

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE CIÊNCIAS RURAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
ENGENHARIA FLORESTAL**

**DESEMPENHO SILVICULTURAL E SELEÇÃO DE
CLONES DE *Eucalyptus* spp. PARA A QUALIDADE DA
MADEIRA**

TESE DE DOUTORADO

Rafael Beltrame

Santa Maria, RS, Brasil.

2012

**DESEMPENHO SILVICULTURAL E SELEÇÃO DE CLONES
DE *Eucalyptus* spp. PARA A QUALIDADE DA MADEIRA**

Rafael Beltrame

Tese apresentada ao Curso de Doutorado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Área de Concentração em Manejo Florestal (Qualidade da Madeira), da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM-RS), como requisito parcial para obtenção do grau de
Doutor em Engenharia Florestal.

Orientador: Prof. Clovis Roberto Haselein

Santa Maria, RS, Brasil.

2012

Ficha catalográfica elaborada através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Central da UFSM, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Beltrame, Rafael

Desempenho silvicultural e seleção de clones de Eucalyptus spp. para a qualidade da madeira / Rafael Beltrame.-2012.

136 p.; 30cm

Orientador: Clovis Roberto Haselein

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, RS, 2012

1. Deformação residual longitudinal 2. Rachadura 3. Seleção precoce 4. Ganho genético I. Haselein, Clovis Roberto II. Título.

**Universidade Federal de Santa Maria
Centro de Ciências Rurais
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal**

A Comissão Examinadora, abaixo assinada,
aprova a Tese de Doutorado

**DESEMPENHO SILVICULTURAL E SELEÇÃO DE CLONES DE
Eucalyptus spp. PARA A QUALIDADE DA MADEIRA**

elaborada por
Rafael Beltrame

Como requisito parcial para obtenção de grau de
Doutor em Engenharia Florestal

COMISSÃO EXAMINADORA:

Clovis Roberto Haselein, Dr.
(Presidente/Orientador)

Jackson Roberto Eleotério, Dr. (FURB)

Rômulo Trevisan, Dr. (UFSM/CESNORS)

Dilson Antônio Bisognin, Dr. (UFSM)

Merielen de Carvalho Lopes, Dra. (UFPel)

Santa Maria, 14 de dezembro de 2012.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por permitir a concretização de mais esta etapa em minha vida.

Aos meus pais Públio e Elisabete e aos meus irmãos Douglas e Fernando, pelo amor, incentivo, confiança e pela vida que me proporcionaram.

À minha noiva Marília, pelo amor, carinho, compreensão e, principalmente, pela companhia em momentos difíceis.

Ao meu orientador Prof. Clovis Roberto Haselein, pelas orientações, sugestões e confiança durante a elaboração deste trabalho.

Ao Prof. Darci Alberto Gatto, pela amizade e apoio.

Aos Professores Dilson Antônio Bisognin, Elio José Santini e Alberto Cargnelutti Filho, pelas importantes contribuições para o desenvolvimento do trabalho.

À empresa CMPC Celulose Riograndense, pela infraestrutura cedida, assistência técnica e fornecimento do material utilizado para a realização deste trabalho.

Ao pesquisador Gleison Augusto dos Santos, pela sua disposição.

Ao Engenheiro Florestal Lucas Zancan Pissinin, pelo suporte durante a coleta dos dados.

À Universidade Federal de Santa Maria e ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, que possibilitaram a realização do doutorado e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPQ), pelo apoio financeiro.

À Universidade Federal de Pelotas (UFPel), pela compreensão e liberações periódicas.

Aos Professores do curso de Engenharia Industrial Madeireira, Cristiane Pedrazzi, Leonardo da Silva Oliveira, Érika Ferreira da Silva, Marcos Muller, Merielen de Carvalho Lopes e Carlos Antônio Tillmann, pelo incentivo.

Aos colegas de laboratório Danilo, Magnos, Joel, Wesley, Felipe, Ediane e Dalva.

Aos Engenheiros Industriais Madeireiros Pedro Henrique Gonzalez de Cademartori, Eduardo Schneid e Bruno Dufau Mattos.

Aos funcionários Cerlene, Fabiana, Tarso, Nelson, Naira e Jorge, pela colaboração.

A todos citados que contribuíram de forma direta ou indireta para essa conquista.

Obrigado!

RESUMO

Tese de Doutorado
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal
Universidade Federal de Santa Maria, RS, Brasil

DESEMPENHO SILVICULTURAL E SELEÇÃO DE CLONES DE *Eucalyptus* spp. PARA A QUALIDADE DA MADEIRA

Autor: Rafael Beltrame

Orientador: Dr. Clovis Roberto Haselein

Data e Local da Defesa: Santa Maria, 14 de dezembro de 2012.

O estudo teve como objetivos avaliar o desempenho silvicultural de clones de *Eucalyptus* spp. e selecionar clones superiores visando à qualidade da madeira. O material utilizado foi procedente de um teste clonal de híbridos interespecíficos de *Eucalyptus* spp., conduzido no município de Tapes-RS, pertencente à empresa CMPC Celulose Riograndense. O povoamento foi implantado em agosto de 2003, com espaçamento inicial de 3,0 x 3,0 m, contendo 138 clones. Os clones foram avaliados e agrupados quanto ao diâmetro à altura do peito (DAP) e altura total (h), selecionando-se 29 deles para o estudo. Nas árvores, foram medidos o DAP, a h, a espessura de casca (EC), o módulo de elasticidade dinâmico (Ed) com auxílio do ultrassom e a deformação residual longitudinal (DRL) decorrente das tensões de crescimento. A DRL foi medida em árvores vivas, utilizando o extensômetro, pelo método CIRAD-Fôret. Em seguida, 58 árvores foram abatidas e desdobradas em toras para avaliação das rachaduras de topo e confecção de amostras para a realização dos testes físicos e mecânicos, conforme a norma D 143-94 - ASTM (2000). O índice de rachaduras de topo das toras (IRT) foi avaliado a campo, ensacando as extremidades dessas por um período de cinco dias para posterior medição. A estimativa dos componentes da variância fenotípica e o ganho indireto de seleção para os clones do estudo foram determinadas por meio da DRL, volume sem casca (Vsc), massa específica básica ponderada (ρ_{pond}) e IRT. Os clones apresentaram variabilidade genética suficiente para serem separados em grupos quanto ao DAP, aos três e aos sete anos, e quanto à h das árvores, aos sete anos de idade. A seleção precoce aos três anos após o plantio pode ser empregada para identificar clones de *Eucalyptus* spp. com melhor vigor de crescimento. A DRL apresentou variabilidade entre os clones, porém não apresentou correlações com as variáveis dendrométricas. O valor médio do IRT foi de 0,46%. A DRL apresentou alta correlação com a TCL e o IRT, entretanto, a ρ_{pond} e as propriedades mecânicas não apresentaram correlações com a DRL. Os clones pertencentes ao grupo 1, por apresentarem os menores níveis para a TCL e, conseqüentemente, menores IRTs, podem ser considerados potenciais para programas de melhoramento genético florestal. A seleção de clones realizada por meio das variáveis DRL, Vsc, ρ_{pond} e IRT proporcionaram ganhos genéticos satisfatórios, tanto para o melhoramento das características de crescimento quanto para a qualidade da madeira.

Palavras-chave: Deformação residual longitudinal. Rachadura. Seleção precoce. Ganho genético.

ABSTRACT

Doctoral Thesis
Graduate Program of Forest Engineering
Universidade Federal de Santa Maria, RS, Brasil.

SILVICULTURAL PERFORMANCE AND SELECTION OF *Eucalyptus* spp. CLONES FOR WOOD QUALITY

Author: Rafael Beltrame
Advisor: Dr. Clovis Roberto Haselein
Date and Local of Defence: Santa Maria, December 14, 2012.

The study aimed to evaluate the silvicultural performance of *Eucalyptus* spp. clones and select superior clones with higher quality of the wood. The material used for the study was from a clonal test of interspecific hybrids of *Eucalyptus* spp., in the municipality of Tapes - state of Rio Grande do Sul, belonging to company CMPC Celulose Riograndense. The forest stand was established in August 2003, with initial spacing of 3.0 x 3.0 m, containing 138 clones. The clones were grouped by the diameter at breast height (DBH) and overall height (h), and 29 of them were selected for the study. For the sampling of trees DBH, h, bark thickness (EC), dynamic modulus of elasticity (Ed) using ultrasound and longitudinal residual strain (DRL) resulting from growth stresses. The DRL was measured in living trees with the extensometer method CIRAD-Fôret. Afterwards, 58 trees were felled and broken into logs to evaluate end splitting planks were taken to prepare specimens for wood physical and mechanical properties according to D 143-94 - ASTM (2000) standards. The end logs splitting (IRT) was evaluated in the field, covering the logs end during five days for subsequent measurement. The phenotypic variance components and indirect gain selection estimate for the clones in this study were determined by DRL, wood volume (V_{sc}), basic density (ρ_{pond}) and IRT. The clones showed enough genetic variability to be separated into groups according to DHB at three and seven years, and for h at seven years of age. The early selection at three years after planting can be used to identify *Eucalyptus* spp. clones with best growth. The DRL showed variability among clones, but no correlation with the dendrometric variables. The mean value for IRT was 0.46%. The DRL was highly correlated with TCL and IRT, however the ρ_{pond} and mechanical properties showed no correlations with the DRL. The clones belonging to group 1, which present the lowest levels for TCL and consequently lower IRT, can be considered potential for forest breeding programs. Clone selection performed by the variable DRL, V_{sc} , ρ_{pond} and IRT, provided satisfactory genetic gains, by improving the growth characteristics or improving quality of the wood.

Keywords: Longitudinal residual strain. End splits. Early selection. Genetic gain.

LISTA DE TABELAS

Desempenho silvicultural e seleção precoce de clones de híbridos de *Eucalyptus* spp.

TABELA 2.1 - Análise de variância do experimento, com média, coeficiente de variação experimental (CVe), coeficiente de variação amostral (CVa), acurácia seletiva e herdabilidade, para diâmetro à altura do peito, aos três (DAP3) e aos sete (DAP7) anos de idade, e altura (h7) das árvores de 138 clones de <i>Eucalyptus</i> spp.....	50
TABELA 2.2 - Análise de variância do agrupamento, com média e coeficiente de variação, para os diâmetros à altura do peito, aos três (DAP3) e aos sete (DAP7) anos de idade, e altura (h7) das árvores de 138 clones de híbridos interespecíficos de <i>Eucalyptus</i> spp.	52
TABELA 2.3 - Médias do diâmetro à altura do peito, aos três (DAP3) e aos sete (DAP7) anos de idade, e altura (h7) das árvores dos grupos formados de híbridos interespecíficos de <i>Eucalyptus</i> spp.	53
TABELA 2.4 - Médias dos grupos selecionados de clones (MCS), médias originais dos clones (MCO), ganho genético (GS) e percentual (GS%) indireto na seleção de clones do grupo 1 e dos grupos 1 e 2, quanto ao diâmetro à altura do peito, aos três (DAP3) e aos sete (DAP7) anos de idade, e à altura (h7) das árvores de clones de híbridos interespecíficos de <i>Eucalyptus</i> spp.....	54

Tensão de crescimento e sua relação com as variáveis dendrométricas da madeira de *Eucalyptus* spp.

TABELA 3.1 - Agrupamento dos clones de <i>Eucalyptus</i> spp. com os respectivos números de clones e médias dos caracteres avaliados.	61
TABELA 3.2 - Descrição dos clones de <i>Eucalyptus</i> spp. selecionados para o estudo.	61
TABELA 3.3 - Resumo da análise de variância para o diâmetro à altura do peito (DAP), altura total (h), espessura de casca (EC) e volume sem casca (Vsc), para os clones de <i>Eucalyptus</i> spp.	66
TABELA 3.4 - Valores médios para o diâmetro à altura do peito (DAP), altura total (h), espessura de casca (EC) e volume sem casca (Vsc), para os clones de <i>Eucalyptus</i> spp.....	67
TABELA 3.5 - Resumo da análise de variância das leituras da deformação residual longitudinal (DRL) para os clones de <i>Eucalyptus</i> spp.	68
TABELA 3.6 - Valores médios das leituras da deformação residual longitudinal (DRL) para os clones de <i>Eucalyptus</i> spp.	69

TABELA 3.7 - Comparação de valores médios para a deformação residual longitudinal (DRL) obtidos por outros estudos.....	70
TABELA 3.8 - Correlação de Pearson entre a deformação residual longitudinal (DRL), diâmetro à altura do peito (DAP), altura total (h), espessura de casca (EC) e volume sem casca (Vsc).....	73
TABELA 3.9 - Estimativa da tensão de crescimento longitudinal (TCL) por meio da deformação residual longitudinal (DRL) e módulo de elasticidade dinâmico (Ed), para os clones de <i>Eucalyptus</i> spp.....	75

Tensão de crescimento e sua relação com as rachaduras de topo e as propriedades tecnológicas da madeira de *Eucalyptus* spp.

TABELA 4.1 - Propriedades, dimensões dos corpos de prova e velocidade dos ensaios utilizados na determinação das propriedades mecânicas.	89
TABELA 4.2 - Resumo da análise de variância dos índices de rachaduras de topo de toras (IRT), posições de retirada das toras na árvore e posições da secção transversal da tora (ponta grossa e ponta fina) para os clones de <i>Eucalyptus</i> spp.	91
TABELA 4.3 - Valores médios dos índices de rachaduras de topo de toras (IRT) para os clones de <i>Eucalyptus</i> spp.	93
TABELA 4.4 - Comparação de médias dos índices de rachaduras de topo de toras (IRT), referentes às posições da secção transversal na tora (ponta grossa e ponta fina) e a posições de retirada das toras de <i>Eucalyptus</i> spp.....	94
TABELA 4.5 - Resumo da análise de variância da massa específica básica (ρ_b) e posições no sentido axial (base – topo) para os clones de <i>Eucalyptus</i> spp.....	96
TABELA 4.6 - Valores médios da massa específica básica (ρ_b), por posição no sentido axial, e massa específica básica ponderada (ρ_{pond}), em função do volume comercial sem casca, para cada clone de <i>Eucalyptus</i> spp.....	97
TABELA 4.7 - Resumo da análise de variância para o módulo de elasticidade (Ec) e resistência máxima (fc) em compressão paralela à grã, módulo de elasticidade (MOE) e módulo de ruptura (MOR) em flexão estática, resistência ao cisalhamento e dureza janka, para os clones de <i>Eucalyptus</i> spp. a 12 % de umidade.	101
TABELA 4.8 - Valores médios de módulo de elasticidade (Ec) e resistência máxima (fc) em compressão paralela à grã, módulo de elasticidade (MOE) e módulo de ruptura (MOR) em flexão estática, resistência ao cisalhamento e dureza janka, para os clones de <i>Eucalyptus</i> spp. a 12 % de umidade.....	102

TABELA 4.9 - Comparativo entre as estimativas da tensão de crescimento longitudinal pelo módulo de elasticidade dinâmico (TCL_1) e as estimativas da tensão de crescimento longitudinal pelo módulo de elasticidade estático (TCL_2), para os clones de <i>Eucalyptus</i> spp.	104
TABELA 4.10 - Correlação de Pearson entre as variáveis do estudo.	107

Estimativa dos componentes da variância e ganho de seleção para qualidade da madeira de *Eucalyptus* spp.

TABELA 5.1 - Quadro de análise da variância com as estimativas de cada fonte de variação para as diferentes variáveis avaliadas.	117
TABELA 5.2 - Estimadores dos componentes da variação, da variância total e da herdabilidade das variáveis avaliadas.	118
TABELA 5.3 - Resumo da análise de variância e das estimativas dos componentes da variação, da variância total e da herdabilidade, para a deformação residual longitudinal (DRL), volume sem casca (V_{sc}), massa específica básica ponderada (ρ_{pond}) e índice de rachadura de topo de toras (IRT), para clones de <i>Eucalyptus</i> spp.	120
TABELA 5.4 - Valores médios para deformação residual longitudinal (DRL), volume sem casca (V_{sc}), massa específica básica ponderada (ρ_{pond}), índice de rachadura de topo de toras (IRT) e soma de postos para clones de <i>Eucalyptus</i> spp.	122
TABELA 5.5 - Média original dos clones (MCO), média dos clones selecionados (MCS), ganho genético (GS) e percentual (GS%) indireto de seleção pelo método da soma de postos, proposto por Mulamba e Mock (1978), para deformação residual longitudinal (DRL), volume sem casca (V_{sc}), massa específica básica ponderada (ρ_{pond}) e índice de rachadura de topo de toras (IRT), em clones de <i>Eucalyptus</i> spp.	124

LISTA DE FIGURAS

Desempenho silvicultural e seleção precoce de clones de híbridos de *Eucalyptus* spp.

