos e econômicos de estratégia considerada padrão, que serviu como base para o estudo de outras estratégias.

4.9.2 Estratégias de Secagem da Madeira

A partir da necessidade mensal de energia para as atividades industriais, realizou-se uma simulação de diversas estratégias de secagem no campo ou no pátio de madeira.

Para cada estratégia adotada a madeira teve um teor de umidade no final do processo, que determinou sua densidade energética e a quantidade de madeira para suprir a energia necessária, o que gerou o custo total da energia.

Na simulação existiu a possibilidade de trabalhar com tamanho de pátio variável, dependendo do tempo que a madeira permaneceria secando no pátio. O tamanho do pátio implicaria em investimentos necessários para sua implantação e manutenção.

TABELA 10 – DADOS TÉCNICOS E ECONÔMICOS DA ESTRATÉGIA CONSIDERADA PADRÃO PELA INDÚSTRIA

Discriminação	Quantidade	Unidade
Demanda energética mensal	4.274	Gcal/mês
Tempo de secagem no campo	2	meses
Tempo de secagem no pátio	1	meses
Tempo total de secagem	3	meses
Densidade energética ao final da secagem	0,8447	Gcal/st
Teor de Umidade final	40,79	%
Demanda mensal de madeira seca	5.060	st/mês
Capacidade nominal do pátio	7.000	st/mês
Relação capacidade vs área do pátio	8.235	st/ha
Área necessária de pátio	0,85	ha
Custo inicial da madeira	45,56	R\$/st
COC (custo de Oportunidade da madeira)	R\$ 0,78	R\$/st
Custo de aluguel do pátio	0,30	R\$/st/mês
Custo total de aluguel do pátio (R\$/st)	0,30	R\$/st
Custo da madeira no TU final (R\$/st)	46,64	R\$/st
Despesa de obtenção da madeira	230.533	R\$/mês
Custo total da madeira seca	235.981	R\$/mês
Custo final da energia obtida	55,21	R\$/Gcal
Custo total da energia obtida	235.981,59	R\$/mês
Investimento total no pátio	269.072,09	R\$
Despesa de custeio anual do pátio	4.984,36	R\$/ano

As simulações iniciaram a partir de 1 mês de secagem no campo e transporte para o pátio para consumo. Seguiram-se simulações entre 2 até 12 meses de secagem no campo e combinadas com 01 a 06 meses no pátio, nunca ultrapassando 12 meses de duração. A razão de período máximo de um ano, foi que após este período, poderiam ocorrer perdas da qualidade da madeira, por biodegradação ou outros fatores.

Estas combinações resultaram em 51 simulações de secagem, com tempo variável entre campo e pátio. Haveria a possibilidade de testar outras combinações, porém desnecessárias, pois resultariam em soluções impraticáveis.

Para cada simulação são apresentados os principais dados técnicos e econômicos resultantes do processo entre os quais o tempo total da secagem, a área necessária de pátio, o custo da energia, o teor de umidade final da madeira, a densidade final da madeira, a demanda de madeira seca e o valor de investimentos de acordo com o tamanho do pátio. A TABELA 11 traz os resultados de diferentes simulações de estratégia de secagem.

TABELA 11 – ESTRATÉGIAS DE SECAGEM DE *Eucalyptus dunnii*

Estratégia nº	Secagem no Campo (meses)	Secagem no Pátio (meses)	Tempo de secagem (meses)	Área pátio (ha)	Custo Energia Final (R\$. Gcal ⁻¹)	Custo Mensal da Energia (R\$.mês ⁻¹)	Teor de Umidade Final (%)	Densidade Energética Final (Gcal.st ⁻¹)	Demanda Mensal de Madeira Seca (st.mês ⁻¹)	Investimento Pátio (R\$)
1	1	1	2	0,89	R\$ 57,38	R\$ 245.286,21	42,83	0,81	5.289,00	R\$ 281.734,31
2	2	1	3	0,85	R\$ 55,21	R\$ 235.981,59	40,79	0,84	5.060,00	R\$ 269.072,09
3	3	1	4	0,82	R\$ 53,56	R\$ 228.912,55	39,06	0,88	4.881,00	R\$ 259.575,43
4	4	1	5	0,80	R\$ 52,21	R\$ 223.180,40	37,51	0,90	4.732,00	R\$ 253.244,32
5	5	1	6	0,78	R\$ 51,07	R\$ 218.319,11	36,10	0,93	4.603,00	R\$ 246.913,21
6	6	1	7	0,76	R\$ 50,09	R\$ 214.107,07	34,78	0,95	4.489,00	R\$ 240.582,10
7	7	1	8	0,74	R\$ 49,23	R\$ 210.412,81	33,54	0,97	4.387,00	R\$ 234.251,00
8	8	1	9	0,73	R\$ 48,46	R\$ 207.167,53	32,37	1,00	4.295,00	R\$ 231.085,44
9	9	1	10	0,71	R\$ 47,78	R\$ 204.246,85	31,26	1,02	4.211,00	R\$ 224.754,33
10	10	1	11	0,70	R\$ 47,17	R\$ 201.595,65	30,20	1,03	4.133,00	R\$ 221.588,78
11	11	1	12	0,69	R\$ 46,62	R\$ 199.249,42	29,19	1,05	4.062,00	R\$ 218.423,23
12	1	2	3	1,70	R\$ 55,57	R\$ 237.497,01	40,79	0,84	5.060,00	R\$ 538.144,18
13	2	2	4	1,64	R\$ 53,90	R\$ 230.374,49	39,06	0,88	4.881,00	R\$ 519.150,86
14	3	2	5	1,59	R\$ 52,54	R\$ 224.588,85	37,51	0,90	4.732,00	R\$ 503.323,09
15	4	2	6	1,55	R\$ 51,39	R\$ 219.691,91	36,10	0,93	4.603,00	R\$ 490.660,87
16	5	2	7	1,51	R\$ 50,40	R\$ 215.444,21	34,78	0,95	4.489,00	R\$ 477.998,65
17	6	2	8	1,48	R\$ 49,53	R\$ 211.732,12	33,54	0,97	4.387,00	R\$ 468.501,99
18	7	2	9	1,45	R\$ 48,76	R\$ 208.451,18	32,37	1,00	4.295,00	R\$ 459.005,33
19	8	2	10	1,42	R\$ 48,08	R\$ 205.512,68	31,26	1,02	4.211,00	R\$ 449.508,67
20	9	2	11	1,39	R\$ 47,46	R\$ 202.825,82	30,20	1,03	4.133,00	R\$ 440.012,01
21	10	2	12	1,37	R\$ 46,90	R\$ 200.461,76	29,19	1,05	4.062,00	R\$ 433.680,90
22	1	3	4	2,46	R\$ 54,24	R\$ 231.836,43	39,06	0,88	4.881,00	R\$ 778.726,28
23	2	3	5	2,39	R\$ 52,87	R\$ 226.015,14	37,51	0,90	4.732,00	R\$ 756.567,41
24	3	3	6	2,32	R\$ 51,72	R\$ 221.064,70	36,10	0,93	4.603,00	R\$ 734.408,53
25	4	3	7	2,27	R\$ 50,72	R\$ 216.799,18	34,78	0,95	4.489,00	R\$ 718.580,76

..... Continuação TABELA 11 – ESTRATÉGIAS DE SECAGEM DE *Eucalyptus dunnii*

Estratégia n°	Secagem no Campo (meses)	Secagem no Pátio (meses)	Tempo de secagem (meses)	Área pátio (ha)	Custo Energia Final (R\$.Gcal ⁻¹)	Custo Mensal da Energia (R\$/mês)	Teor de Umidade Final (%)	Densidade Energética Final (Gcal.st ⁻¹)	Demanda Mensal de Madeira Seca (st.mês ⁻¹)	Investimento Pátio (R\$)
26	5	3	8	2,22	R\$ 49,84	R\$ 213.051,44	33,54	0,97	4.387,00	R\$ 702.752,99
27	6	3	9	2,17	R\$ 49,06	R\$ 209.734,84	32,37	1,00	4.295,00	R\$ 686.925,22
28	7	3	10	2,13	R\$ 48,37	R\$ 206.778,50	31,26	1,02	4.211,00	R\$ 674.263,00
29	8	3	11	2,09	R\$ 47,75	R\$ 204.073,81	30,20	1,03	4.133,00	R\$ 661.600,79
30	9	3	12	2,05	R\$ 47,19	R\$ 201.722,85	29,19	1,05	4.063,00	R\$ 648.938,57
31	1	4	5	3,18	R\$ 53,20	R\$ 227.423,59	37,51	0,90	4.732,00	R\$ 1.006.646,17
32	2	4	6	3,10	R\$ 52,04	R\$ 222.455,33	36,10	0,93	4.603,00	R\$ 981.321,74
33	3	4	7	3,02	R\$ 51,03	R\$ 218.136,32	34,78	0,95	4.489,00	R\$ 955.997,31
34	4	4	8	2,95	R\$ 50,15	R\$ 214.352,92	33,54	0,97	4.387,00	R\$ 933.838,43
35	5	4	9	2,89	R\$ 49,36	R\$ 211.018,49	32,37	1,00	4.295,00	R\$ 914.845,11
36	6	4	10	2,83	R\$ 48,66	R\$ 208.026,50	31,26	1,02	4.211,00	R\$ 895.851,78
37	7	4	11	2,78	R\$ 48,04	R\$ 205.303,98	30,20	1,03	4.133,00	R\$ 880.024,01
38	8	4	12	2,73	R\$ 47,47	R\$ 202.886,44	29,19	1,05	4.062,00	R\$ 864.196,24
39	1	5	6	3,87	R\$ 52,36	R\$ 223.828,13	36,10	0,93	4.603,00	R\$ 1.225.069,40
40	2	5	7	3,78	R\$ 51,35	R\$ 219.491,29	34,78	0,95	4.489,00	R\$ 1.196.579,41
41	3	5	8	3,69	R\$ 50,46	R\$ 215.672,23	33,54	0,97	4.387,00	R\$ 1.168.089,43
42	4	5	9	3,61	R\$ 49,66	R\$ 212.302,14	32,37	1,00	4.295,00	R\$ 1.142.764,99
43	5	5	10	3,54	R\$ 48,96	R\$ 209.292,33	31,26	1,02	4.211,00	R\$ 1.120.606,12
44	6	5	11	3,48	R\$ 48,33	R\$ 206.551,98	30,20	1,03	4.133,00	R\$ 1.101.612,79
45	7	5	12	3,42	R\$ 47,76	R\$ 204.116,61	29,19	1,05	4.062,00	R\$ 1.082.619,47
46	1	6	7	4,53	R\$ 51,66	R\$ 220.828,43	34,78	0,95	4.489,00	R\$ 1.433.995,96
47	2	6	8	4,43	R\$ 50,76	R\$ 216.991,54	33,54	0,97	4.387,00	R\$ 1.402.340,42
48	3	6	9	4,33	R\$ 49,96	R\$ 213.585,80	32,37	1,00	4.295,00	R\$ 1.370.684,88
49	4	6	10	4,25	R\$ 49,26	R\$ 210.558,15	31,26	1,02	4.211,00	R\$ 1.345.360,45
50	5	6	11	4,17	R\$ 48,62	R\$ 207.782,15	30,20	1,03	4.133,00	R\$ 1.320.036,02
51	6	6	12	4,10	R\$ 48,04	R\$ 205.328,95	29,19	1,05	4.062,00	R\$ 1.297.877,14

4.9.3 Escolha da Estratégia de Secagem de Madeira

Em uma situação de se considerar apenas a qualidade da matéria prima, a estratégia escolhida seria com maior período de secagem no campo antes do transporte e consumo final, como a Estratégia 11, com 11 meses de secagem no campo e 1 mês no pátio, com teor de umidade na queima de 29,19% e o menor custo final de energia com R\$ 46,92. st^{-1} , concordando com Moreira, Lima e Goulart (2012), que o custo da energia por estéreo de lenha decresce com a diminuição da umidade da madeira.