- FIGURA 2.1 - Distribuição de frequências (na diagonal descendente da esquerda para a direita) e gráficos de dispersão do diâmetro à altura do peito aos três (DAP3) e aos sete (DAP7) anos de idade, e da altura (h7) das árvores, de 138 clones de *Eucalyptus* spp.....51

Tensão de crescimento e sua relação com as variáveis dendrométricas da madeira de *Eucalyptus* spp.

- FIGURA 3.1 – Medição da velocidade de propagação da onda nas árvores de *Eucalyptus* spp.; (a) equipamento de ultrassom; (b) procedimentos utilizado para as medições.63
- FIGURA 3.2 - Sequência (esquerda para direita) realizada para mensuração da deformação residual longitudinal nas árvores de *Eucalyptus* spp.65
- FIGURA 3.3 – Valores médios da deformação residual longitudinal (DRL) para os três grupos de clones de *Eucalyptus* spp..72
- FIGURA 3.4 - Estimativa dos valores médios da tensão de crescimento longitudinal (TCL) para os três grupos de clones de *Eucalyptus* spp.....76

Tensão de crescimento e sua relação com as rachaduras de topo e as propriedades tecnológicas da madeira de *Eucalyptus* spp.

- FIGURA 4.1 - Visualização do tronco e a forma de seccionamento das toras de *Eucalyptus* spp. retiradas para avaliação das rachaduras de topo.....83
- FIGURA 4.2 - Toras de *Eucalyptus* spp.; (a) proteção das extremidades das toras com sacos plásticos; (b) identificação da ponta grossa e ponta fina.84
- FIGURA 4.3 - Avaliação dos índices de rachaduras de topo das toras de *Eucalyptus* spp.; (a) comprimento das rachaduras na seção transversal; (b) abertura máxima no topo das toras.85
- FIGURA 4.4 - Desdobro das toras de *Eucalyptus* spp.; (a) equipamentos utilizados; (b) pranchões destinados aos ensaios mecânicos.86
- FIGURA 4.5 - Amostragem para a determinação da massa específica básica; (a) representação da posição de retira dos discos; (b) discos identificados em razão da posição de retirada.....87
- FIGURA 4.6 - Valores médios do índice de rachaduras de topos de toras (IRT) para os três grupos de clones de *Eucalyptus* spp.95

FIGURA 4.7 - Valores médios da massa específica básica (ρ_b) referente às posições no sentido axial para os clones de <i>Eucalyptus</i> spp.....	99
FIGURA 4.8 - Valores médios da massa específica básica ponderada (ρ_{pond}) para os três grupos de clones de <i>Eucalyptus</i> spp.....	100
FIGURA 4.9 - Estimativa dos valores médios da tensão de crescimento longitudinal (TCL) pelo módulo de elasticidade estático para os três grupos de clones de <i>Eucalyptus</i> spp.....	106

LISTA DE APÊNDICE

APÊNDICE A - Relação dos 138 clones de *Eucalyptus* spp. pertencentes a cada grupo e seus respectivos parâmetros estatísticos para DAP3, DAP7 e h7 das árvores... 134

SUMÁRIO

1	ASPECTO GERAIS	25
1.1	Introdução geral	25
1.2	Revisão de literatura	27
1.2.1	Eucalipto.....	27
1.2.2	Tensões de crescimento	29
1.2.2.1	Origem das tensões de crescimento.....	29
1.2.2.2	Função das tensões de crescimento no interior da árvore	30
1.2.2.3	Causas das tensões de crescimento	31
1.2.2.4	Consequência das tensões de crescimento na madeira.....	32
1.2.2.5	Minimização dos efeitos das tensões de crescimento	33
1.2.2.6	Métodos não destrutivos para a determinação das tensões de crescimento	34
1.2.2.7	Variáveis dendrométricas	36
1.2.2.8	Propriedades tecnológicas da madeira	37
1.2.3	Melhoramento genético e qualidade da madeira.....	38
1.3	Referências	40
2	DESEMPENHO SILVICULTURAL E SELEÇÃO PRECOCE DE CLONES DE HÍBRIDOS DE <i>Eucalyptus</i> spp.....	47
2.1	Introdução	47
2.2	Material e métodos	48
2.2.1	Área do estudo.....	48
2.2.2	Obtenção dos dados.....	49
2.2.3	Análise estatística	49
2.3	Resultados e discussão.....	49
2.4	Conclusões	55
2.5	Referências	55
3	TENSÃO DE CRESCIMENTO E SUA RELAÇÃO COM AS VARIÁVEIS DENDROMÉTRICAS DA MADEIRA DE <i>Eucalyptus</i> spp.	59
3.1	Introdução	59
3.2	Material e métodos	60
3.2.1	Seleção dos clones.....	60
3.2.2	Variáveis dendrométricas	62

3.2.3	Módulo de elasticidade dinâmico	63
3.2.4	Deformação residual longitudinal.....	64
3.2.5	Estimativa da tensão de crescimento longitudinal.....	65
3.2.6	Análise estatística	65
3.3	Resultados e discussão	66
3.3.1	Variáveis dendrométricas	66
3.3.2	Deformação residual longitudinal.....	68
3.3.3	Correlações entre a DRL e as variáveis dendrométricas.....	72
3.3.4	Estimativa da tensão de crescimento longitudinal	74
3.4	Conclusões	76
3.5	Referências	77
4	TENSÃO DE CRESCIMENTO E SUA RELAÇÃO COM AS RACHADURAS DE TOPO E AS PROPRIEDADES TECNOLÓGICAS DA MADEIRA DE <i>Eucalyptus</i> spp.81	
4.1	Introdução	81
4.2	Material e métodos.....	82
4.2.1	Deformação residual longitudinal.....	82
4.2.2	Índices de rachaduras de topo	83
4.2.3	Seccionamento e desdobro das toras	85
4.2.4	Propriedades físicas da madeira.....	86
4.2.5	Propriedades mecânicas	88
4.2.6	Estimativa da tensão de crescimento longitudinal	89
4.2.7	Análise estatística	90
4.3	Resultados e discussão	90
4.3.1	Deformação residual longitudinal.....	90
4.3.2	Índice de rachaduras de topo	91
4.3.3	Massa específica	96
4.3.4	Propriedades mecânicas	100
4.3.5	Estimativa da tensão de crescimento longitudinal	103
4.3.6	Correlações entre as variáveis do estudo	106
4.4	Conclusões	108
4.5	Referências	109
5	ESTIMATIVA DOS COMPONENTES DA VARIÂNCIA E GANHO DE SELEÇÃO PARA QUALIDADE DA MADEIRA DE <i>Eucalyptus</i> spp.....115	
5.1	Introdução	115

5.2	Material e métodos	116
5.2.1	Variáveis estudadas.....	116
5.2.2	Estimativas dos componentes da variância	117
5.2.3	Ganhos de seleção	118
5.3	Resultados e discussão	119
5.3.1	Estimativa dos componentes de variância.....	119
5.3.2	Ganhos de seleção	124
5.4	Conclusões	125
5.5	Referências	126
6	CONCLUSÃO GERAL	129
7	RECOMENDAÇÕES	131
8	APÊNDICES	133

1 ASPECTOS GERAIS

1.1 Introdução geral

A procura de informações sobre a utilização econômica e sustentável da madeira de espécies florestais, sobretudo daquelas de rápido crescimento, permitem ganhos para a conservação de florestas nativas, atualmente suprimidas. O aproveitamento racional das florestas, mediante a adoção de técnicas silviculturais, manejo e aplicação de tecnologias em seu processamento, geram melhorias, reduzindo perdas e, especialmente, gerando um produto final de melhor qualidade.

No passado, a silvicultura e o manejo florestas tinham como foco, a maximização do volume de fuste comercializável, enquanto a qualidade da madeira era considerada superficial (DOWNES et al., 1999). Com o passar dos anos, observam-se maiores esforços direcionados para o entendimento dos efeitos genéticos e de manejo sobre a qualidade da madeira.

Dentre as inúmeras pesquisas aplicadas à melhoria da madeira voltada para a produção de sólidos, destaca-se o melhoramento associado à genética florestal e, principalmente, os estudos ligados à tecnologia. Os avanços podem ser notados nos diferentes produtos à base de madeira, nos mais diversos usos e aplicações, desde a construção civil até móveis com fino acabamento (GONÇALVES, 2006).

O gênero *Eucalyptus* apresenta destaque no setor madeireiro por apresentar atributos que o tornam importante fonte de matéria-prima fabril, entre os quais, destacam-se sua capacidade produtiva e sua adaptabilidade a diversos ambientes, o que possibilita atender a requisitos tecnológicos dos mais diversos segmentos do setor (ASSIS, 1999).

A madeira desse gênero apresenta uma diversidade de características anatômicas e de crescimento que modificam suas propriedades físicas, mecânicas e químicas. Entretanto, mesmo dentro de uma mesma espécie, as propriedades podem variar, fazendo com que determinadas progênies ou procedências sejam apropriadas para um determinado processo industrial e que outras sejam totalmente descartadas.

Todavia, heterogeneidades discrepantes dificultam seu uso e industrialização. Assim, a busca de materiais genéticos que produzam madeiras homogêneas deve ser um objetivo para a melhoria da qualidade da madeira.

O potencial do eucalipto para produção de madeira serrada está vinculado à grande diversidade de espécies e à alta capacidade de geração de híbridos. Essa diversidade permite o uso de tecnologias adequadas de processamento e usinagem, que se mostram promissoras na solução ou diminuição de defeitos, tais como rachaduras e empenos. Defeitos estes que estão associados, em grande parte, a tensões de crescimento, as quais são uma característica que contribui significativamente para a depreciação do valor da madeira de rápido crescimento (TRUGILHO et al., 2006).

As tensões de crescimento são responsáveis, em grande proporção, pelos defeitos que ocorrem com a madeira de eucalipto nas fases de processamento, sendo observados nas toras, após o abate das árvores e, principalmente, nas tábuas, durante as operações de desdobro em serraria. Em determinadas circunstâncias, esses defeitos podem chegar a inviabilizar a entrada da madeira sólida de eucalipto no mercado de madeira serrada (LISBOA, 1993; TEJADA et al., 1997; LIMA et al., 2004).

A avaliação dos níveis de tensões de crescimento nas árvores de eucalipto apresenta grande importância, pois resultará na seleção de materiais menos propensos a manifestações de defeitos ocasionados na sua grande maioria pelas tensões, durante o seu processamento industrial. Nesse sentido, torna-se importante conhecer a variabilidade dessas tensões em populações de eucalipto, para que se possa utilizar corretamente o eucalipto e melhorá-lo geneticamente, buscando, assim, uma seleção de madeira de qualidade que viabilize seu uso e industrialização.

Dessa forma, para auxiliar programas de melhoramento genético, esse estudo teve como objetivos avaliar o desempenho silvicultural de um experimento de clones de *Eucalyptus* spp. e selecionar clones superiores visando à qualidade da madeira.

Entre os objetivos específicos, destacam-se os seguintes:

a) avaliar a variabilidade genética e o desempenho silvicultural, para estudar a viabilidade da seleção precoce; b) avaliar a intensidade das tensões de crescimento e verificar sua relação com as variáveis dendrométricas da madeira; c) determinar os níveis de deformações residuais longitudinais, os índices de rachaduras de topo em toras, as propriedades tecnológicas, as estimativas das tensões de crescimento longitudinal e as correlações entre essas variáveis; d) estimar os componentes da variância fenotípica e o ganho genético de seleção para a identificação de clones que combinam crescimento e qualidade da madeira.

Para alcançar tais objetivos, o estudo foi dividido em capítulos:

- Desempenho silvicultural e seleção precoce de clones de híbridos de *Eucalyptus* spp. (Capítulo I – item 2);
- Tensão de crescimento e sua relação com as variáveis dendrométricas da madeira de *Eucalyptus* spp. (Capítulo II – item 3);
- Tensão de crescimento e sua relação com as rachaduras de topo e as propriedades tecnológicas da madeira de *Eucalyptus* spp. (Capítulo III – item 4);
- Estimativa dos componentes da variância e ganho de seleção para qualidade da madeira de *Eucalyptus* spp. (Capítulo IV – item 5);

1.2 Revisão de literatura

1.2.1 Eucalipto

O eucalipto pertencente à família Myrtaceae, contém aproximadamente 600 espécies do gênero *Eucalyptus*, 113 do gênero *Corymbia* e 13 do gênero *Angophora*, apresentando diversas variedades, híbridos naturais e artificiais (VITTI et al., 2002). Por ser adaptado às mais diversas condições de ambiente, o eucalipto está entre os gêneros de espécies florestais mais estudados e cultivados em todo o mundo. Este é natural da Austrália, e somente duas espécies são exclusivamente nativas da Nova Guiné e das Filipinas (LAMPRECHT, 1990).

Os gêneros compreendem um grande número de espécies, com madeiras de características físico-mecânicas e estéticas bastante diferenciadas, o que permite a substituição de várias espécies nativas (PEREIRA et al., 2000).

Das características gerais apresentadas pela madeira de eucalipto, destaca-se o alburno delgado, com menos de 3 cm de espessura e de coloração clara. O cerne apresenta cor variando desde amarelado até vários tons pardo-avermelhados e vermelhos. A madeira exibe pouco brilho, possui grã direita e textura de fina a média. Varia desde macia a moderadamente dura ao corte e proporciona cheiros e gostos distintos. Quanto à massa específica aparente, esta varia desde as mais leves, passando pela média, até pesadas, variando de 0,40 a 1,20

g/cm³. Um aspecto positivo em relação à madeira de eucalipto é o seu grande espectro de propriedades, em função das diferentes espécies que são facilmente cultivadas no país. Tem-se desde madeiras leves e de baixa durabilidade natural até aquelas madeiras aptas às utilizações estruturais e de relativa durabilidade, mesmo sem serem preservadas (OLIVEIRA et al., 1999).

Segundo Lopes (2003), a descoberta da madeira de eucalipto foi considerada um avanço para o setor florestal no sentido de que esse material é tecnologicamente viável para atender às indústrias moveleiras e a construção civil.

No Brasil, mais especificamente na região centro-sul do país, o eucalipto tem sido utilizado como principal fonte de matéria-prima para a indústria de celulose e papel, desde meados do século XX. Isso deve-se à sua ampla capacidade de adaptação, rápido desenvolvimento, à alta produtividade e qualidade dos produtos obtidos (VALERA; KAGEYAMA, 1988).

De acordo com Stahl et al. (2003), o cultivo de povoamentos desse gênero originou-se não somente devido ao escasseamento e à conseqüente elevação dos custos de madeiras nobres, mas também pela crescente preocupação de conservação das espécies nativas. Isso porque se trata de uma espécie florestal de rápido crescimento, boa adaptação às condições edafoclimáticas, cuja madeira apresenta facilidade de utilização para diversas finalidades.

Apesar do eucalipto conter inúmeros atributos para fins madeireiros, existem limitações impostas pelas tensões de crescimento, que são muito comuns nesse gênero. As tensões de crescimento são responsáveis pelo aparecimento de rachaduras e empenamentos que dificultam a utilização do eucalipto na produção de madeira serrada (MALAN, 1995).

Porém, os altos níveis das tensões de crescimento não são exclusivos dos eucaliptos, ocorrendo em diversas folhosas, sendo que algumas espécies apresentam tensões mais intensas do que outras. Foram observados sinais evidentes de tensão de crescimento em mogno (*Swietenia macrophylla*), jatobá (*Hymenaea* sp), andiroba (*Carapa guianensis*), cedro (*Cedrela* sp), tatajuba (*Bagassa guianensis*) e cupiúba (*Goupia glabra*) e, evidentemente, nos eucaliptos (PONCE, 1995).

1.2.2 Tensões de crescimento

1.2.2.1 Origem das tensões de crescimento

Há muitos anos, pesquisadores vêm estudando as origens e as causas das tensões de crescimento, além de seus efeitos, já que muitas espécies as apresentam em grande intensidade. A primeira tentativa de explicar a origem das tensões de crescimento foi empreendida por Martley, em 1928, ao observar as curvaturas que ocorriam após os cortes de pranchas de olmo (*Ulmus minor*). Martley considerou, inicialmente, que as tensões poderiam ser causadas pelo aumento do peso da árvore durante o crescimento. Entretanto, após alguns estudos, concluiu que o peso da árvore produziria apenas pequenas frações das tensões de crescimento (DINWOODIE, 1966; BOYD, 1972; CHAFE, 1977).