No GRÁFICO 11 os resultados do custo da energia em função do tempo de secagem no campo.

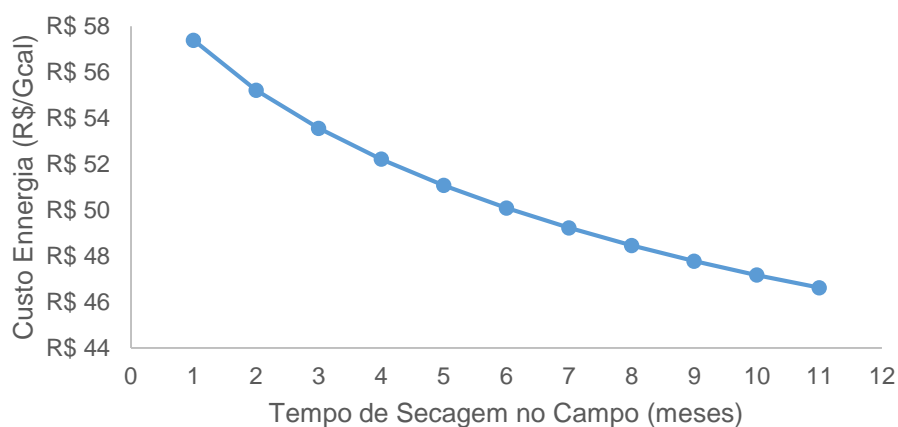


GRÁFICO 11 – CUSTO DA ENERGIA EM FUNÇÃO DO TEMPO DE SECAGEM NO CAMPO DE *Eucalyptus dunnii*

Porém esta estratégia implicaria em uma grande quantidade de madeira estocada no campo, em diversos locais de baldeio, trazendo inúmeras dificuldades operacionais e medidas de proteção e segurança da madeira, para se evitar desvios e roubos além de riscos de incêndio. Também o grande estoque gerado ocuparia área razoável de baldeio, que poderia resultar em perda de área produtiva para atividade de silvicultura. Haveria também a possibilidade de perdas por deterioração da madeira por agentes xilófagos, pois nem todas as áreas de baldeio possuem as condições ideais para o armazenamento de longo prazo.

Vale observar que não foram estudados os aspectos de biodegradação da madeira neste trabalho, porém este risco é potencializado com a maior permanência da madeira no campo, conforme já relatado em várias pesquisas, como Gatto *et al.* (2003), Stein (2003) e Brand (2007).

Também os custos de corte e baldeio da madeira seriam alterados, pois demandaria o aumento considerável da estrutura de colheita (máquinas e equipamentos, pessoal), que necessariamente não crescem de forma linear com o aumento da quantidade, fator não explorado neste estudo.

Quando se escolhe a opção de aumentar o período de secagem no pátio, implica no aumento de sua área física e maiores investimentos na ampliação do mesmo. Como exemplo, a Estratégia nº 12 com 01 mês de secagem no campo e complementando com mais 02 meses de secagem no pátio. Nesta opção a área do pátio teria um aumento em relação às alternativas somente com secagem de 1 mês no pátio, resultando em área de 1,70 ha, com investimentos de R\$ 538.144,00 superiores em 246% em relação à Estratégia 11, com 11 meses de secagem no campo e 1 mês de pátio.

A melhor estratégia da empresa teria que combinar o aumento da qualidade energética da madeira (menor umidade e maior densidade energética), a custos menores e proporcionando quantidade de madeira para dar segurança no abastecimento e manutenção da qualidade energética sem problemas com deterioração. Também importante a manutenção da estrutura de colheita, sem grandes alterações.

Esta decisão pela empresa vai depender de sua estratégia quanto à questão da segurança no abastecimento, pela existência de estradas florestais, com boas condições de tráfego em períodos chuvosos.

Também vale ser citado, a importância e o custo da produção de energia no custo total do produto da empresa. A situação do mercado também pode ser motivo para o consumo, com maior necessidade de produção de vapor nas caldeiras e consequente exigência de melhor qualidade de lenha energética. Até mesmo a dificuldade de fluxo de caixa pode ser argumento, em função da escassez de recursos para investimentos em capital.

Nas simulações tem-se a opção de aumento no pátio de lenha, o que implicaria em custos, porém, com melhoria na segurança do abastecimento, especialmente em períodos chuvosos.

Assim, optou-se pelas seguintes estratégias:

1. Sem investimentos de capital para o aumento do pátio;
2. Com investimentos de capital para o aumento do pátio.

4.9.3.1 Com opção de não aumento do Pátio de Madeira

Nenhuma simulação foi tratada como ideal, porém dentro das questões e limitações já comentadas, com a opção de não aumento do pátio, convém lembrar que o tamanho base é de 0,85 ha definido na demanda energética mensal.

Com as limitações comentadas, optou-se por escolher um período máximo de secagem no campo, que poderia amenizar essas limitações, que seriam de tempo máximo de 05 meses e um mínimo de 03 meses.

Neste intervalo de períodos de secagem, haveria estoque com quantidades razoáveis de madeira, menor área de baldeio, maior facilidade de administração dos estoques e padrão de qualidade de material energético bastante melhorado, em relação ao material recém colhido.