De acordo com Conradie (1980), Jacobs (1938) foi um dos primeiros pesquisadores a sugerir que a origem das tensões de crescimento seja o resultado de possível encurvamento da nova camada de crescimento da madeira, e que esse fenômeno da mudança dimensional ocorre em um determinado estágio de desenvolvimento da célula.

Boyd (1950) criticou a teoria de Jacobs (1945), pois esse autor considerou que as forças de sucção nas árvores são maiores nos topos, onde as tensões deveriam apresentar uma distribuição semelhante, o que não é o caso. Jacobs (1945) também afirmava que as forças de sucção consideradas para a formação de tensão são capazes de causar colapsos nas fibras, o que também não acontece normalmente.

Já Wilhelmy e Kubler (1973) descrevem que as origens das tensões de crescimento estão ligadas à região cambial dos troncos das árvores, produzidas nas microfibrilas durante a maturação das paredes celulares. Dessa forma, as fibras contraírem-se longitudinalmente e, simultaneamente, expandirem-se lateralmente.

Segundo Chafe (1977), as tensões são desenvolvidas no xilema e são distribuídas ortotropicamente no caule em direções longitudinais, radiais e transversais. Dependendo de sua localização dentro do caule, as tensões podem ser de tração ou de compressão.

Para Hillis e Brown (1978), o surgimento das tensões de crescimento ocorre na fase de lignificação das células do câmbio. Ao ser depositada a lignina nas paredes transversais das células, essas se expandem, provocando uma retração no sentido axial. As células vizinhas, já com uma maior rigidez, restringem a diminuição do comprimento celular, gerando tensões de tração longitudinal, às quais vão se formando, sucessivamente, nas camadas de células recém formadas, corroborando a hipótese de Wilhelmy e Kubler (1973).

Wilkins (1986), por sua vez, comenta que, enquanto os pesquisadores mais antigos atribuíram a origem das tensões de crescimento ao peso da árvore, à tensão do alburno e ao encurtamento longitudinal das células, somente a última hipótese tem sido geralmente aceita.

1.2.2.2 Função das tensões de crescimento no interior da árvore

As tensões de crescimento apresentam como principal função fornecer um suporte para a árvore, durante sua vida. Através da sua ativação, a árvore regula a posição da copa em resposta às condições ambientais que lhe são impostas. Como as árvores estão imóveis, a ação das tensões em um de seus lados, permite que a mesma se curve numa direção mais favorável, embora árvores de grande diâmetro necessitem de vários anos para, lentamente, se endireitarem (KUBLER, 1987).

As tensões de crescimento atuam na madeira como forças existentes no interior dos troncos das árvores vivas, localizadas no câmbio durante a formação da madeira (MAEGLIN, 1987), servindo para a árvore manter-se ereta. Essas tensões aumentam, em grande parte, durante o crescimento inicial das árvores, que, quando cortadas, são liberadas, podendo ser visualizadas na seção axial do tronco (KUBLER, 1987; LATORRACA e ALBUQUERQUE, 2000; SANTOS 2002; RAYMOND et al., 2004).

Para Rech e Silva (2001) as tensões de crescimento constituem um mecanismo apresentado pelas folhosas arbóreas para que permaneçam em pé. As tensões ainda estão presentes em troncos de muitas árvores, porém, seu impacto é bem maior em folhosas do que em coníferas, o que as caracteriza como fenômeno de folhosas (LATORRACA; ALBUQUERQUE, 2000).

Souza (2002) constatou que as tensões são esforços mecânicos gerados durante o crescimento da árvore, que ajudam a manter a estabilidade da copa, em resposta a agentes ambientais (luz, vento e inclinação do terreno) e a agentes silviculturais (desbaste, poda e densidade de plantio).

Já a Sociedade Americana de Ciência Florestal definiu as tensões de crescimento como forças encontradas nos troncos lenhosos verdes. Dessa maneira, são distintas das tensões e deformações que ocorrem na madeira, como resultados da eliminação de água pela secagem (DINWOODIE, 1966). Ou seja, as tensões são características do crescimento natural das árvores e ocorrem tanto em coníferas como em folhosas, sendo mais acentuadas nestas últimas (JACOBS, 1945).

Lima et al. (2004) descreveram as tensões de crescimento como forças que agem naturalmente sobre os tecidos das árvores, de forma a mantê-las íntegras e eretas, garantindo resistência à ruptura mecânica e à flexão no tronco, gerando resistência contra a incidência de ventos. Essas tensões nas partes mais externas dos fustes fazem o papel de uma armadura de aço nas colunas de concreto, sendo fundamentais para que os fustes das árvores não se quebrem facilmente quando submetidas a esforços laterais.

1.2.2.3 Causas das tensões de crescimento

Para Opie et al. (1984) as principais causas das altas tensões de crescimento nas árvores não são bem conhecidas, mas há suspeitas de que estejam relacionadas a fatores genéticos, idade, dimensões da tora, inclinação do fuste e taxa de crescimento.

Fernandes (1982) relaciona as causas das tensões de crescimento a fatores genéticos, pois estudou as tensões de crescimento em progênies de *Eucalyptus urophylla* e detectou variação na intensidade de rachaduras, nas extremidades das pranchas centrais. As variações dentro das progênies foram maiores do que entre progênies. Atento ao fato de que o índice de rachadura das peças serradas reflete o nível interno de tensão de crescimento, concluiu que existe um controle genético da intensidade de tensão de crescimento.

Segundo Shonau e Coetzee (1989), os elevados níveis das tensões de crescimento da madeira estão ligados ao seu genótipo, idade, tamanho da tora, taxa de crescimento e inclinação da árvore. Essas podem se agravar, dependendo das práticas silviculturais, das condições de crescimento e dos métodos de abate adotados. Ponce (1995) atribui as tensões de crescimento e suas consequências na madeira de eucalipto às elevadas taxas de crescimento. Já Del Menezzi (1999) descreve que os fatores externos, ambientais e ou silviculturais podem influenciar a intensidade das tensões de crescimento, a saber: a taxa de crescimento, a desrama, o desbaste, o espaçamento, o tipo de solo e os ventos.

Rocha (2000) considera que as maiores ou menores manifestações das tensões de crescimento estão associadas a uma série de características, inerentes à espécie e aos tratamentos silviculturais e de exploração. Porém, existem algumas controvérsias entre os pesquisadores sobre quais os fatores mais importantes e seus níveis de influência sobre as tensões de crescimento.

São poucos os trabalhos que quantificam os efeitos genéticos das tensões de crescimento (FERNANDES, 1982; MALAN, 1984). Embora os eucaliptos autodesenvolvam, em geral, elevados níveis de tensões de crescimento, algumas de suas espécies, como o *Eucalyptus muellerana*, apresentam baixos níveis dessas tensões (HASLETT, 1988).

1.2.2.4 Consequência das tensões de crescimento na madeira

Um dos principais fatores relacionados à desvalorização da madeira serrada são os altos níveis de tensões de crescimento presentes na madeira. Tais tensões desenvolvem defeitos, como rachaduras e empenamentos que, na maioria das vezes, estão associados às tensões internas geradas durante o crescimento da árvore, que se manifestam após seu abate e, em maior intensidade, naqueles indivíduos mais jovens. O resultado dessas tensões reflete-se na diminuição do rendimento em madeira serrada e, em certos casos, provoca a sua inutilização na indústria de transformação, levando ao aumento dos custos de produção (TRUGILHO et al., 2006).

Kubler (1973), Jara et al. (1997) e Lima et al. (2000) afirmaram que, após o abate e seccionamento de uma árvore em toras, a zona próxima à casca tende a se retrair longitudinalmente, enquanto a zona central da tora, antes sob compressão, tende a se expandir. Deste modo, as faces das extremidades da tora tomam a forma côncava, e ocorre a manifestação das rachaduras.

Segundo Aguiar (1986), essas rachaduras são as mais evidentes manifestações da existência das tensões naturais de crescimento, associadas ou não às tensões de secagem. Já Baena (1982) afirma que defeitos como rachaduras e empenamentos estão associados às tensões internas que se manifestam após a derrubada das árvores, com maior intensidade nas idades mais jovens, diminuindo consideravelmente com o amadurecimento da árvore.

Da mesma forma, Oliveira et al. (1999) relatam que as tensões de crescimento são, sem dúvida, um dos principais fatores que contribuem para a depreciação da madeira serrada, principalmente a de eucalipto, pois árvores com elevadas tensões desenvolvem fissuras radiais durante e após a derrubada, particularmente se a árvore é mantida diretamente em contato com o solo. Essas fissuras de topo ocorrem dentro de uma semana após a derrubada.

Conforme Vermaas (2000), a mais importante limitação técnica do uso da madeira de eucalipto refere-se aos elevados índices de tensões de crescimento, que constituem o principal fator de redução de rendimento industrial. O mesmo autor relata que isso é um problema

próprio e inerente ao uso de florestas imaturas, nas quais os níveis de tensões de crescimento manifestam-se de forma mais proeminente que em florestas maduras.

Segundo Latorraca e Albuquerque (2000), o impacto das tensões de crescimento sobre a madeira resulta no aparecimento de rachaduras de topo e de rachaduras internas, no momento em que a pressão (tensão) está sendo liberada, ou seja, no momento em que a árvore está sendo derrubada. Alguns casos, as árvores podem rachar com o impacto da queda ao solo.

Para Oliveira et al. (1999), as árvores com elevados níveis de tensões de crescimento desenvolvem rachaduras radiais durante e após o abate, principalmente se a madeira é mantida diretamente exposta ao sol. Essas rachaduras de topo, normalmente, ocorrem dentro de uma semana após o abate. Na operação de desdobro, podem ocorrer fendilamentos adicionais, além de empenamentos nas tábuas, devido às tensões residuais existentes nas toras.

Embora o gênero *Eucalyptus* represente uma alternativa potencial ao abastecimento do mercado madeireiro, sua madeira apresenta restrições próprias e inerentes ao uso de florestas jovens, onde os níveis de tensões de crescimento se manifestam de forma mais acentuada. As perdas significativas de madeira em função das rachaduras associadas às tensões e aos defeitos de secagem têm sido consideradas uma das principais limitações para a utilização econômica das espécies de *Eucalyptus* (ASSIS, 1999).

1.2.2.5 Minimização dos efeitos das tensões de crescimento

Muitas são as alternativas para minimizar os efeitos das tensões de crescimento em árvores de eucalipto. Tais operações são realizadas desde o momento da derrubada da árvore até as técnicas de desdobro utilizadas. É de consenso, também, que, ao se reduzir ou minimizar os efeitos das tensões de crescimento, muitos dos problemas e defeitos que ocorrem no processamento são minimizados, proporcionando maior rendimento e qualidade da madeira serrada. Desta forma, pesquisas são realizadas, a fim de obter condições e técnicas de controle das tensões de crescimento (ROCHA, 2000).

Pesquisas têm sido direcionadas à ampliação dos conhecimentos acerca de técnicas para a minimização de fendas no topo, causadas pela liberação das tensões internas de crescimento, no sentido de melhorar o aproveitamento da madeira de eucalipto. Por outro lado, inúmeras espécies de eucalipto têm sido estudadas quanto ao comportamento em processamento (IWAKIRI et al., 1999).

De acordo com Jara et al. (1997), foram realizadas várias pesquisas técnicas com o objetivo de prevenir ou evitar rachaduras nas toras de *Eucalyptus* spp., eliminando as tensões internas presentes nas mesmas. Entre elas, pode-se citar o anelamento da árvore antes da derrubada e secionamento do tronco, armazenamento sob aspensão e imersão total das toras, furação central da tora, rasgamentos laterais, armazenamento na sombra e uso de conectores nas extremidades das toras, entre outros.

Outras técnicas também podem reduzir ou eliminar as tensões de crescimento, como o desfolhamento da árvore por determinado período antes da derrubada da mesma, a vaporização das toras ou sua imersão em água quente por um período de 24 horas. Logo após a obtenção das toras e do tratamento térmico, essas podem ser desdobradas ou desenroladas (OLIVEIRA et al., 1999).

Uma alternativa para o controle das elevadas tensões de crescimento em árvores de eucalipto está diretamente ligada ao melhoramento genético, sendo empregada a seleção de material com menores ocorrência de tensões. Assim, técnicas que possibilitem o conhecimento prévio das tensões em indivíduos ainda no campo, como o método não destrutivo, vêm contribuir para minimização dessas possíveis perdas de madeira, sem a necessidade de grandes investimentos e, ainda, com a possibilidade de clonagem de tais indivíduos, o que garantiria a homogeneidade da produção (GONÇALVES, 2007).

1.2.2.6 Métodos não destrutivos para a determinação das tensões de crescimento

Existem na literatura alguns métodos para se medir as tensões de crescimento, sendo uns considerados mais simples e práticos, e outros, mais difíceis e complicados. Esses métodos se baseiam na determinação indireta das tensões de crescimento, tanto nas toras, após a derrubada (destrutivos), como no tronco das árvores vivas (não destrutivos) (TRUGILHO et al., 2004).

Algumas tensões de crescimento são determinadas a partir da medição da alteração nos comprimentos de peças de madeira, após a liberação de suas junções a outros elementos vizinhos, dentro de um tronco de uma árvore. Em consequência, os processos de medições utilizados determinam as deformações e não as tensões (LISBOA, 1993).

Os métodos não destrutivos são relativamente simples, de execução rápida, com efeito destrutivo somente local, podendo ainda ser aplicado na própria árvore. As deformações residuais longitudinais (DRL) podem ser determinadas através da liberação das tensões

encontradas no tronco das árvores. As medições das deformações periféricas no tronco englobam somente a madeira mais recentemente formada (ARCHER, 1986).

A técnica não destrutiva, desenvolvida pelo Departamento do Centro de Cooperação Internacional em Pesquisas Agronômicas para o Desenvolvimento – CIRAD, pertencente ao “Centre Technique Forestier Tropical” (França), apresenta como vantagem, a facilidade de uso e a rapidez na coleta de dados, já que a avaliação é feita na árvore em pé. Esse método baseia-se na determinação da DRL, mensurada pelo extensômetro (medidor de deformações de crescimento) a uma distância fixa, a qual é diretamente proporcional à tensão de crescimento na direção longitudinal (TRUGILHO et al., 2004).

Nesse método, é possível examinar detalhadamente as tensões circunferenciais ao longo do comprimento de toras e árvores, permitindo a comparação entre árvores e o acompanhamento de alterações que possam ocorrer em tratamentos para redução e para seleção daquelas com baixas tensões, com fins a estudos genéticos e de utilização em experimentos de propagação vegetativa. A perfuração dos orifícios fornece uma estimativa da total liberação das deformações próximas a eles, 15% inferior ao valor obtido com a remoção completa da peça de madeira (NICHOLSON, 1971).

Conseqüentemente, esse método é indicado para trabalhos de campo, em que se deseja obter a intensidade aproximada das deformações de crescimento, sua distribuição periférica e sua variação entre árvores e espécies. Pode ser ainda utilizado para a seleção de árvores para posterior desdobro, para o emprego de técnicas de clonagem ou na tentativa de se estabelecer relações entre a magnitude das tensões de crescimento e caracteres de crescimento facilmente mensuráveis, tais como o DAP e a altura total (GONÇALVES, 2007).

Cabe ressaltar que a DRL é uma medida indireta da tensão de crescimento. Uma vez determinada a DRL de uma peça, quando ainda no interior da árvore, basta multiplicar este valor pelo correspondente módulo de elasticidade (E), determinado na própria peça em que foi medida a alteração de comprimento, ou simplesmente, pelo valor médio deste módulo, determinado em laboratório para a espécie em questão, sendo este o resultado da tensão de crescimento (LISBOA, 1993).

Existem outros métodos não destrutivos utilizados para determinar as tensões de crescimento citados na literatura. Um deles é o *Strain Gauge*, que mede a tensão através da compressão de fibras. Outro é o *Stress Wave Timer*, que registra a velocidade da onda de tensão percorrida em um corpo (SOUZA, 2006).

Conforme Trugilho et al. (2004), a utilidade dos métodos não destrutivos tem reflexo tanto na área de Ciência e Tecnologia da Madeira quanto na de Melhoramento Florestal. Na área de Tecnologia da Madeira sua importância é caracterizada pelo estudo da distribuição dessas forças ao longo do tronco e de suas relações com outras características da madeira. Para o Melhoramento Florestal, esse método possibilita a seleção do material genético com as características desejáveis, tais como a menor propensão de defeitos.

1.2.2.7 Variáveis dendrométricas

Para Shield (1995) é reconhecido que, com o aumento do diâmetro da tora, obtido por desbaste ou ampliação do prazo de rotação, os efeitos da tensão de crescimento são reduzidos. Conforme Van Wyk (1978), toras de maior diâmetro apresentam maiores potenciais para produzir tábuas de melhor qualidade do que toras de pequeno diâmetro.

Fernandes et al. (1986), estudando a relação entre os níveis de tensão de crescimento e os diâmetros de toras de *Eucalyptus saligna*, encontraram relações significativas, pois as deformações causadas pelas tensões de crescimento diminuíram com o aumento do diâmetro da tora. Já Chafe (1981), encontrou em estudos efetuados com *Eucalyptus regnans*, existir uma relação direta entre a altura e a tensão de crescimento.

Os índices que refletem o nível de tensões de crescimento apresentam três padrões de variação com a altura da árvore. Uma das tendências é a de diminuir com a altura (CHAFE, 1985); outra é a de aumentar até o meio da árvore e, a partir desse ponto, diminuir (YAO, 1979; MALAN, 1984); e a última é de aumentar com a altura (CHAFE, 1981).

Para Malan (1979), outros parâmetros que influenciam a tensão de crescimento e, conseqüentemente, os defeitos que ocorrem na madeira, incluem o incremento anual e a idade. O mesmo autor, em pesquisa com espécies de eucalipto, observou uma pequena, mas significativa, correlação positiva entre o incremento médio anual (IMA) e as rachaduras de topos de toras.

Segundo Kollmann e Coté (1968), as propriedades mecânicas da madeira são influenciadas por diversos fatores, dos quais a idade se apresenta como um dos mais importantes. Com o aumento da idade, as fibras tornam-se mais longas e a madeira mais estável, bem como aumentam a densidade no sentido medula-casca em eucalipto e a resistência mecânica, entre outras mudanças.

Sella (2001) reiterou que as rotações longas de plantações de eucalipto proporcionam maiores diâmetros das toras, beneficiando a qualidade e acarretando maiores rendimentos no desdobro, além de maior estabilidade da madeira, devido à maior quantidade de cerne, possibilitando, ainda, a obtenção de produtos de maior valor agregado, pela proporção de madeira limpa, de qualidade superior.

Outro fator possivelmente correlacionado às tensões são os espaçamentos adotados para implantações de plantios florestais. Várias pesquisas sobre espaçamentos foram realizadas na tentativa de se verificar qual seria a área mínima a ser ocupada por planta, de modo a maximizar a produção. Portanto, o espaçamento escolhido para o plantio se torna importante, já que plantios com grandes espaçamentos apresentam menores índices de tensões e, conseqüentemente, melhor qualidade do produto final (MIRANDA; NAHUS, 1999).

1.2.2.8 Propriedades tecnológicas da madeira

Todas as espécies produtoras de madeira possuem variações naturais em suas características tecnológicas, que são provenientes de diferenças genotípicas, bem como de diferentes respostas às condições ambientais sob as quais a árvore está se desenvolvendo (PANSHIN; DE ZEEUW, 1970).

Alguns estudos tentaram relacionar a tensão de crescimento com as propriedades da madeira, como:

a) Latorraca e Albuquerque (2000) mencionam que, em madeiras de menor massa específica, em exemplares mais jovens e em espécies de rápido crescimento, os defeitos causados pela liberação das tensões de crescimento são mais drásticos.

b) Nicholson e Hills (1975), estudando o comportamento da madeira de *Eucalyptus regnans*, concluíram que a contração volumétrica (a 12% de umidade) está relacionada com o comportamento longitudinal da tensão de crescimento, módulo de elasticidade, massa específica e estrutura da fibra.

c) Clair et al. (2003), analisando a madeira de *Castanea sativa*, encontraram relações significativas entre as tensões de crescimento e as propriedades físicas e mecânicas da madeira, especialmente na direção longitudinal.

d) Fernandes (1982) trabalhando com cinco clones de *Eucalyptus urophylla*, estudou as relações da tensão de crescimento com as variações de massa específica e defeitos da madeira, obtendo resultados que permitiram constatar a existência de grandes variações das

rachaduras nas extremidades dos toretes, sendo que as variações dentro dos clones são maiores do que entre clones.

e) Lima et al. (2004), estudando a correlação entre a deformação residual longitudinal e as propriedades físicas e mecânicas da madeira de clones de quatro híbridos naturais de *E. grandis* e de um híbrido entre as espécies *E. urophylla* x *E. grandis*, afirmaram que, das várias propriedades avaliadas, apenas a massa específica básica foi correlacionada significativa e positivamente com a DRL, quando os clones foram avaliados conjuntamente. Os autores mencionam, ainda, que foi possível estimar a massa específica básica da madeira através de modelos múltiplos, mediante a associação com a DRL.

As tensões de crescimento apresentam uma alta variabilidade entre espécies, entre árvores da mesma espécie e, mesmo, dentro da própria árvore em diferentes posições, variando na altura e no sentido medula-casca. Dessa forma, a maioria dos estudos não têm encontrado correlações positivas entre a intensidade das tensões de crescimento e as dimensões de árvores, idade, diâmetro do tronco, taxa de crescimento e propriedades da madeira (SHIELD, 1995).

1.2.3 Melhoramento genético e qualidade da madeira

O melhoramento genético é estrategicamente importante para produzir madeira com qualidades para atender aos diversos usos e produtos industrializados. Contudo, quando se utiliza a seleção de genótipos superiores, com posterior utilização destes na formação dos povoamentos florestais, deve-se praticar uma intensidade de seleção suficientemente alta para que os ganhos genéticos sejam compensadores e tornem os empreendimentos comercial e tecnologicamente valorizados (RODRIGUES, 2007).

Rodrigues (2007) argumenta que, para o melhoramento genético da madeira, os atuais programas têm enfrentado importantes restrições quanto à exequibilidade das seleções com altos índices. Todas as restrições decorrem da necessidade de se avaliar uma grande quantidade de árvores e do envolvimento de um conjunto relativamente amplo de características da madeira.

Segundo Aguiar (1986), para as condições do Brasil, onde os povoamentos existentes foram conduzidos para a produção de papel e celulose e as árvores selecionadas para serraria e laminação foram aquelas que apresentaram as melhores taxas de crescimento e as melhores formas, sem a devida atenção às tensões internas de crescimento, a utilização de técnicas que visam à redução ou minimização destes defeitos, é a melhor opção em curto prazo. Já a médio

e longo prazo, são importantes as sugestões de Fernandes (1982), o qual propõe a formação de plantios clonais a partir de exemplares selecionados como sendo de baixos índices de rachaduras. O autor também sugere o desenvolvimento de estudos visando à determinação da herdabilidade da tendência de toras racharem no processamento mecânico.

Para os plantios de eucaliptos destinados a serrarias e movelaria, devem ser desenvolvidos programas de melhoramento genético visando, principalmente, à redução das tensões de crescimento, o que permite a obtenção de um maior aproveitamento da matéria-prima, possibilitando seu uso em grande escala (ROZAS, 1993). A maioria dos defeitos causados pelas tensões de crescimento na madeira de eucalipto é reduzida, muitas vezes, a níveis satisfatórios, através da manipulação dos fatores genéticos e da seleção (ROCHA, 2000).

O uso do gênero *Eucalyptus* com sucesso depende, fundamentalmente, em se contar com material genético de qualidade, aplicando-se as tecnologias apropriadas. O industrial deverá adequar sua mentalidade a esse gênero, avaliando até onde pode produzir e com que qualidade (ACOSTA, 1999).

Na implantação de novos plantios, o controle das elevadas tensões de crescimento em árvores de eucalipto está diretamente ligado ao melhoramento genético, com a seleção do material isento ou com níveis mínimos de ocorrência de tensões de crescimento (OLIVEIRA et al., 1999).

A estimativa dos fatores genéticos pode ser influenciada por vários aspectos, como a competição, que pode começar antes do primeiro ano de idade, mesmo em plantios com grandes espaçamentos, pode levar a subestimativas da variação genética (BOUVET, 1997).

Maeglin (1987) cita que a redução das tensões de crescimento em folhosas deve ser uma associação entre o melhoramento genético e as práticas silviculturais, envolvendo também os setores de tecnologia de processamento da madeira.

Em relação aos fatores genéticos, deve-se considerar que os genótipos podem apresentar interações tanto para as características de crescimento, quanto para as que definem a qualidade da madeira (GRESPLAN, 1997). Dessa forma, a seleção com base apenas nas características de crescimento não assegura que a árvore selecionada tenha qualidade que proporcione a sua utilização, pois as propriedades da madeira que interferem na qualidade podem, às vezes, apresentar maiores interações do que as características de crescimento. Assim, as novas estratégias de melhoramento genético devem conciliar tanto as características de crescimento, como as propriedades da madeira, visando, com isso, à obtenção de maior produtividade e de madeiras de melhor qualidade (ZOBEL; TALBERT, 1984).

1.3 Referências

ACOSTA, M. S. Experiencia Argentina en la Producción y Utilización de la Madeira de Eucalipto, Panorama a 1999. In: **WORKSHOP: Técnicas de Abate, Processamento e Utilização da Madeira de Eucalipto**. Universidade Federal de Viçosa, Sociedade de Investigações Florestais, Instituto Estadual de Florestas. Viçosa-MG, 1999. p. 1-27.

AGUIAR, O. J. R. **Método para controle das rachaduras de topo em toras de *Eucalyptus grandis* W. Hill. Ex Maiden, visando a produção de lâminas por desenrolamento**. 1986. 91 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 1986.

ARCHER, R. R. Growth stresses and strains in trees. **Springer Series Wood Science**. Berlin. Springer-Verlag, 1986. 24 p.

ASSIS, T. F. Aspecto do melhoramento de *Eucalyptus* para obtenção de produtos sólidos de madeira. In: **Técnicas de abate, processamento e utilização da madeira de eucalipto**, 1999, Viçosa. Workshop. Viçosa: DEF/SIF/UFV/IEF, 1999. p. 61 – 72.

BAENA, E. S. **A utilização de *Eucalyptus saligna* Smith e *Eucalyptus grandis* Hill jovens nas confecções de sarrafos**. 1982. 74 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Escola Superior de Agricultura de “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 1982.

BOYD, J. D. The growth stresses: III. The origin of growth stresses. **Australian Journal of Scientific Research: Serie B – Biological Sciences**, Melbourne, v. 3, p. 294-309, 1950.

BOYD, J. D. The growth stresses: V. evidence of an origin in differentiation and lignification. **Wood Science and Technology**, Berlin, 1972, p. 251-262.

BOUVET, J.M. Effect of spacing on juvenile growth and variability of *Eucalyptus* clones. **Canadian journal of forest research**, v.27, p.174-179, 1997.

CHAFE, S. C. Growth stress in trees. **Australian Forest Research. CSIRO**, Melbourne, v. 9, n.3, p. 203-223, 1977.

CHAFE, S. C. Variations in longitudinal growth stress, basic density and modulus of elasticity with height in tree. **Australian Forest Research**, Melbourne, v.11, n.1, p.79-82, 1981.

CHAFE, S.C. Variation in longitudinal growth stress with height in trees of *Eucalyptus nitens* Maiden. **Australian Forest Research**, Melbourne, v.15, p.51-55, 1985.

CLAIR, B.; RUELLE, J.; THIBAUT, B. Relationship between growth stresses, mechanic-physical properties and proportion of fibre with gelatinous layer in Chestnut (*Castanea Sativa* Mill.). **Holzforschung**, v. 57, p.189-195, 2003.

CONRADIE, W. E. **Utilization of South African grown *E. grandis*. (W. Hill ex-Maiden) as veneer log - Part 1.** Control of end-splitting in veneer logs. Pretoria: National Timber Research Intitute, 1980. 26 p. (CSIR Special Report Hout, n.260).

DEL MENEZZI, C. H. **Utilização de um método combinado de desdobro e secagem para a produção de madeira serrada de *Eucalyptus grandis* Hill ex-Maiden e *E. cloesiana* F. Muell.** 1999. 77 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Escola superior de Agricultura “Luíz Queiroz”, Piracicaba, 1999.

DINWOODIE, J. M. Growth stresses in timber: a review of literature. **Forestry**, London, v.39. n.2, p. 162-70, 1966.

DOWNES, G. et al. Effect of growth rate on wood properties of *Eucalyptus globulus* and *Eucalyptus nitens*. SILVOTECNA CONFERENCE EUCALYPT IN CHILE: PRESENT AND FUTURE, 12, Concepción, 1999. **Proceedings...**Concepción: CORMA / Forestal Mininco / Bosques Arauco / Forestal y Agrícola Monteáguila / Universidade de Concepción, 1999. 15p.

FERNANDES, P. S. **Variações de densidade da madeira e suas relações com as tensões de crescimento em progênies de *Eucalyptus urophylla*.** 1982. 96 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestais) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 1982.

FERNANDES, P. S.; FERRREIRA, M. C.; STAPE, J. L. Manejo de eucalipto pelo “CCT method” visando madeira para serraria. **Boletim Técnico do Instituto Florestal**, São Paulo, v. 40, n. 1, p. 223 – 236, 1986.

GONÇALVES, G. G. **Avaliação da qualidade da madeira de híbrido clonal de *Eucalyptus urophylla* x *grandis* para produtos sólidos.** 2006. 165 f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Universidade Federal de Espírito Santo, Alegre, 2006.

GONÇALVES, M. P. M. **Correlações da altura e diâmetro com tensões de crescimento em árvores de *Eucalyptus citriodora* Hook e *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake.** 2007. 31 f. Monografia (Graduação em Engenharia Florestal) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2007.

GRESPLAN, S. L. **Produção e eficiência nutricional de clones de eucalipto no norte do Espírito santo e sua relações com características do solo.** 81 f. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas)- Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1997.

HASLETT, A. N. A guide to handling and grade-sawing plantation-grown eucalyptus. **Forest Research Institute Bulletin**, n. 142, p. 1-72, 1988.

HILLIS, W. E., BROWN, A. G. **Eucalyptus for wood production.** Melbourne: CSIRO, 1978. 434p.

IWAKIRI, S.; PEREIRA, J.S.; NISGOSKI, S. Avaliação da qualidade de colagem em compensados de *Eucalyptus cloeziana* e *Eucalyptus robusta*. **Revista Floresta e Ambiente**, Seropédica, v.6, n.1. p.45-50, 1999.

JACOBS, M. R. The fibre tension of wood stens, with special reference to the gens *Eucalyptus*. **Bulletin Cammonwealth Forestry Bureau**, Canberra, v. 22, p. 7-37, 1938.

JACOBS, M. R. The growth stresses of wood stems. **Bulletim. Commonwealth Forestry Burean**, Canberra. v. 28, p. 1 – 67, 1945.

JARA, E. R. P; MIRANDA, M. J. DE A. C.; HUMPHREYS, R. D. Influência do tratamento térmico na redução das tensões internas de crescimento em toras de *Eucalyptus grandis*. In: IUFRO Conference or Silviculture and Improvement of *Eucalyptus*, 1997. **Proceedings...**Colombo: Embrapa, 1997.

KOLLMANN, F. F. P.; COTÊ, W. A. **Principles of wood science and technology.** Berlin: Springer-Verlag, v.1, 592 p., 1968.

KUBLER, H. Role of moisture in hygrothermal recovery of wood. **Wood Science**, v.5, n.3, p.198-204, 1973.

KUBLER, H. Growth stresses in trees and related wood properties. **Forest Products Abstracts**, Oxford, v. 10, n. 3, p. 61-119, 1987.

LAMPRECHT, H. Silvicultura nos trópicos, ecossistemas florestais e respectivas espécies arbóreas – possibilidades e métodos de aproveitamento sustentado. **Tradução:** Guilherme de Almeida Sedas e Gilberto Calcagnotto. Rossdorf: TZ – Verl-Ges. (GTZ). 343p.1990.

LATORRACA, J. V. F.; ALBUQUERQUE, C. E. C. Efeito do rápido crescimento sobre as propriedades da madeira. **Revista Floresta e Ambiente**, Seropédica [S.l.], v. 7, n. 1, p. 279 - 291, 2000.

LIMA, I. L.; GARCIA, J. N.; NOGUEIRA, M.C.S. Influência do desbaste nas tensões de crescimento de *Eucalyptus grandis* Hill ex-Maiden. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 58, p. 111-125, 2000.

LIMA, J. T. et al. Deformações residuais decorrentes de tensões de crescimento em eucaliptos e suas associações com outras propriedades. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 28, n. 1, p. 107-116, 2004.