As estratégias de secagem sem aumento de pátio, que poderiam responder as limitações apontadas seriam as estratégias nº 3,4 e 5 com respectivamente 3,4 e 5 meses de secagem no campo e complementadas com período de 1 mês de secagem no pátio, finalizando, respectivamente período total de secagem de 4,5 e 6 meses. Os dados técnicos e econômicos constam da TABELA 12.

TABELA 12 – MELHORES ESTRATÉGIAS DE SECAGEM SEM NECESSIDADE DE INVESTIMENTOS PARA O AUMENTO DO PÁTIO DE MADEIRA

Estratégia nº	Área pátio (ha)	Custo Energia Final (R\$/Gcal)	Custo Mensal da Energia (R\$/mês)	Teor de Umidade Final (%)	Densidade Energética Final (Gcal/st)	Demanda Mensal de Madeira Seca (st/mês)	Investimento Pátio (R\$)
3	0,82	R\$ 53,56	R\$ 228.913	39,06	0,88	4.881,00	R\$ 259.575
4	0,80	R\$ 52,21	R\$ 223.180	37,51	0,90	4.732,00	R\$ 253.244
5	0,78	R\$ 51,07	R\$ 218.319	36,10	0,93	4.603,00	R\$ 246.913

As estratégias com menor tempo de secagem não diminuem a qualidade energética da madeira em termos de umidade e densidade em comparação com as estratégias com maior tempo de secagem.

Todas as estratégias consideradas como ideais, sem necessitar de investimentos no pátio de madeira, conseguem uma secagem da madeira com teores de umidade baixos para consumo (entre 36 a 39%), em relação a umidade inicial no início do tempo de secagem. No período total de secagem, com no máximo 06 meses de duração, não haveria problemas com a deterioração da lenha energética.

A estratégia nº 5, com 5 meses de secagem no campo e mais um mês de pátio, acumularia maiores estoques de madeira, a custos menores, porém com maiores volumes a serem administrados no campo, em relação as outras duas estratégias. Pelo custo de R\$ 51, 07.Gcal.⁻¹, seria a melhor entre todas as estratégias estudadas, inclusive incluindo as opções com aumento de pátio.

Na escolha da opção a ser adotada, deve-se combinar as necessidades da empresa por lenha seca, a segurança no abastecimento, situação das estradas de acesso, dimensionamento da colheita e de pessoal, entre outros fatores.

4.9.3.2 Com opção de aumento do Pátio de Madeira

Com a opção já mencionada de não acumular grandes volumes de madeira no campo, as estratégias com aumento do pátio industrial receberiam maiores volumes que o atual, sendo escolhidas as estratégias nº 14 e nº 15.

A estratégia nº 14 tem duração de 5 meses, com 3 meses de secagem no campo, complementada com secagem no pátio de 2 meses. A opção nº 15 apresenta tempo de secagem de 4 meses no campo e 2 meses de pátio, totalizando 6 meses de secagem.

Na TABELA 13 constam os dados técnicos e econômicos das duas estratégias. Com o tempo final de secagem entre 5 a 6 meses, não ocorreriam problemas com deterioração da madeira, mesma condição já adotada na escolha anterior das estratégias sem aumento de pátio. Também os estoques de campo não seriam tão volumosos, pois a secagem seria terminada com mais 02 meses de secagem no pátio de madeira.

TABELA 13 – MELHORES ESTRATÉGIAS DE SECAGEM COM NECESSIDADE DE INVESTIMENTOS PARA O AUMENTO DO PÁTIO DE MADEIRA

Estratégia nº	Área pátio (ha)	Custo Energia Final (R\$/Gcal)	Custo Mensal da Energia (R\$/mês)	Teor de Umidade Final (%)	Densidade Energética Final (Gcal/st)	Demanda Mensal de Madeira Seca (st/mês)	Investimento Pátio (R\$)
14	1,59	R\$ 52,54	R\$ 224.589	37,51	0,90	4.732	R\$ 503.323
15	1,55	R\$ 51,39	R\$ 219.692	36,10	0,93	4.603	R\$ 490.661

Ambas as opções exigem aumento da área do pátio, pela necessidade de maiores estoques de madeira em secagem na área industrial.

A partir do aumento de mais um mês de secagem no campo, haveria melhoria da matéria prima, pelo melhor valor energético, porém isto poderia levar a restrições práticas já comentadas, entre elas, o maior estoque no campo e possibilidade de comprometer a qualidade da madeira.

4.9.3.3 Comparação De Custos Entre Estratégia Padrão e Estratégias Seleccionadas

As comparações de custo entre a estratégia adotada na empresa considerada como padrão, e as estratégias seleccionadas, constam da TABELA 14.

TABELA 14 – DIFERENÇAS DE CUSTO MENSAL E ANUAL ENTRE ESTRATÉGIA PADRÃO E AS ESTRATÉGIAS SELECIONADAS

Custo Mensal Padrão (R\$/mês)	Estratégia nº	Tipo de Estratégia	Custo Mensal da Energia (R\$/mês)	Diferenças R\$/Mês	Diferenças R\$/Ano
R\$ 235.981,59	3	Sem aumento de pátio	R\$ 228.913	R\$ 7.069	R\$ 84.828
	4		R\$ 223.180	R\$ 12.801	R\$ 153.614
	5		R\$ 218.319	R\$ 17.662	R\$ 211.950
	14	Com aumento de pátio	R\$ 224.589	R\$ 11.393	R\$ 136.713
	15		R\$ 219.692	R\$ 16.290	R\$ 195.476

4.10 PRODUÇÃO FLORESTAL NECESSÁRIA PARA ATENDER CONSUMO

A chamada estratégia padrão que é a atual utilizada na empresa, citada na TABELA 10, tem consumo mensal de 5.060 st mensais, equivalente a 60.720 st anuais, que considerando o fator de empilhamento já estudado, equivalem a 39.429 m³ anuais.