LISBOA, C. D. J. **Estudo das tensões de crescimento em toras de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden**. 1993. 298 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1993.

LOPES, M. C. **Agrupamento de árvores matrizes de *Eucalyptus grandis* em função das variáveis dendrométricas e das características tecnológicas da madeira**. 2003. 93f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2003.

MAEGLIN, R. R. Juvenile wood, tension wood, and growth stress effects on processing hardwoods. In: **Applying the latest research to hardwood problems: Proceedings of the 15th Annual Hardwood Symposium of the Hardwood Research Council**. 1987 – May 10-12, p. 100-108.

MALAN, F. S. The control and-splitting in saw logs: A short literature review. **South African Forestry Journal**, n.109, p.14 - 8, 1979.

MALAN, F. S. **Studies on the phenotypic variation in growth stress intensity and its association with tree and wood properties of South African grown *Eucalyptus grandis* (Hill ex maiden)**. Thesis (Doctor of philosophy Wood Science) Stellenbosch. University Stellenbosch, 1984.

MALAN, F. S. *Eucalyptus* improvement for lumber production. In: Seminário Internacional de Utilização da Madeira de *Eucalyptus* para Serraria, 1995, São Paulo. **Anais...**São Paulo: IPEF/IPT/IUFRO/LCF/ ESALQ/ USP, 1995. p.1-19.

MIRANDA, M. J. A. C.; NAHUZ, M. A. R. Estudo da influência do espaçamento de plantio de *Eucalyptus saligna* Smith nos índices de rachamento após o desdobro e após a secagem. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 55, p. 107-116, 1999.

NICHOLSON, J. E. A rapid method for estimating longitudinal growth stresses in logs. **Wood Science and Technology**, New York, v.5, p. 40 – 48, 1971.

NICHOLSON, J. E.; HILLIS, W. E. Some tree growth-wood property relationships of *Eucalyptus*. **Canadian Journal of Forest Research**, Ottawa, v. 5, p. 424-432. 1975.

OLIVEIRA, J. T. S., et al. Caracterização da madeira de sete espécies de eucaliptos para a construção civil. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 56, p. 113-124, 1999.

OPIE, J. E.; CURTIN, R. A.; INCOLL, W. D. Stand management. In: HILLIS, W.; BROWN, A. G. **Eucalyptus for wood production**. Melbourne: CSIRO, 1984. 434 p.

PANSHIN, A. J; DE ZEEUW, C. **Textbook of wood and technology**. New York: McGraw-Hill, p. 293-300, 1970.

PEREIRA, J. C. D. et al. **Características da madeira de algumas espécies de eucalipto plantadas no Brasil**. Colombo: Embrapa Florestas, 2000. 113 p. (Embrapa Florestas. Documentos, 38).

PONCE, R. H. Madeira Serrada de Eucalipto: desafios e perspectivas. In: **Seminário Internacional de Utilização da Madeira de Eucalipto para Serraria**, São Paulo, p.50-8. 1995.

RAYMOND, C.A. et al. Evaluation of destructive methods of measuring growth stress in *Eucalyptus globules*: relationships between strain, wood properties and stress. **Forest Ecology and Management**, Fort Collins, v.190, p.187-200, 2004.

RECH, C.; SILVA, J. C. Características intrínsecas da madeira. **Revista da Madeira**, Curitiba, p. 60-65, set. 2001. Edição especial.

ROCHA, M. P. ***Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden e *Eucalyptus dunnii* Maiden como fontes de matéria prima para serraria**. 2000. 185 p. Tese (Pós Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2000.

RODRIGUES, E. A. C. **Estimação de parâmetros genéticos, fenotípicos e ambientais para a qualidade da madeira de *Eucalyptus* em árvores vivas**. 2007. 102 f. Tese (Doutorado em Florestas e Produção) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2007.

ROZAS MELLADO, E. C. E. **Contribuição ao desenvolvimento tecnológico para a utilização de madeira serrada de *Eucalyptus grandis* (Hill ex Maiden) na geração de produtos com maior valor agregado.** 1993. 133p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal). Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1993.

SANTOS, P.E.T. **Avaliação de características tecnológicas de madeira para serraria em progênies de polinização aberta de eucalipto e implicações para o melhoramento genético.** 2002, 153 p. Tese (Doutorado em Recursos Florestais), Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba. 2002.

SELLA, R. L. Técnicas silviculturais de exploração para a obtenção de madeira de qualidade para a laminação e serraria. In: Seminário Madeira de *Eucalyptus*: Tendências e Usos, 2001, Curitiba. **Anais...** Curitiba: FUPEF/UFPR, 2001. p.19-24.

SHIELD, E. D. Plantation grown *Eucalyptus*: utilization for lumber and rotary veneers – primary conversion. In: Seminário internacional de utilização da madeira de eucalipto para serraria, 1995, São Paulo. **Anais...** São Paulo: IPEF/IPT/IUFRO/LCF-ESALQ-USP, 1995.p. 133-139.

SHONAU, A. P. G.; COETZEE, J. Initial spacing, stand density and thinning in eucalypt plantations. **Forest Ecology and Management**, v. 29, p. 245-266, 1989.

SOUZA, M. A. M. **Deformação Residual Longitudinal (DRL) causada pelas tensões de crescimento em clones de híbridos de *Eucalyptus*.** 2002, 72 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia da Madeira) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2002.

SOUZA, M. A. M. **Metodologias não destrutivas para avaliação das tensões de crescimento em *Eucalyptus dunnii* Maiden.** 2006, 80 f. (Doutorado em Ciências Florestais), Universidade Federal do Paraná, Curitiba 2006.

STAHL, J. et al. Comparação entre as propriedades mecânicas da madeira verde e seca de *Eucalyptus grandis*. In: congresso Florestal Estadual do Rio Grande do Sul, Nova Prata, 2003. **Anais...** Nova Prata, RS, 2003.

TEJADA, A. et al. Reduction of growth stress in logs by direct heat treatment: assessment of a commercial-scale operation. **Forest Products Journal**, v. 47, n. 9, p. 86-93, 1997.

TRUGILHO, P. F. et al. Tensão de crescimento em árvores de *Eucalyptus dunnii*: e o efeito da idade. In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, São Paulo. **Anais...**CD-ROM. Área Temática 1, disco 2, p.56-61, 2003.

TRUGILHO, P. F. et al. Efeitos da idade e classe diamétrica na deformação residual longitudinal em árvores de *Eucalyptus dunni* Maiden. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 28, n.5, p. 725-731, 2004.

TRUGILHO, P. F. et al Deformação residual longitudinal (DRL) e tangencial (DRT) em seis clones de *Eucalyptus* spp. **Cerne**, Lavras, v. 12, n. 3, p. 279-286, 2006.

VALERA, F. P., KAGEYAMA, P. Y. Interação genótipo x espaçamento em progênes de *Eucalyptus saligna* Smith. **IPEF**, Piracicaba, v.39, p.5-16,1988.

VAN WYK, J. L. Hardwood sawmilling can have a bright future in South Africa. **South African Forestry Journal**, Pretória, n.109, p.47 - 53, 1978.

VERMAAS, H. F. A. Review of drying technology for young fast-grown eucalypts. In: THE FUTURE OF *Eucalyptus* FOR WOOD PRODUCTS, 2000, LAUNCESTON. **Anais...** Launceston: IUFRO, p. 193 – 203, 2000.

VITTI, G. C. et al. **Adubação e nutrição do eucalipto**. Piracicaba: ESALq, 2002. 45 p.

WILHELMY, V.; KUBLER, H. Stresses and cheks in log ends from relieved growth stresses. **Wood Science**, Madison, v. 6, n. 2, p. 136-142, 1973.

WILKINS, A. P. Nature and origin of growth stress in trees. **Australian Forestry**, Canberra, v.49, n. 1, p 56-62, 1986.

ZOLBEL, B.; TALBERT, J. **Applied forest tree improvement**. New York: John Wiley & Sons, 1984. 505 p.

YAO, J. Relations between height and growth stresses within and among white ash, water oak and shagbark hickory. **Wood Science**, Madison, v.11, n.4, p.246-251, 1979.

2 DESEMPENHO SILVICULTURAL E SELEÇÃO PRECOCE DE CLONES DE HÍBRIDOS DE *Eucalyptus* spp.

2.1 Introdução

O gênero *Eucalyptus* é vastamente utilizado no Brasil para a produção madeireira, voltada a diversas finalidades, em razão do rápido crescimento, boa adaptação ecológica e alta qualidade da madeira. Todavia, a maioria das florestas desse gênero é manejada para a produção de pequenos fustes, para o uso em indústrias de celulose ou energia. Essas florestas foram implantadas e manejadas com pouca preocupação com a qualidade da madeira e o aproveitamento desse material é prejudicado quando se requerem usos de maior valor agregado (PONCE, 1995). As florestas que foram destinadas para a produção de toras para serraria não foram implantadas com material genético específico e, apesar da boa forma e do diâmetro, a madeira apresenta alta variação para a massa específica e para propriedades mecânicas.

A utilização de clones foi um avanço muito importante, que possibilitou aumentar a produção e uniformizar a qualidade da madeira, gerando florestas de alta qualidade para satisfazer a demanda industrial de matéria-prima (BERGER et al., 2002). A seleção de híbridos com boas características silviculturais e tecnológicas é o objetivo primordial dos programas de melhoramento genético de eucalipto no Brasil. Nesses programas, os híbridos são avaliados para diferentes caracteres e ambientes antes da seleção final, da multiplicação e da recomendação para a exploração comercial (NUNES et al., 2002).

Para os programas de melhoramento genético de espécies florestais, o tempo é um fator crítico, pois a exploração envolve ciclos longos, demorados e onerosos. O eucalipto faz parte desse grupo e pode apresentar idades de rotação entre 25 e 30 anos, em regiões de clima temperado, e de, aproximadamente, 10 anos em climas tropicais (PEREIRA et al., 1997). Assim, alternativas que visam à diminuição do tempo para que se complete uma geração de melhoramento são necessárias, e é vantajoso aos programas de melhoramento praticar seleção de genótipos superiores com base nos primeiros anos de produção. Uma das alternativas encontradas é o emprego da seleção precoce (MASSARO et al., 2010).

A seleção precoce visa identificar caracteres das árvores em idade juvenil correlacionados àqueles de interesse econômico em árvores de idades mais avançadas, isto é, prever, em idade juvenil, o desempenho de um indivíduo adulto, diminuindo, assim, o tempo para se completar um ciclo de seleção (GONÇALVES et al., 1998).

A eficiência da seleção precoce pode ser avaliada por meio das expectativas de ganhos indiretos, observados ao corte, de acordo com a seleção em idades juvenis (MARQUES JUNIOR, 1995). A possibilidade de prever os ganhos quanto a diferentes critérios de seleção é considerada uma das maiores contribuições da genética quantitativa para o melhoramento de plantas (DE PAULA et al., 2002).

Portanto, o desempenho silvicultural de uma floresta poderia ser previsto pelas curvas de projeção do crescimento em diâmetro, altura e volume, o que simplificaria o planejamento (BERGER et al., 2002). Isso é possível pelo fato de as variáveis diâmetro, altura e volume apresentarem correlações significativas entre si, em diferentes idades, o que viabiliza a eficiência na seleção precoce do material genético (MASSARO et al., 2010).

O objetivo deste estudo foi avaliar a variabilidade genética e o desempenho silvicultural, para viabilizar a aplicação da seleção precoce em povoamentos de clones de híbridos interespecíficos de *Eucalyptus* spp.

2.2 Material e métodos

2.2.1 Área do estudo

O material genético utilizado proveio de um teste clonal de híbridos interespecíficos de *Eucalyptus urophylla* S.T. Blake, *E. globulus* Labill., *E. maidenii* F. Muell., *E. saligna* Smith, *E. grandis* W. Hill ex Maiden, *E. pellita* F. Muell., *E. resinifera* Smith in J. White, *E. kirtoniana* F. Muell. e *E. dunnii* Maiden. O experimento foi realizado no município de Tapes, RS (30°34'34"S, 51°30'50"W, a 103 m de altitude), com clima subtropical úmido, em área pertencente à empresa CMPC Celulose Riograndense. O povoamento foi implantado em agosto de 2003, com espaçamento inicial de 3,0 x 3,0 m, com 138 clones oriundos de hibridações interespecíficas. Utilizou-se o delineamento experimental de blocos ao acaso, com dez repetições de seis plantas (60 árvores por clone), no total de 8.280 árvores, em área de, aproximadamente, 7,3 hectares.

2.2.2 Obtenção dos dados

Foram mensurados: o diâmetro do tronco à altura do peito, aos três (DAP3, cm) e aos sete anos (DAP7, cm), e a altura total das árvores aos sete anos (h7, m). As mensurações dos diâmetros foram efetuadas com fita métrica, e as de altura com o Vertex III (Haglöf, Sweden).

2.2.3 Análise estatística

A análise de variância para os caracteres DAP3, DAP7 e h7 foi realizada tendo-se considerado o delineamento de blocos completos ao acaso. Com os dados obtidos, foi feito o diagrama de dispersão, para visualizar as relações entre os caracteres. Foi, então, determinada a matriz de coeficientes de correlação linear de Pearson (r) entre DAP3, DAP7 e h7, bem como foi verificada a significância dos coeficientes, por meio do teste t de Tukey, a 5% de probabilidade, com 136 graus de liberdade.

Para separar os 138 clones de acordo com os caracteres, estabeleceram-se, *a priori*, cinco grupos, agrupando-se os clones por meio do método das k -médias (BARROSO e ARTES, 2003; MINGOTI, 2005). Para validar o agrupamento, foi feita a análise de variância univariada.

O ganho genético (indireto) de seleção para os três caracteres avaliados foi calculado conforme a Equação 1:

$$GS = MCS - MCO \quad (1)$$

Onde: GS = ganho genético de seleção (%); MCS = média do grupo de clones selecionados; MCO = média de todos os clones avaliados.

As análises estatísticas aplicadas ao estudo foram realizadas no programa estatístico GENES (CRUZ, 2006).

2.3 Resultados e discussão

Na Tabela 2.1 é apresentado o teste de análise de variância com estimativas de herdabilidade e da acurácia seletiva para DAP3, DAP7 e h7, para os 138 clones estudados.

TABELA 2.1 - Análise de variância do experimento, com média, coeficiente de variação experimental (CVe), coeficiente de variação amostral (CVa), acurácia seletiva e herdabilidade, para diâmetro à altura do peito, aos três (DAP3) e aos sete (DAP7) anos de idade, e altura (h7) das árvores de 138 clones de *Eucalyptus* spp.

Causas de variação	GL	Quadrado médio		
		DAP3 (cm)	DAP7 (cm)	h7 (m)
Bloco	9	136,49*	298,14*	846,36*
Clone	137	186,81*	1.298,50*	1.305,53*
Erro experimental	1,23	24,21*	56,84*	96,44*
Erro amostral	6,04	2,40	11,23	11,94
Média	-	12,97	18,46	24,89
CVe (%)	-	37,91	40,82	39,45
CVa (%)	-	11,94	18,15	13,88
Acurácia seletiva	-	0,93	0,97	0,96
Herdabilidade	-	0,87	0,95	0,92

Onde: * Significativo pelo teste F em nível de 5% de probabilidade.

O coeficiente de variação experimental (CVe) foi maior do que o coeficiente de variação amostral (CVa) para todos os caracteres (Tabela 2.1), evidenciando maior variabilidade entre as parcelas em relação à variabilidade entre as plantas dentro das parcelas. Os elevados valores de acurácia seletiva ($AS \geq 0,93$) e de herdabilidade ($h^2 \geq 0,87$) revelam precisão experimental muito alta, de acordo com os limites das classes de precisão experimental estabelecidos em Resende e Duarte (2007), Cargnelutti Filho e Storck (2009) e Cargnelutti Filho et al. (2009).

As estatísticas AS e h^2 foram consideradas mais adequadas para a avaliação da precisão experimental do que o coeficiente de variação (CV). Os maiores escores de AS e de h^2 estão associados à maior variabilidade genética e a menor variância residual, o que indica experimentos mais precisos (CARGNELUTTI FILHO e STORCK, 2007, 2009). Também se constatou efeito significativo de clones ($p \leq 0,05$), quanto aos caracteres DAP3, DAP7 e h7, o que evidencia a existência de variabilidade genética, fundamental para a viabilidade de seleção de materiais genéticos superiores.