A indústria tem manejo florestal de *Eucalyptus dunnii* com densidade de 1600 árvores.ha⁻¹, com corte raso aos nove anos. Pela simulação do SisDunnii, já discutido no Capítulos I desta tese, a produção deste tipo de manejo adotado pela empresa é de 382,60 m³.ha⁻¹, utilizados na sua totalidade para produção energética.

A TABELA 15 mostra a área florestal necessária para atender os consumos da estratégia padrão e das estratégias selecionadas como melhores, bem como as diferenças de áreas necessárias entre as mesmas.

TABELA 15 - ÁREA FLORESTAL NECESSÁRIA (ha) DE *Eucalyptus dunnii* PARA ATENDER CONSUMO DA INDÚSTRIA

Estratégia nº	Tipo de Estratégia	Consumo Anual (st)	Consumo Anual (m³)	Produção Florestal (m³.ha ⁻¹)	Área Florestal Necessária (ha)	Diferença com Estratégia Padrão (ha)
Padrão	Padrão	60.720,00	39.429	382,6	103,05	0,00
3	Sem aumento de pátio	58.572	38.034		99,41	3,65
4		56.784	36.873		96,37	6,68
5		55.236	35.868		93,75	9,31
14	Com aumento de pátio	56.784	36.873		96,37	6,68
15		55.236	35.868		93,75	9,31

A diferença de área necessária para atender o consumo das estratégias, variou de no mínimo 3,65 ha até 9,31 ha, que ao se considerar os custos de implantação de florestas e o custo de terras, já estudados no Capítulo II desta tese, apresenta os resultados da TABELA 16.

As diferenças em valores podem variar de R\$ R\$ 60.402,06 da estratégia nº 3, até R\$ 154.210,00 da estratégia nº 15, comprovando novamente a importância da adoção de estratégias definidas em relação ao consumo energético nas empresas.

TABELA 16- DIFERENÇAS DE CUSTOS DE IMPLANTAÇÃO E TERRAS DA ESTRATÉGIA PADRÃO E ESTRATÉGIAS SELECIONADAS

Estratégia nº	Área Florestal Estratégia Padrão (ha)	Área Florestal Necessária (ha)	Diferença com Estratégia Padrão (ha)	Custo de Plantio e Terras (R\$)
3	103,05	99,41	3,65	R\$ 60.402,06
4		96,37	6,68	R\$ 110.680,87
5		93,75	9,31	R\$ 154.210,85
14		96,37	6,68	R\$ 110.680,87
15		93,75	9,31	R\$ 154.210,85

Se no caso da estratégia 5, em que a diferença anual é de 9,31 ha em uma estimativa para 10 anos de consumo adotando-se os mesmos procedimentos de secagem, a área a menor seria de 93 ha e em 20 anos, de 186 ha.

No caso de empresas industriais com elevado consumo, como celulose, madeira reconstituída e de termoelétricas, estes números tomam uma dimensão muito grande, com economia de áreas e recursos

4.11 COMPARAÇÃO COM OUTRAS PESQUISAS DE SECAGEM DE MADEIRA ROLIÇA

Não encontramos referências de outras pesquisas envolvendo secagem da madeira roliça (em toras, torretes, lenha) combinada a aspectos econômicos, técnicos e de logística, para comparação com os resultados do presente trabalho.

Muitos trabalhos valorizam mais os aspectos técnicos de secagem, do que aspectos econômicos, como Gatto *et al.* (2003) sugerindo 06 meses de secagem, em virtude da preservação das características da madeira.

Sturion e Tomaselli (1990) citam ganho energético aos quatro meses de secagem para a espécie Bracatinga. Vital, Lúcia e Valente (1985), relatam ganho energético pela queda da umidade da madeira aos 6 meses de secagem.

Zanuncio (2013) cita ganho do poder calorífico com 94 dias de secagem. Rezende (2009) estima tempo de secagem entre 80 a 200 dias, dependendo da região de localização, como suficiente para a redução da umidade e ganho energético.

Stein (2003) sugere tempo de secagem entre 3 a 4 meses de secagem no campo e Brand (2007) cita tempo de estocagem ideal entre 2 a 4 meses de duração, em épocas mais favoráveis (primavera e verão) e de 4 meses em épocas menos favoráveis (outono e inverno), com secagem de toras de *Pinus* e *Eucalyptus*.

5 CONCLUSÕES

Com secagem da madeira de *Eucalyptus dunnii* no campo e transporte para o pátio de armazenamento, as melhores opções seriam a secagem de três a cinco meses no campo, complementado com um mês de pátio.

Com a opção de aumento na área física de pátio, as melhores opções seriam a secagem de três a quatro meses da madeira de *Eucalyptus dunnii* no campo, complementados com dois meses de pátio.

6 RECOMENDAÇÕES

Uma recomendação para estudos futuros, seria a alternativa que poderia ser considerada para redução de custo da energia nas estratégias de secagem que demandem aumento da área de pátio, visando o aumento da eficiência de uso do pátio. No entanto esta alternativa poderia diminuir a necessidade de aumento da área de pátio.

Também seria interessante a realização de pesquisas com outras espécies de *Eucalyptus* e outros gêneros, como o *Pinus*, e também a combinação de consumo com duas ou mais espécies, como o caso mais comum em nossas indústrias, como o consumo conjunto de madeira de pinus e eucalipto.

O custo da terra diferenciado também seria uma excelente opção de pesquisa, pois tem-se casos em que este recurso é muito valorizado, aumentando os recursos imobilizados, ou até mesmo inviabilizando questões como o aumento de pátio industrial. É o caso de indústrias situadas próximas as áreas urbanas, com possibilidade de outros usos mais atraentes.