No presente estudo, ficou evidente a forte correlação linear de Pearson entre as variáveis analisadas, independentemente das diferenças genéticas existentes entre os clones de híbridos interespecíficos (Figura 2.1).

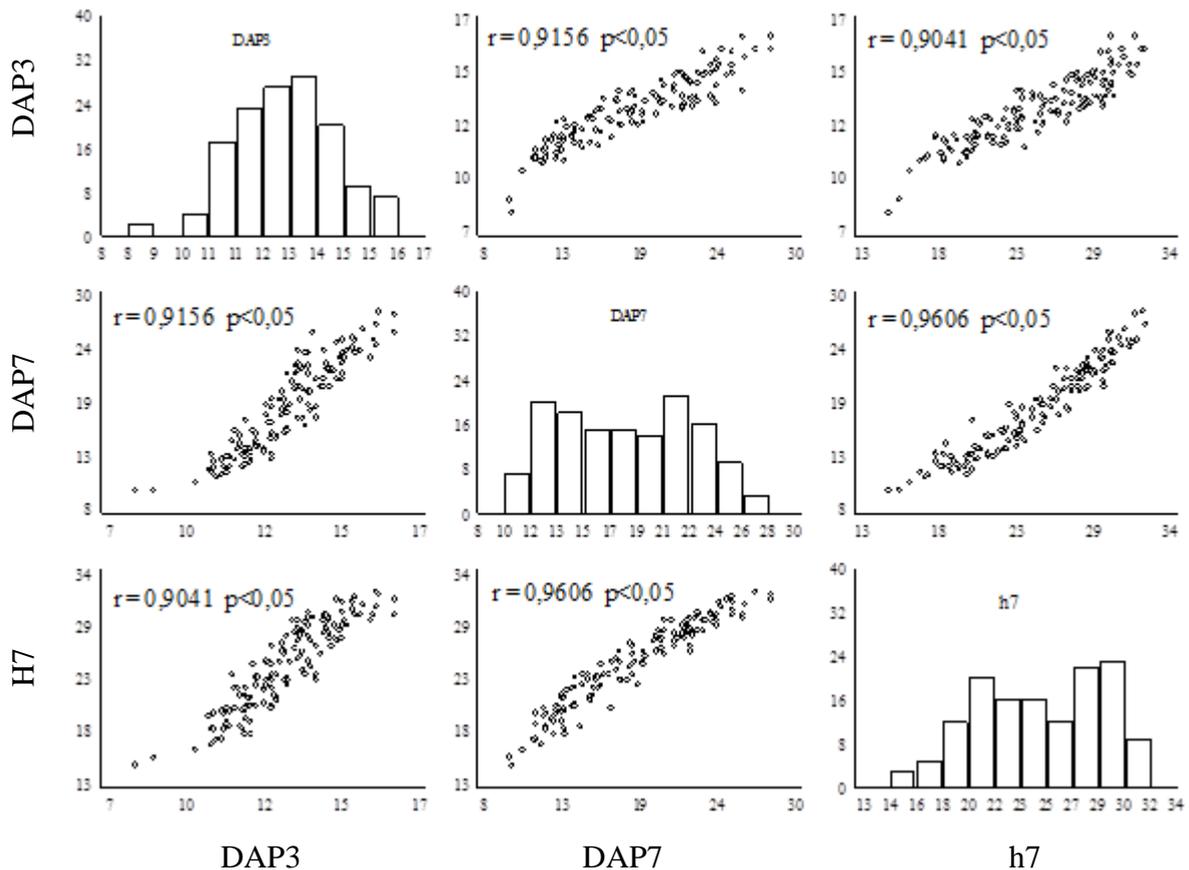


FIGURA 2.1 - Distribuição de frequências (na diagonal descendente da esquerda para a direita) e gráficos de dispersão do diâmetro à altura do peito, aos três (DAP3) e aos sete (DAP7) anos de idade, e da altura (h7) das árvores de 138 clones de *Eucalyptus* spp. O “r” refere-se ao coeficiente de correlação de Pearson entre os caracteres, e o “p” à significância estatística da correlação.

Os elevados coeficientes de correlação confirmam a associação linear positiva entre os caracteres avaliados. Esses resultados mostram que a seleção indireta de clones com maior DAP7 e maior h7 pode ser realizada precocemente, considerando-se somente DAP3.

Alguns estudos comprovam que a viabilidade do uso da seleção precoce pode ser utilizada para diminuir os ciclos e aumentar o ganho genético de seleção. Em espécies de *Eucalyptus*, a seleção precoce pode ser realizada considerando-se caracteres de crescimento, como diâmetro, altura e volume, em razão da grande variabilidade genética para esses caracteres (TOLFO, 2003).

A seleção precoce pode ser realizada em diferentes idades e tem sido praticada eficientemente em diversas espécies, como *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh (PEREIRA et al., 1997); *Pinus* (XIANG et al., 2003; WENG et al., 2007); *Hevea brasiliensis* (Willd. ex A. Juss.) Müll. Arg. (GONÇALVES et al., 1998) e *Euterpe oleracea* Mart. (BOVI et al., 1990).

A análise de variância mostrou, quanto aos três caracteres avaliados, que a variabilidade entre grupos é superior à variabilidade entre clones dentro de grupo, com base no desempenho silvicultural dos 138 clones (Tabela 2.2), e que há cinco grupos, de acordo com agrupamento realizado por meio do método das k-médias (BARROSO e ARTES, 2003; MINGOTI, 2005).

TABELA 2.2 - Análise de variância do agrupamento, com média e coeficiente de variação, para os diâmetros à altura do peito, aos três (DAP3) e aos sete (DAP7) anos de idade, e altura (h7) das árvores de 138 clones de híbridos interespecíficos de *Eucalyptus* spp.

Causas de variação	GL	Quadrado médio		
		DAP3 (cm)	DAP7 (cm)	h7 (m)
Grupo	4	61,87*	674,76*	608,11*
Erro	133	0,42	1,16	1,36
Média	-	12,89	18,18	24,61
CV(%)	-	5,03	5,94	4,74

Onde: * Significativo pelo teste F em nível de 5% de probabilidade.

O agrupamento facilita a identificação de clones com desempenho silvicultural superior ou com maior vigor de crescimento. Cabe ressaltar que, antes da recomendação para o cultivo, são necessárias a avaliação e a análise de outros caracteres, tais como massa específica, biomassa do lenho, interações fenotípicas e genotípicas, índices de tensões de crescimento e qualidade da madeira (DE PAULA et al., 2002; NUNES et al., 2002), já que estas são importantes para a seleção de clones com alto potencial genético. No entanto, essas avaliações podem ser efetuadas exclusivamente nos clones selecionados quanto ao maior vigor de crescimento, identificados no DAP3.

Além de haver diferenças significativas entre grupos de clones, o teste de Tukey mostrou que as médias de grupos diferiram entre si (Tabela 2.3), o que indica a ocorrência de eficiência no processo de agrupamento. As diferenças significativas entre grupos, quanto aos três caracteres avaliados, não influenciou os altos valores de correlação encontrados entre os caracteres avaliados (Figura 2.1).

TABELA 2.3 - Médias do diâmetro à altura do peito, aos três (DAP3) e aos sete (DAP7) anos de idade, e altura (h7) das árvores dos grupos formados de híbridos interespecíficos de *Eucalyptus* spp.

Grupos ¹	Nº de clones	DAP3 (cm)	DAP7 (cm)	h7 (m)
1	25	14,84 a ²	24,66 a	30,23 a
2	33	13,77 b	21,43 b	27,85 b
3	24	12,90 c	17,88 c	24,77 c
4	28	12,09 d	14,72 d	21,90 d
5	28	10,91 e	12,32 e	18,38 e

Onde: ¹ Formados com o auxílio do método das k-médias. ² Médias não seguidas de mesma letra na coluna diferem pelo teste de Tukey em nível de 5% de probabilidade.

Com base nos resultados, pode-se propor estratégias de seleção de clones de acordo com o objetivo do melhoramento e da demanda comercial. O grupo 1 é composto por 18% do total de clones, e este grupo, em associação com o grupo 2, soma 42% dos clones em avaliação. Se a principal estratégia de seleção for o alto vigor de crescimento, poderiam ser selecionados apenas os 25 clones do grupo 1. No entanto, se a estratégia for identificar clones que combinam vigor de crescimento com outras características, seria importante selecionar os clones dos grupos 1 e 2, ou seja, 58 clones do total de 138 clones em avaliação.

Portanto, aos três anos de idade, já poderiam ser eliminados 58% dos clones em avaliação, o que possibilitaria avaliar clones de outras progênies e, com isso, maximizar o ganho genético de seleção com os mesmos recursos financeiros e humanos disponíveis.

A seleção dos clones do grupo 1 (índice de seleção de 18%) ou dos clones dos grupos 1 e 2 (índice de seleção de 42%) resultaria em ganho indireto maior, quanto às variáveis h7 e DAP7, do que quanto ao DAP3 (Tabela 2.4). No entanto, mesmo que fossem selecionados 58 dos 138 clones, ainda seria obtido um ganho indireto de seleção de 10,94% para DAP3, ou seja, um ganho anual superior a 3%. O maior ganho indireto de seleção foi obtido para DAP7.

TABELA 2.4 - Médias dos grupos selecionados de clones (MCS), médias originais dos clones (MCO), ganho genético (GS) e percentual (GS%) indireto na seleção de clones do grupo 1 e dos grupos 1 e 2, quanto ao diâmetro à altura do peito, aos três (DAP3) e aos sete (DAP7) anos de idade, e à altura (h7) das árvores de clones de híbridos interespecíficos de *Eucalyptus* spp.

Caractere avaliado	Seleção de clones do grupo 1				Seleção de clones dos grupos 1 e 2			
	MCS	MCO	GS	GS%	MCS	MCO	GS	GS%
DAP3 (cm)	14,84	12,89	1,95	15,12	14,30	12,89	1,41	10,94
DAP7 (cm)	24,66	18,18	6,48	35,64	23,04	18,18	4,86	26,73
h7 (m)	30,23	24,61	5,62	22,83	29,04	24,61	4,43	18,00

O alto coeficiente de correlação linear (0,92) entre DAP3 e DAP7, as diferenças significativas entre os grupos de clones e o alto ganho genético de seleção, quanto aos três caracteres avaliados, indicam que a seleção com base no DAP3 é uma estratégia viável para a identificação precoce de clones de *Eucalyptus* com alto vigor de crescimento. Se objetivo do melhoramento for a seleção de clones quanto a outros caracteres, principalmente de baixa herdabilidade, um maior número de clones deve ser mantido no programa, a fim de possibilitar alto ganho genético para esses caracteres. Além disso, pode-se aumentar a variabilidade genética na população, o que também proporcionaria maior ganho genético por seleção.

Resultados semelhantes foram encontrados por De Paula et al. (2002), que indicaram a existência de variabilidade genética entre as famílias de *Eucalyptus camaldulensis*, quanto ao DAP e à altura, e sugeriram a possibilidade de ganhos genéticos pela seleção dos melhores genótipos. Os resultados observados no presente estudo corroboram os obtidos por Kalil Filho et al. (1983), Santos et al. (1990), Silva (1990) e Cornacchia (1994), em estudos com outras espécies florestais.

Observa-se, em trabalhos com *Eucalyptus*, no Brasil, que, apesar de a idade de rotação ser menor do que em outros países, a seleção precoce tem se mostrado eficiente (REZENDE et al., 1994; PEREIRA et al., 1997; TOLFO, 2003).

2.4 Conclusões

Diante dos resultados do presente estudo, pôde-se concluir que:

- ✓ clones de híbridos interespecíficos de *Eucalyptus* spp. apresentam variabilidade genética suficiente para serem separados em grupos quanto aos diâmetros do tronco à altura do peito, aos três e aos sete anos, e quanto à altura das árvores aos sete anos de idade;
- ✓ o diâmetro do tronco à altura do peito aos três anos é altamente correlacionado ao diâmetro do tronco à altura do peito e à altura das árvores aos sete anos de idade;
- ✓ o diâmetro do tronco à altura do peito aos três e aos sete anos de idade, e a altura das árvores aos sete anos de idade apresentam ganhos genéticos satisfatórios para seleção de clones;
- ✓ a seleção precoce aos três anos após o plantio pode ser empregada para identificar clones de híbridos de *Eucalyptus* com bom vigor de crescimento.

2.5 Referências

BARROSO, L. P.; ARTES, R. **Análise multivariada**. Lavras: UFLA, 2003. 151p.

BERGER, R. et al. Efeito do espaçamento e da adubação no crescimento de um clone de *Eucalyptus saligna* Smith. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 12, n. 2, p. 75-87, 2002.

BOVI, M. L. A. et al. Correlações fenotípicas entre caracteres avaliados nos estádios juvenil e adulto de acaizeiros. **Bragantia**, Campinas, v. 49, n. 2, p. 321-334, 1990.

CARGNELUTTI FILHO, A.; STORCK, L. Estatísticas de avaliação da precisão experimental em ensaios de cultivares de milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 42, n. 01, p. 17-24, 2007.

CARGNELUTTI FILHO, A.; STORCK, L. Medidas do grau de precisão experimental em ensaios de competição de cultivares de milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 44, n. 02, p. 111-117, 2009.

CARGNELUTTI FILHO, A.; STORCK, L.; RIBEIRO, N.D. Medidas da precisão experimental em ensaios com genótipos de feijão e de soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 44, n. 10, p. 1225-1231, 2009.

CORNACCHIA, G. **Variabilidade genética em procedência de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* Barr. & Golf., *Pinus. oocarpa* Schiede e *Pinus tecunumanii* (Schw.) Eguiluz & Perry na região oeste do Estado da Bahia.** 1994. 155 f. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1994.

CRUZ, C.D. **Programa genes: estatística experimental e matrizes.** Viçosa: UFV, 2006. 285p.

DE PAULA, R. C. et al. Predição de ganhos genéticos em melhoramento florestal. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 37, n. 2, p. 159-165, 2002.

GONÇALVES, P. S. et al. Early selection for growth vigor in rubber tree genotypes in northwestern São Paulo State (Brazil). **Genetics and Molecular Biology**, v. 21, n. 4, p. 620-630, 1998.

KALIL FILHO, A. N.; PIRES, C. L. S.; FONTES, M. A. Análise do comportamento e estimação de parâmetros genéticos em progênies de *Pinus elliottii* Engelm. var. *elliottii* na região de Itararé (SP). **Silvicultura**, São Paulo, v. 8, n. 28, p. 325-326, 1983.

MARQUES JÚNIOR, O. G. **Estimativas dos parâmetros genéticos e fenotípicos e avaliação da eficiência da seleção precoce em *Eucalyptus cloeziana* F. Muell.** 1995. 69 f. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas), Universidade Federal de Lavras, Lavras, 1995.

MASSARO, R. A. M. et al. Viabilidade de aplicação da seleção precoce em testes clonais de *Eucalyptus* spp. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 20, n. 4, p. 597-609, 2010.

MINGOTI, S. A. **Análise de dados através de métodos de estatística multivariada.** Belo Horizonte: UFMG, 2005. 297p.

NUNES, B. H. S. et al. Implicações da interação genótipo x ambientes na seleção de clones de eucalipto. **Cerne**, Lavras, v.8, n1, p. 49-58, 2002.

PEREIRA, A. B. P. et al. Eficiência da seleção precoce em famílias de meios-irmãos de *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh., avaliadas na região noroeste do estado de Minas Gerais. **Cerne**, Lavras, v. 3, n. 1, p. 67-81, 1997.

PONCE, R. H. Madeira Serrada de Eucalipto: desafios e perspectivas. In: **Seminário Internacional de Utilização da Madeira de Eucalipto para Serraria**, São Paulo, p.58. 1995.

RESENDE, M.D.V.; DUARTE, J.B. Precisão e controle de qualidade em experimentos de avaliação de cultivares. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 37, n. 03, p. 182-194, 2007.

REZENDE, G. D. S. P.; BERTOLUCCI, F. L. G.; RAMALHO, M. A. P. Eficiência da seleção precoce na recomendação de clones de eucalipto avaliados no norte do Espírito Santo e sul da Bahia. **Cerne**, Lavras, v. 1, n. 1, p. 45-50, 1994.

SANTOS, P. E. T. et al. Potencial para programas de melhoramento, estimativas de parâmetros genéticos e interação progênies x locais em populações de *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake. **IPEF**, Piracicaba, n. 43/44, p. 1119, 1990.

SILVA, J. F. **Variabilidade genética em progênies de *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh. e sua interação com espaçamentos**. 1990. 110 f. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1990.