Também estudos com novas tecnologias e alternativas para secagem da madeira energética, bem como estudos de colheita em diferentes épocas do ano seriam muito apropriados.

REFERÊNCIAS

ARAUJO, H.B. **Avaliação Econômica de Eucalipto Irrigado em Diferentes Cenários**. 94 p. Tese de Doutorado em Agronomia. UNESP, Botucatu. 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 11941**: madeira: determinação da densidade básica. Rio de Janeiro, 2003, 6p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 8633**: Carvão vegetal: determinação do poder calorífico: método de ensaio. Rio de Janeiro, 1984, 13p.

BERGER, R.; JÚNIOR, R.T.; DOS SANTOS, A.J.; BITTENCOURT, A.M.; DE SOUZA, V.S.; EISFED, C. de L.; POLZ, W.B. Rentabilidade Econômica da Produção de Pinus spp. por Mesorregião Homogênea no Estado do Paraná. Curitiba: **FLORESTA**, v.41, n.1, p. 161-168, jan/mar. 2011.

BRAND, M. A. **Energia de Biomassa Florestal**. 01. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2010. v. 01. 114p.

BRAND, M.A.; MUÑIZ, G.I.B.; COSTA, V.J.; AMORIN, M.; BITTENCOURT, E. Influência do tempo de armazenamento sobre a perda de umidade de resíduos madeiráveis. In: III Encontro de Ciência e Tecnologia, 2004. **Anais**. Lages: Universidade do Planalto Catarinense, 2004a.

BRAND, M.A. **Qualidade da Biomassa para o Uso na Geração de Energia em Função da Estocagem**. 151 p. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2007.

BRAND, M.A.; MUÑIZ, G.I. de; AMORIN, M.; COSTA, J.V. da; BITTENCOURT, E. Análise da Qualidade Energética de Resíduos Madeiráveis ao Longo de Seis meses de Armazenamento. In: I Congresso Brasileiro de Bioenergia, **Anais...**, Campo Grande. 2004b.

BATISTA, J. LF; COUTO, HTZ do. O "Estéreo". **METRVIM**, São Paulo-SP. nº2, 2002.

BRIANE, D.; DOAT, J. **Guide Technique de la Carbonisation: la Fabrication du Charbon de Bois**. Aix-en-Provence, ÉDISUD, 1985. 180 P.

BRITO, J.O. O uso energético da madeira. **Estudos avançados**, v. 21, n. 59, p. 185-193, 2007.

BRITO, J.O. **Usos Energéticos do *Eucalyptus grandis***. In: Jornada Florestales de Entre Rios. Concordia, Outubro, 1994.

BRITO, J.O.; BARRICHELO, L.E.G. Uso Diretos e Propriedades da Madeira para Geração de Energia. **IPEF Circular Técnica nº 52**. Piracicaba, junho, 1979.

CARNEIRO, M.C. **Armazenagem e Secagem do Resíduos Industrial de Maracujá Amarelo**. 75 p. Dissertação de Mestrado. Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 2001.

COUTO, L.C.; BARCELOS, D.C. As Relações Água-Madeira e Sua Influência nas suas Propriedades Físicas. **Biomassa e Energia**, V.4, n.2, p.173-190, 2011.

CUNHA, M.P.S.C.; PONTES, C.L.F.; CRUZ, I. A.; CABRAL, M. T. F. D.; CUNHA NETO, Z.B.; BARBOSA, A.P.R. Estudo químico de 55 espécies lenhosas para geração de energia em caldeiras. In: 3º encontro Brasileiro em madeiras e em estruturas de madeira: **Anais**, v.2, p. 93-121, São Carlos, 1989.

DAL FARRA, F.C.P.; ESPERANCINI, M.S.T. Análise Econômico-Energética de Utilização de Resíduo Industrial Florestal para Geração de Energia Térmica: Um Estudo de Caso. **Energia na Agricultura**. Botucatu, vol. 20, n.3, p.76-88, 2005.

DA SILVA, M.L. REZENDE, J. L. P.; LIMA, V. B.; CORDEIRO, S. A.; COELHO, L. M. Métodos de cálculo do custo da terra na atividade florestal. **Cerne**, Lavras, v. 14, n. 1, p. 75-81, 2008.

DAVIS INSTRUMENTS. Vantage Pro2Plus Console Manual Weathes Stations, **Davis Instruments**, 2006. Disponível em:
http://www.davisnet.com/product_documents/weather/manuals/07395-234_IM_06312.pdf. Acesso em 20/01/2014.

ENDLER, L. Avaliação de empresas pelo método de fluxo de caixa descontado e os desvios causados pela utilização de taxas de desconto inadequadas. **Contexto**, v. 4, n. 6, 2004.

EMPRESA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA E EXTENSÃO RURAL DE SANTA CATARINA (EPAGRI). **Zoneamento Agroecológico e Socioeconômico de Santa Catarina**. Florianópolis: EPAGRI, 1999.
Disponível em: <http://ciram.epagri.sc.gov.br/images/documentos/ZonAgroecoMapas.pdf> . Acesso em 20/01/2015.

FARINHAQUE, R. Influência da umidade no poder calorífico da madeira de bracatinga (*Mimosa scabrella*, Benth), e aspectos gerais de combustão. **Serie Técnica nº 6**. Curitiba: Fundação de Pesquisas Florestais do Paraná (FUPEF), 41 p. 1981.

FERREIRA, J.C.; FURTADO, T.S.; NEVES, M.D.; BRAND, M. Influência do teor de Umidade no Poder Calorífico em Diferentes Idades de Árvores de *Pinus taeda*. In: **CONGRESSO BRASILEIRO SOBRE FLORESTAS ENERGÉTICAS**. 2009, Belo Horizonte. Anais. Colombo: EMBRAPA Florestas, 2009.

FRANÇA, M.S. de. Microclimas e suas Relações com o Uso de Solo no Entorno de Escolas Públicas na Cidade de Cuiabá, MT. In: 4º Simpósio de Geotecnologias no Pantanal. **Anais**. 4º Simpósio de Geotecnologias no Pantanal. Bonito, MS, p.281-288, 2012.

GATTO, D.A. **Avaliação Quantitativa e Qualitativa da Utilização Madeireira na Região da Quarta Colônia de Imigração italiana do Rio Grande do Sul.** 108 p. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Santa Maria, 2002.

GATTO, D.A.; SANTINI, E.J.; HASELEIN, C.R., DURLO, M.A. Características da Lenha Produzida na Região da Quarta Colônia de Imigração italiana do Rio Grande do Sul. **Ciência Florestal**: Santa Maria, v.13, n.2, p.7-16. 2003.

GOLTZ, V. **Viabilidade econômica para implantação de cultivo de eucalipto para fins energéticos na Seara Indústria e Comercio de Produtos Agropecuários Ltda.** 38f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós Graduação em Ciência e Tecnologia de Sementes. Faculdade de Agronomia “Eliseu Maciel” - Universidade Federal de Pelotas, 2013.

HUSSON, J.M. **Loi Comportement Viscoelastique Avec Effet Application a la Mecanosorption dans le Bois.** 134 p. Thèse Doctorale. Universite de Limoges. Lioges, 2009.

JARRA, E.R.P. O Poder Calorífico de Algumas Madeiras que Ocorrem no Brasil. São Paulo: IPT. **Comunicação Técnica, 1797.** 1989.

JANKOWSKY, I. P.; GALVÃO, APM. **Secagem Racional da Madeira.** Editora Nobel SA, São Paulo, 1985.

JANKOWSKY, I.P. **Fundamentos de Secagem de Madeira.** Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. 9 p. Piracicaba, 1990.

JUVILLAR, J.B. O Carvoejamento da Madeira e seus Reflexos na Qualidade do Carvão: Qualidade da Madeira. **Circular Técnica**, nº 64. Instituto de Pesquisas Florestais. Piracicaba, Setembro, 1979.

KLITZKE, R. J. **Secagem da Madeira.** Curitiba: UFPR, 2003. 98 p.

LIMA, E. A. de. Alternativa para estimar o preço da madeira para energia. **Comunicado Técnico 260.** Colombo: Embrapa Florestas, 2010.

LIMA, E. A. da.; SILVA, H. D. da.; MAGALHÃES, W. L. E.; LAVORANTI, O. J. Caracterização individual de árvores de *Eucalyptus benthamii* para uso energético. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v.31, n.65, p. 09-107, 2007.

LIMA, E.A.; ABDALA, E.M.; WENZEL, A.A. Influência da Umidade no Poder Calorífico da Madeira. **Comunicado Técnico 220.** EMBRAPA: Colombo, Dezembro, 2008.

LIMA JÚNIOR, V. B.; REZENDE, J. L.P.; OLIVEIRA, A.D. Determinação da taxa de desconto a ser usada na análise econômica de projetos florestais. 1997. **Revista Cerne**, v. 3, n. 1, p. 45-66, 1997.

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

MARTINS, V.A. **Secagem de Madeira Serrada**. Brasília, IBDF, 1988. 52 p.

MENEGHETTI, V. L.; AOSANI, E.; DA ROCHA, J. C.; DE OLIVEIRA, M.; ELIAS, M. C.; POHNDORF, R. S. Modelos Matemáticos para a Secagem Intermitente de Arroz em Casca. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Campina Grande, v.16, n,10, p.1115-1120, 2012.

MOREIRA, J.M.M.A.P.; LIMA, E.A. de.; GOULART, I.C.G.R. Impacto do Teor de Umidade e da Espécie Florestal no Custo da Energia útil Obtida a Partir da Queima da lenha. **Comunicado Técnico 293**. EMBRAPA: Colombo, Julho, 2012.

NOGUEIRA, L.A.D.; LORA, E.E.S. **Dendroenergia: Fundamentos e Aplicações**. 2ª. Ed. Interciência: Rio de Janeiro. 199 p, 2003.

PEREIRA, J. D.; HIGA, A. R.; SHIMIZU, J. Y.; HIGA, R.C.V. Comparação da qualidade da madeira de três procedências de *Eucalyptus dunnii* Maiden, para fins energéticos. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Curitiba, nº 13, p. 9-16, 1986.

PEREIRA, J. C. D.; STURION, J. A.; HIGA, A. R.; HIGA, R. C. V.; SHIMIZU, J. Y. Características da madeira de algumas espécies de eucalipto plantadas no Brasil. **Documentos**, n. 38. Colombo: Embrapa Florestas, 2000. 113 p.

PARK, K.J.; ANTONIO, G.C. **Análise de Materiais Biológicos**. Universidade Estadual de Campinas. 21 p. Apostila. Campinas, 2006.

PERTUZZATTI, A.; TREVISAN, R.; FIORESI, T.; RABUSKE, J.E.; TRATENMÜLLER, A.V.; MOTTA, C.I. da; NETTO, C.C. Influência do Diâmetro das Toras na Secagem ao Ar livre de *Eucalyptus globulus* LABILL. **Ciência da Madeira**. Pelotas, v.4, n.2, p. 191-201. Novembro, 2013.

PONCE, H.R.; WATAI, L. T. **Manual de Secagem da Madeira**. Brasília: MIC/STI/IPT, 1985.

QUÉNO, L.R.M. **Viabilidade Econômica da Produção de Biomassa de Eucalipto e Capim Elefante para Energia**. 64 p. Dissertação de Mestrado. Universidade de Brasília. 2009.