TOLFO, A. L. T. **Estudos da viabilidade de aplicação da seleção precoce em testes clonais de *Eucalyptus* spp. e qualidade da madeira para polpa celulósica**. 2003. 50 f. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal, 2003.

WENG, Y. H. et al. Age-related trends in genetic parameters for jack pine and their implications for early selection. **Silvae Genetica**, Frankfur, v. 56, n. 5, p. 242-252, 2007.

XIANG, B.; LI, B.; ISIK, F. Time trend of genetic parameters in growth traits of *Pinus taeda* L. **Silvae Genetica**, Frankfurt, v. 52, n. 3-4, p. 114-121, 2003.

3 TENSÃO DE CRESCIMENTO E SUA RELAÇÃO COM AS VARIÁVEIS DENDROMÉTRICAS DA MADEIRA DE *Eucalyptus* spp.

3.1 Introdução

A busca por madeira serrada de melhor qualidade na indústria madeireira é constante. Entretanto, devido à dificuldade de obter toras de grandes diâmetros como matéria-prima, essa qualidade vem sendo comprometida. O desdobro de árvores de pequenos diâmetros tem sido uma prática cada vez mais adotada pelas indústrias, o que origina peças com nós, madeira juvenil e elevadas tensões de crescimento, proporcionando um baixo rendimento (JÚNIOR et al., 2007).

A qualidade da madeira interfere no processo industrial, de forma que técnicas como manejo florestal e melhoramento genético, aliadas às características da tecnologia da madeira, devem ser conciliadas, a fim de obter um produto final com maior valor agregado (TREVISAN, 2006). Assim, a melhor opção para melhorar a competitividade da indústria de produtos sólidos de madeira, do ponto de vista florestal, se configura pelo estabelecimento de plantações em regiões de alta produtividade, com material genético apropriado e sob manejo adequado (MAESTRI et al., 2005).

No Brasil, o uso da madeira de eucalipto vem sendo reconhecido como uma das principais alternativas de suprimento de madeira serrada para a indústria de base florestal. Isto se deve a sua capacidade produtiva, à adaptabilidade a diversos ambientes e, principalmente, à expressiva diversidade de espécies que possui, o que possibilita atender a requisitos tecnológicos dos mais diversos segmentos da produção industrial madeireira (ASSIS, 1999).

Porém, o rendimento no processamento primário da madeira de eucalipto é ainda considerado baixo, devido aos defeitos inerentes a essas espécies, que reduzem os seus valores como produtoras de sólidos. Dentre os defeitos, destacam-se os oriundos das tensões de crescimento, responsáveis por rachaduras e empenamentos.

As tensões de crescimento são consideradas mecanismos apresentados pelas folhosas arbóreas para que permaneçam de forma eretas. Estão localizadas nas partes mais externas dos fustes fazem um papel estrutural para a sustentação, sendo fundamentais para que os fustes das árvores não se quebrem facilmente quando submetidas a ventos ou outros esforços

laterais. Os fustes das folhosas apresentam, na parte externa, as forças de tração e, como consequência, a parte interna em compressão (ROCHA, 2000).

O resultado dos elevados níveis de tensões de crescimento reflete-se na diminuição do rendimento em madeira serrada, provocando, até mesmo, em certos casos, a sua inutilização na indústria de transformação, levando a um aumento dos custos de produção. Os efeitos negativos causados pelas tensões de crescimento limitam, em muito, a utilização da madeira do gênero *Eucalyptus* para a produção de madeira serrada de qualidade (TRUGILHO, 2005).

Todavia, busca-se estudar as tensões de crescimento juntamente com as variáveis de crescimento, na expectativa de avaliar a sua relação com a ocorrência de defeitos na madeira sólida, para, com isso, tentar amenizar o seu efeito, provocando a melhoria da qualidade do produto, promovendo a agregação de valor e aumentando a competitividade.

Dessa forma, o presente estudo teve como objetivos avaliar a intensidade das tensões de crescimento em um povoamento de *Eucalyptus* spp. e verificar sua relação com as variáveis dendrométricas da madeira, fornecendo subsídios para futuros programas de melhoramento florestal direcionados à melhoria da qualidade da madeira.

3.2 Material e métodos

As informações referentes à localização e à caracterização da área experimental, bem como à descrição do experimento, seguiram os procedimentos descritos nos itens 2.2.1.

3.2.1 Seleção dos clones

Os clones de *Eucalyptus* spp. foram selecionados por meio das variáveis de crescimento obtidas de um inventário florestal realizado aos três e aos sete anos de idade. Para tanto, foram mensurados os caracteres diâmetro à altura do peito, aos três anos (DAP3) e aos sete anos (DAP7), e a altura total das árvores, aos sete anos (h7).

Com base nos dados desses três caracteres, os 138 clones foram alocados em cinco grupos, com o auxílio do método das k-médias (BARROSO E ARTES, 2003; MINGOTI, 2005), conforme a Tabela 3.1.

TABELA 3.1- Agrupamento dos clones de *Eucalyptus* spp. com os respectivos números de clones e médias dos caracteres avaliados.

Grupos ¹	1	2	3	4	5
Nº de clones	25	33	24	28	28
DAP3 (cm) ²	14,84	13,77	12,90	12,09	10,91
DAP7 (cm) ³	24,66	21,43	17,88	14,72	12,32
h7 (m) ⁴	30,23	27,85	24,77	21,90	18,38

Onde: ⁽¹⁾ Formados por meio do método das k-médias; ⁽²⁾ Diâmetro à altura do peito aos 3 anos de idade (cm); ⁽³⁾ Diâmetro à altura do peito aos 7 anos de idade (cm); ⁽⁴⁾ Altura total aos 7 anos de idade (m).

Através desse agrupamento, selecionou-se 29 clones para o estudo. Destes, foram selecionados 15 clones pertencentes ao grupo 1, 10 clones pertencentes ao grupo 2 e quatro clones do grupo 3, conforme a Tabela 3.2. Os clones pertencentes aos grupos 4 e 5 não foram selecionados devido aos baixos valores de suas variáveis dendrométricas.

TABELA 3.2 - Descrição dos clones de *Eucalyptus* spp. selecionados para o estudo.

Grupo 1		Grupo 2		Grupo 3	
Clone	Genealogia	Clone	Genealogia	Clone	Genealogia
8	<i>E. urophylla</i> x <i>E. grandis</i>	1	<i>E. urophylla</i> x <i>E. maidenii</i>	7	<i>E. urophylla</i> x <i>E. grandis</i>
9	<i>E. urophylla</i> x <i>E. grandis</i>	3	<i>E. globulus</i> x <i>E. grandis</i>	16	<i>E. grandis</i> x <i>E. maidenii</i>
12	<i>E. grandis</i> x <i>E. grandis</i>	10	<i>E. urophylla</i> x <i>E. grandis</i>	22	<i>E. saligna</i> x <i>E. saligna</i>
26	<i>E. grandis</i> x <i>E. grandis</i>	11	<i>E. urophylla</i> x <i>E. grandis</i>	23	<i>E. saligna</i> x <i>E. saligna</i>
29	<i>E. grandis</i> x <i>E. grandis</i>	13	<i>E. urophylla</i> x <i>E. grandis</i>		
31	<i>E. saligna</i> x <i>E. saligna</i>	14	<i>E. urophylla</i> x <i>E. kirtoniana</i>		
33	<i>E. urophylla</i> x <i>E. grandis</i>	21	<i>E. urophylla</i> x <i>E. grandis</i>		
34	<i>E. urophylla</i> x <i>E. grandis</i>	24	<i>E. saligna</i> x <i>E. saligna</i>		
35	<i>E. urograndis</i> x <i>E. grandis</i>	25	<i>E. urophylla</i> x <i>E. grandis</i>		
53	<i>E. urophylla</i> x <i>E. globulus</i>	27	<i>E. urophylla</i> x <i>E. grandis</i>		
54	<i>E. urophylla</i> x <i>E. globulus</i>				
64	<i>E. urophylla</i> x <i>E. globulus</i>				
68	<i>E. urophylla</i> x <i>E. globulus</i>				
72	<i>E. urophylla</i> x <i>E. globulus</i>				
73	<i>E. urophylla</i> x <i>E. globulus</i>				

Para cada clone foram selecionadas oito árvores para a determinação das variáveis do estudo, totalizando 232 árvores amostradas aos oito anos de idade. Foram levados em consideração, para essa seleção, a forma do fuste (retilíneos), ausência de bifurcação, fenótipo, boas condições fitossanitárias e radiação solar. Árvores localizadas próximo às bordaduras não foram utilizadas, para eliminar as interferências ocasionadas por ventos.

3.2.2 Variáveis dendrométricas

As variáveis dendrométricas selecionadas para avaliar as tensões de crescimento foram o diâmetro à altura do peito (DAP), a altura total (h), a espessura de casca (EC) e o volume.

A mensuração do diâmetro à altura do peito (DAP) foi realizada com o auxílio de uma suta métrica, medindo-se o diâmetro com casca das árvores selecionadas.

Para determinar a altura total das árvores, utilizou-se o Vertex III. Esse equipamento contém um *transponder* que é preso na árvore, sendo sua função captar a distância em que o operador se afasta da árvore, bem como a altura da mesma. Já para a espessura de casca (EC), utilizou-se um facão para a retirada da casca à altura de 1,30 m do solo (DAP) e, em seguida, utilizando um paquímetro digital, mediu-se a mesma.

Para obtenção do volume, as árvores foram abatidas e cubadas pelo método de Smalian, no qual o volume de cada seção é calculado em função do comprimento e das áreas basais obtidas nas extremidades das seções (FINGER, 2006).

A determinação do volume total com casca das árvores de *Eucalyptus* spp. foi realizado através da mensuração dos diâmetros nas alturas de 0,10 m; 0,30 m; 1,30 m, 2,30 m; 3,30 m, seguindo de metro em metro, até a altura total das árvores. Diante dos dados obtidos, calculou-se o volume rigoroso (Equação 1).

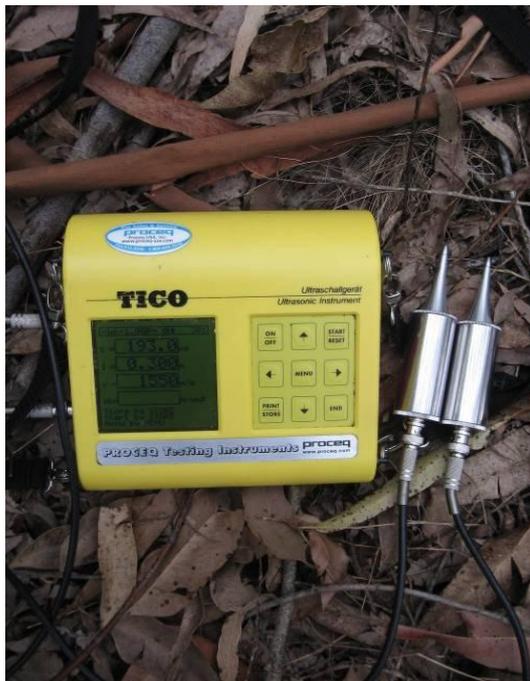
$$\text{Vol} = v_t + \sum v_i + v_c \quad (1)$$

Onde: Vol = volume total com casca da árvore *i*, m³; v_t = volume do toco [(h * gb)]; h = altura do toco, m; gb = área basal com casca na base do toco, m²]; $\sum v_i$ = somatório do volume das seções intermediárias ((g₁ + g₂) / 2) * L_i]; [g₁ = área basal no ponto 1 de cubagem (base), m²; g₂ = área basal no ponto 2 de cubagem (topo), m²; L_i = diferença de altura entre os dois pontos, m]; v_c = volume do cone [(1/3 * g_n * L_n); g_n = área basal com casca no último ponto de cubagem, m²; L_n = diferença de altura entre o último ponto de cubagem e a extremidade final da árvore, m].

O volume total sem casca das árvores de *Eucalyptus* spp. foi obtido pela Equação 1, porém, considerando os diâmetros sem casca das árvores no cálculo das áreas basais das seções.

3.2.3 Módulo de elasticidade dinâmico

Por meio do equipamento de ultrassom foi medido diretamente o tempo de propagação da onda, em microssegundos (μs), e a velocidade de propagação da onda (m/s), por meio da mensuração da distância entre os dois transdutores do aparelho (sensores responsáveis pela emissão e percepção das ondas) nas árvores, em pé e vivas, à altura do DAP, sem a presença de casca. Os transdutores utilizados foram do tipo ponto seco com frequência de 45 kHz, onde foram realizadas duas leituras ao redor do tronco das árvores no sentido base – topo, conforme a Figura 3.1.



(a)



(b)

FIGURA 3.1 – Medição da velocidade de propagação da onda nas árvores de *Eucalyptus* spp.; (a) equipamento de ultrassom; (b) procedimentos utilizados para as medições.

Após as leituras realizadas com o ultrassom, as árvores selecionadas foram abatidas para obtenção da massa específica saturada, utilizada para o cálculo do módulo de elasticidade dinâmico (E_d). A massa específica saturada foi obtida dos discos retirados ao DAP e, em seguida, transformados em cunhas, sendo essas posteriormente colocadas em um tanque com água, onde permaneceram até a determinação da massa (pesagem em balança analítica) e do volume saturado (método de deslocamento em água - empuxo), utilizados no cálculo da massa específica da madeira saturada.

Com isso, pôde-se estimar o módulo de elasticidade dinâmico (E_d) dos clones de *Eucalyptus* spp., por meio das variáveis de velocidade de propagação de onda e massa específica saturada, conforme a Equação 2.

$$E_d = V^2 * \rho \quad (2)$$

Onde: E_d = módulo de elasticidade dinâmico (N/m^2); V = velocidade de propagação da onda (m/s); ρ = massa específica da madeira saturada em água (kg/m^3).

3.2.4 Deformação residual longitudinal

A deformação residual longitudinal (DRL), considerada uma medida indireta da tensão de crescimento, foi determinada em árvores em pé e vivas, após a leitura com o ultrassom. Para essa medição, utilizou-se o método do “*Centre de Coopération Internationale em Recherche Agronomique pour le Développement, Département des Forêt*” – CIRAD-Forêt (Medidor de Deformação de Crescimento – “*Growth Strain Gauge*”), ao qual se utilizou um extensômetro. Esse equipamento mede o movimento longitudinal das fibras da madeira pela liberação das deformações residuais longitudinais existentes nas árvores.

Para o início da medição foi removida a casca do tronco das árvores na altura de 1,30 m do solo (diâmetro a altura do peito, DAP), de modo a abrir uma janela no tronco. Após, foram introduzidos dois pinos distantes entre si (45 mm), na direção da grã, para a fixação do aparelho de medição dotado de um relógio comparador (apalpador de medição). Em seguida, com o auxílio de uma furadeira manual foi realizado um orifício de 20 mm de diâmetro, na posição mediana entre os pinos.

O rompimento dos tecidos do lenho resultante dessa perfuração entre os pinos provoca a liberação das deformações no interior da árvore, sendo essa uma medida indireta das tensões de crescimento, registrada pelo relógio comparador do aparelho, conforme a Figura 3.2.



FIGURA 3.2 - Sequência (esquerda para direita) realizada para mensuração da deformação residual longitudinal nas árvores de *Eucalyptus* spp.

As leituras das DRLs foram realizadas em duas posições ao redor do tronco de uma mesma árvore, no sentido da linha de plantio. Não foram realizadas medições das deformações na presença de ventos, uma vez que o movimento da árvore pode vir a alterar o valor determinado no aparelho.

3.2.5 Estimativa da tensão de crescimento longitudinal

Com os dados de DRL e do E_d , pode-se estimar a tensão de crescimento longitudinal propriamente dita, para os clones de *Eucalyptus* spp., conforme a Equação 3.

$$TCL = \frac{E_d \times DRL}{45} \quad (3)$$

Onde: TCL = tensão de crescimento longitudinal (kgf/cm^2); E_d = módulo de elasticidade dinâmico obtido em árvores em pé e vivas (kgf/cm^2); DRL = deformação residual longitudinal média (mm); 45 = distância entre os dois pinos onde ocorre a deformação (mm).

3.2.6 Análise estatística

Os valores das variáveis deformação residual longitudinal (DRL), diâmetro à altura do peito (DAP), altura total (h), espessura de casca (EC), volume sem casca (Vsc), estimativa da tensão de crescimento longitudinal (TCL) e módulo de elasticidade dinâmico (E_d) foram

submetidos a análises de variância (ANOVA) considerando o valor de $p=0,05$., e as médias comparadas pelo teste de Scott-Knott em nível de 5% de probabilidade de erro.