QUIRINO, W. F.; VALE, A. T.; ANDRADE, A. D.; ABREU, V. L. S.; AZEVEDO, A. D. S. Poder calorífico da madeira e de resíduos lignocelulósicos. **Biomassa & Energia**, v. 1, n. 2, p. 173-182, 2004.

REINER, D. A.; SILVEIRA, E.R.; SZABO, M.S. O uso do eucalipto em diferentes espaçamentos como alternativa de renda e suprimento da pequena propriedade na região sudoeste do Paraná. **Synergismus scyentifica**. Pato Branco, v. 6, n. 1, p. 10 - 18, 2011.

REZENDE, R. N.. **Secagem de toras de clones de Eucalyptus empregados na produção de carvão**. 178 p. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Lavras, 2009.

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

REZENDE, R.; LIMA, J.; PAULA, L.; FARIA, A. Secagem ao ar livre de toras de *Eucalyptus grandis* em Lavras, MG. **Cerne**, Lavras, v.16, p. 41-47. 2010a.

REZENDE, R.N.; LIMA, J.T.; RAMOS e PAULA, L.E. de; MACEDO, L.B. de. Modelagem Estatística da Secagem ao Ar Livre de Toras de *Eucalyptus* sp com Fins Energéticos. In: XIX Congresso de Pós Graduação da UFLA. **Anais**. Lavras, Outubro, 2010b.

REZENDE, R.N.; LIMA, J.T.; SILVA, J.R.M. da; NAPOLI, A.; ANDRADE, H.B.; FARIA, A.R. Air Drying of Logs From *Eucalyptus urophylla* Clone for Carbonization Use. **Cerne**, Lavras, v.16, p.565-572, out/dez. 2010a.

RIBEIRO, F. de A.; ZANI FILHO, J. Variação da densidade básica da madeira em espécies/procedências de *Eucalyptus* spp. **Revista IPEF**, n. 46, p. 76-85, 1993.

ROCHA, M. P.; KLITZKE, R. J. Energia da madeira. **FUPEF–Série didática**. Curitiba, v. 86, p. 45, 1998.

SCHNEIDER, P.R. **Análise de Regressão Aplicada à Engenharia Florestal**. Santa Maria: UFSM.. 195 p. 2002.

SENELWA, K.; SIMS, R.E.H. Fuel characteristics of short rotation forest biomass. **Biomass and Bioenergy**, v. 17, n. 2, p. 127-140, 1999.

SILVA, M.L.; JACOVINE, L.A.G.; VALVERDE, S.R. **Economia florestal**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2002. 178p.

SILVA, J. de C.; OLIVEIRA, J.T. da S. Avaliação das Propriedades Higroscópicas da Madeira de *Eucalyptus saligna* Sm. em Diferentes Condições de Umidade Relativa do Ar. **Revista Árvore**, Viçosa, v.27, n.2, p.233-239, 2003.

SIMPSON, W.T.; HART, C.A. **Estimates of Air Drying Times for Several Hardwoods and Softwoods**. Department of Agriculture, Forest Services. Madison, 70 p. 2000.

SIMPSON, W.T.; WANG, X. **Estimating Air Drying Times of Small Diameter Ponderosa Pine and Douglas-ire Logs**. Department of Agriculture, Forest Services. Madison, 14 p.2003.

STEIN, F. da R. **Avaliação Técnica do Tempo de Estocagem da Madeira**. 36 p. Universidade Federal de Viçosa. Trabalho Acadêmico. Viçosa, Fevereiro, 2003.

STURIOM, J.A; TOMASELLI, I. Influência do Tempo de Estocagem de lenha de Bracatinga na Produção de Energia. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Colombo, v.21, p-37-47, 1990.

TOMASELLI, I.; KLITZKE, R. J. **Secagem de Madeira**. Curitiba-PR: Fundação Hugo Simas, 2000.

THÖRNQVIST, T. Energy Change Due To Storage of Logging Residues. In: **International Conference On Bioenergy**. 1984, Göteborg. Proceeding. Sweden: Swedish University of Agricultural Sciences Department of Forest Products, Research notes nº 152.1984.

TRUGILHO, P. F.; LIMA, J. T.; SILVA, J. R. M. da.; MORI, F. A.; MENDES, L. M. Energia de biomassa florestal: a contribuição da UFLA. **Biomassa & Energia**, Viçosa, v. 1, n. 3, p. 221-224, jul./set. 2004.

VIDAL, A.C.F.; HORA, A.B. da. Perspectivas do Setor de Biomassa de Madeira para a Geração de Energia. **BNDES Setorial**. Rio de Janeiro, v.33, p.261-314. 2011.

VITAL, B.R.; LÚCIA, R.M.D.; VALENTE, O.F. Estimativa do Teor de Umidade de Lenha para Carvão em Função do Tempo de Secagem. **Revista Árvore**, Viçosa, v.9, n.1, p. 10-27, 1985.

ZANUNCIO, A.J.V. **Influência da Secagem da Madeira de *Eucalyptus* e *Corymbia* na Produção e Qualidade de Carvão**. 69 p. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Lavras. Lavras, 2013.

ZERMIANI, V. **Análise da Biomassa Florestal e Determinação do Potencial de Ganho Energético através da Diminuição do seu Teor de Umidade**. Universidade Regional de Blumenau. Trabalho de Conclusão de Curso de Engenharia Florestal. Blumenau, 2007. 82 p.

ANEXO

IMAGENS DO EXPERIMENTO DE SECAGEM



Figura 1 – Floresta de *Eucalyptus dunnii*
Colhida para o experimento



Figura 2 – Montagem do Experimento



Figura 3 – Vista do Experimento, com
estação meteorológica no
primeiro plano



Figura 4 – Final do Experimento