Para avaliar a correlação entre as variáveis do estudo, foi determinada a matriz de correlação linear de Pearson (r) entre a DRL e as variáveis dendrométricas.

3.3 Resultados e discussão

3.3.1 Variáveis dendrométricas

Os resultados da análise de variância para as variáveis dendrométricas, em razão dos clones de *Eucalyptus* spp., evidenciam a existência de diferença estatística entre as variáveis dendrométricas (DAP, h, EC e Vsc) para os clones de *Eucalyptus* spp. Da mesma forma, verificou-se essa diferença para os blocos avaliados, exceto para EC (Tabela 3.3).

TABELA 3.3 - Resumo da análise de variância para o diâmetro à altura do peito (DAP), altura total (h), espessura de casca (EC) e volume sem casca (Vsc), para os clones de *Eucalyptus* spp.

FV	GL	Quadrados médios			
		DAP (cm)	h (m)	EC (mm)	Vsc (m ³)
Clones	28	22,17*	14,48 *	23,56*	0,11*
Blocos	3	13,26*	19,53 *	0,65 ^{NS}	0,08*
Erro	84	3,3781	2,2133	1,1623	0,0151

Onde: FV = fonte de variação; GL = graus de liberdade; * Significativo, pelo teste F, a 5% de probabilidade. ^{NS} = não significativo

Na Tabela 3.4, observa-se, através do teste de médias, que as variáveis dendrométricas apresentaram diferenças significativas entre os clones de *Eucalyptus* spp. Diante disto, pode-se verificar que o clone 26 (*E. grandis* x *E. grandis*) apresentou os maiores valores para o DAP, e o clone 16 (*E. grandis* x *E. maidenii*) menores valores, que são 30,71 e 20,75 cm, respectivamente. Da mesma forma, verificou-se, para h e Vsc, que o clone 26 (33,59 m e 1,111m³), juntamente com o clone 73 (33,65 m e 0,974 m³), apresentaram os maiores valores, ao passo que o clone 16, os menores valores (24,61 m e 0,319 m³) para essas variáveis. Já para a variável EC, os clones 8 (15,51 mm) e 9 (13,95 mm) apresentaram as maiores espessuras.

TABELA 3.4 - Valores médios para o diâmetro à altura do peito (DAP), altura total (h), espessura de casca (EC) e volume sem casca (Vsc), para os clones de *Eucalyptus* spp.

Clones	Grupos	DAP (cm)	h (m)	EC (mm)	Vsc (m ³)
8	1	27,75 b *	32,18 a	15,51 a	0,743 b
9	1	27,47 b	30,33 b	13,95 a	0,597 b
12	1	26,87 b	32,04 a	5,94 e	0,953 a
26	1	30,71 a	33,59 a	8,81 d	1,111 a
29	1	25,97 b	32,31 a	8,12 d	0,746 b
31	1	27,25 b	31,16 b	9,42 d	0,945 a
33	1	25,81 b	32,31 a	8,38 d	0,684 b
34	1	26,76 b	31,56 b	10,00 d	0,789 a
35	1	27,31 b	31,48 b	8,14 d	0,824 a
53	1	28,39 a	30,94 b	11,40 c	0,723 b
54	1	29,95 a	32,51 a	13,02 b	0,963 a
64	1	25,17 c	31,48 b	11,47 c	0,615 b
68	1	24,78 c	30,03 b	13,58 b	0,622 b
72	1	24,46 c	31,90 b	7,04 e	0,571 b
73	1	29,47 a	33,65 a	11,07 c	0,974 a
1	2	24,48 c	30,85 b	8,81 d	0,599 b
3	2	26,88 b	30,90 b	8,89 d	0,927 a
10	2	25,67 c	30,60 b	11,93 c	0,633 b
11	2	25,39 c	30,05 b	10,76 c	0,861 a
13	2	24,58 c	31,06 b	9,19 d	0,665 b
14	2	22,61 d	28,06 c	9,08 d	0,454 b
21	2	23,72 c	27,76 c	10,25 d	0,668 b
24	2	22,72 c	31,31 b	8,24 d	0,634 b
25	2	25,17 c	30,38 b	9,09 d	0,712 b
27	2	26,08 b	30,70 b	7,85 e	0,711 b
7	3	21,74 d	27,05 c	9,55 d	0,419 b
16	3	20,75 d	24,61 d	7,24 e	0,319 c
22	3	24,92 c	31,53 b	7,43 e	0,918 a
23	3	22,87 c	29,27 b	6,28 e	0,550 b
Média	-	25,71	30,74	9,67	0,722

Onde: * Médias seguidas por mesma letra na coluna não diferem entre si, pelo teste Scott-Knott a 5% de probabilidade de erro.

Lima et al. (2004), estudando híbridos de *E. grandis* x *E. urophylla* aos 8,5 anos de idade, encontraram valores médios inferiores para o diâmetro altura do peito, altura total e volume sem casca, comparados aos valores médios das variáveis do presente estudo. Já Souza et al., (2003), encontrou valores médios para o diâmetro a altura do peito de 27,3 cm e altura total de 28,8 m para 11 clones de *Eucalyptus* spp. ao seis anos.

3.3.2 Deformação residual longitudinal

Com base nos resultados apresentados na Tabela 3.5, para a análise de variância das leituras da DRL, em razão dos clones de *Eucalyptus* spp., pode-se observar que ocorreram diferenças significativas, ao nível de 5% de probabilidade de erro, com valor de $F_{cal.}=10,89$. Da mesma forma, verificou-se esta diferença entre os blocos.

TABELA 3.5 - Resumo da análise de variância das leituras da deformação residual longitudinal (DRL) para os clones de *Eucalyptus* spp.

FV	GL	SQ	QM	F	Prob.>F
Clones	28	0,269689	0,009632	10,89	< 0,0001*
Blocos	3	0,039453	0,013151	14,67	< 0,0001*
Erro	84	0,074245	0,000884	-	-
Total	115	0,383387	-	-	-

Onde: FV = fonte de variação; GL = graus de liberdade; SQ = soma dos quadrados; QM = quadrado médio; F = valor de F calculado; Prob.>F = nível de probabilidade de erro; * Significativo, pelo teste F, a 5% de probabilidade; ^{NS} = não significativo.

Essa diferença, ou melhor, a variabilidade verificada entre os clones de *Eucalyptus* spp. para a variável DRL, é necessária, caso a finalidade do estudo seja a seleção de clones com menores níveis de tensões de crescimento e, conseqüentemente, madeira com menores riscos de apresentar defeitos no abate e posterior desdobro.

Da mesma forma, Trugilho et al. (2002) verificou que o efeito de clone foi altamente significativo para a DRL em seu estudo com 11 clones de *Eucalyptus* aos seis anos de idade, indicando a existência de grande variabilidade entre os materiais avaliados.

TABELA 3.6 - Valores médios das leituras da deformação residual longitudinal (DRL) para os clones de *Eucalyptus* spp.

Clones	Grupos	DRL 1* (mm)	DRL 2* (mm)	DRL Média (mm)
8	1	0,093	0,112	0,103 a**
9	1	0,135	0,118	0,127 a
12	1	0,094	0,132	0,113 a
26	1	0,082	0,160	0,121 a
29	1	0,156	0,166	0,161 b
31	1	0,108	0,098	0,103 a
33	1	0,133	0,154	0,144 b
34	1	0,108	0,132	0,120 a
35	1	0,109	0,129	0,119 a
53	1	0,091	0,134	0,113 a
54	1	0,114	0,107	0,110 a
64	1	0,139	0,159	0,149 b
68	1	0,085	0,104	0,095 a
72	1	0,082	0,106	0,094 a
73	1	0,195	0,266	0,231 c
1	2	0,173	0,222	0,198 c
3	2	0,118	0,135	0,127 a
10	2	0,183	0,259	0,221 c
11	2	0,189	0,215	0,202 c
13	2	0,121	0,125	0,123 a
14	2	0,142	0,152	0,147 b
21	2	0,129	0,165	0,147 b
24	2	0,139	0,135	0,137 b
25	2	0,154	0,173	0,164 c
27	2	0,276	0,356	0,316 d
7	3	0,131	0,229	0,180 c
16	3	0,116	0,084	0,100 a
22	3	0,126	0,164	0,145 b
23	3	0,127	0,153	0,140 b
Média	-	0,133	0,160	0,147

Onde: *DRL 1, 2: posições de mensuração da DRL ao redor do tronco da árvore, no sentido da linha de plantio;
 ** Médias seguidas por mesma letra na coluna não diferem entre si, pelo teste Scott-Knott a 5% de probabilidade de erro.

De acordo com os resultados apresentados na Tabela 3.6, verificou-se que o valor médio encontrado para DRL em árvores em pé e vivas, para os 29 clones de *Eucalyptus* spp., foi de 0,147 mm.

Como os níveis dessa variável apresentam grande influência sobre a produção madeireira, alguns clones se destacaram por apresentarem menores valores, como é caso dos clones 72 (*E. urophylla* x *E. globulus*) e 68 (*E. urophylla* x *E. globulus*), apresentando 0,094 e 0,095 mm, respectivamente. Já o clone 27 (*E. urophylla* x *E. grandis*) demonstrou elevados valores, atingindo 0,316 mm de deformação.

Diante dos valores encontrados para a DRL no presente estudo, pode-se verificar, na Tabela 3.7, a comparação desses valores em diferentes pesquisas, levando em consideração as diferentes espécies e idades.

TABELA 3.7 - Comparação de valores médios para a deformação residual longitudinal (DRL) obtidos por outros estudos.

Fonte	Espécie	Idade (anos)	DRL (mm)
BELTRAME et al. (2012)	<i>Eucalyptus</i> spp.	09	0,111
CARVALHO et al. (2010)	<i>Corymbia citriodora</i>	15	0,106
	<i>Eucalyptus urophylla</i>	15	0,092
RODRIGUES (2007)	<i>Eucalyptus</i> spp.	10	0,081
TRUGILHO (2005)	<i>Eucalyptus</i> spp.	06	0,090
TRUGILHO et al. (2006)	<i>Eucalyptus</i> spp.	10,5	0,093
GONÇALVES (2006)	<i>E. urophylla</i> x <i>E. grandis</i>	13,8	0,158
LIMA et al. (2004)	<i>E. grandis</i>	15	0,095
	<i>E. grandis</i> x <i>E. urophylla</i>	8,5	0,073
PÁDUA et al. (2004)	<i>Eucalyptus</i> spp.	8,6	0,069
	<i>Eucalyptus</i> spp.	7,6	0,083
	<i>Eucalyptus</i> spp.	04	0,074
SOUZA (2002)	<i>Eucalyptus dunnii</i>	14	0,141
MUNERI et al. (2000)	<i>Eucalyptus cloeziana</i>	04	0,077
Presente estudo	<i>Eucalyptus</i> spp.	08	0,147

Comparando os valores médios das DRLs da maior parte dos autores citados, nota-se que os clones de *Eucalyptus* spp. do presente estudo apresentaram maiores valores de deformações. Nesse sentido, pode-se constatar que os menores níveis de DRL foram descritos no estudo de Pádua et al. (2004), em que este encontrou valores de 0,069 mm para *Eucalyptus* spp., aos 8,6 anos de idade. Da mesma forma, Lima et al. (2004) e Muneri et al. (2000) encontraram baixos níveis de DRL para *Eucalyptus*.

Porém, em outros estudos, foram encontrados valores superiores e similares a DRL do presente estudo, como é o caso de Gonçalves (2006), que obteve valores médios de 0,158 mm para clones de *E. urophylla* x *E. grandis*, e de Souza (2002), que encontrou 0,141 mm para *Eucalyptus dunnii*.

Em relação aos valores de DRL, clones com menores valores de deformações podem ser indicados para programas de melhoramento genético que visem a uma futura produção de madeira sólida. Isso poderá propiciar uma produção de madeira de melhor qualidade, reduzindo, assim, os principais defeitos decorrentes das tensões, como cerne quebradiço, fendas ou rachaduras de extremidade de tora e empenamentos das peças serradas (NICHOLSON, 1973; GARCIA, 1992; CRÊSPO, 2000; GARCIA et al., 2001).

Entretanto, clones com elevados valores de DRL devem ter outra finalidade que não seja a produção de madeira de qualidade, pois, possivelmente, apresentarão defeitos na madeira.

Contudo, deve ser levado em consideração que as variações das deformações podem estar relacionadas a diversos fatores, como genéticos, ambientais, idades, locais de avaliação, equipamentos de mensuração, contribuindo para o acontecimento dessa diferença (TRUGILHO, 2005). Já Lima et al. (2004) e Cardoso Junior (2005) apontaram a intensidade de desbastes como um dos fatores decisivos na magnitude das deformações ou tensões de crescimento. Esse fato pode ser explicado partindo-se do princípio de que quanto maior a precocidade e a quantidade de desbastes, menor a competição entre as árvores, permitindo, portanto, que as árvores cresçam livremente e em ritmo acelerado, produzindo madeira mais homogênea e estável.

Esse fator pode ter sido decisivo no desenvolvimento das tensões do povoamento de *Eucalyptus* spp. desse estudo, já que, como esse povoamento foi implantado para a produção de celulose, não houve preocupação com a execução de desbaste, o que pode ter acentuado a competição entre as árvores.

A partir do agrupamento realizado para a seleção dos clones, buscou-se verificar os níveis das DRL entre os grupos de clones formados. Na Figura 3.3, observa-se a variação dos valores médios da DRL para os três grupos de clones de *Eucalyptus* spp. selecionados para o estudo.

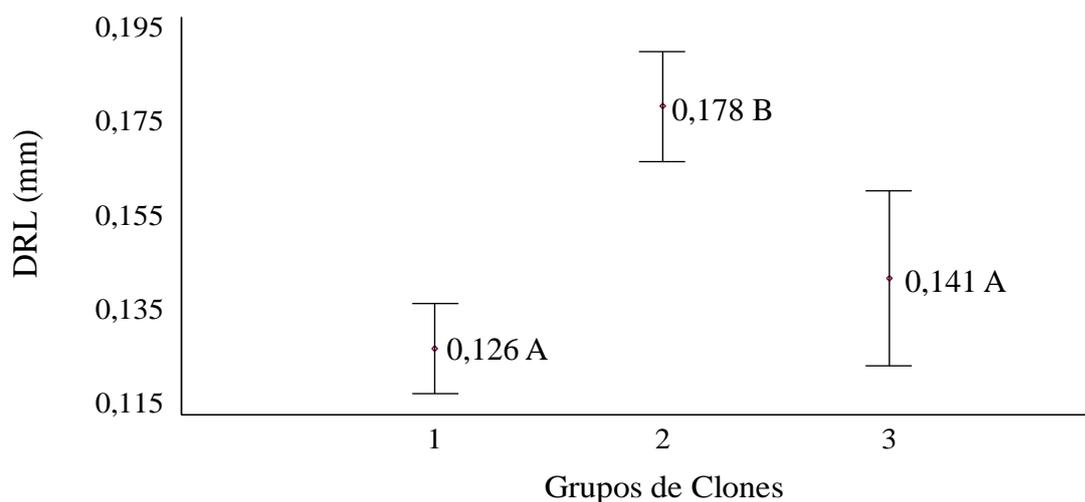


FIGURA 3.3 – Valores médios da deformação residual longitudinal (DRL) para os três grupos de clones de *Eucalyptus* spp. Médias seguidas por mesma letra não diferem entre si, pelo teste DMS (diferença mínima significativa - $\alpha = 5\%$) de Fisher.

Pelos resultados obtidos para a DRL na forma de grupos, pode-se observar que os clones pertencentes ao grupo 1 apresentaram menores valores médios de deformação, sendo estes materiais genéticos potenciais a serem indicados a programas de melhoramento florestal. Porém, os clones do grupo 1 não se diferenciaram estatisticamente dos clones pertencentes ao grupo 3 em relação à DRL. Já os valores médios obtidos para os clones pertencentes ao grupo 2 apresentaram os maiores níveis de deformações.

3.3.3 Correlações entre a DRL e as variáveis dendrométricas

De acordo com Tabela 3.8, os resultados das correlações entre as variáveis dendrométricas e a DRL não foram significativos, verificando para esse estudo uma fraca influência das características de crescimento. Em relação ao DAP, h, EC e Vsc, observou-se que estes se correlacionaram significativamente e positivamente entre si.

TABELA 3.8 - Correlação de Pearson entre a deformação residual longitudinal (DRL), diâmetro à altura do peito (DAP), altura total (h), espessura de casca (EC) e volume sem casca (Vsc).

	DRL (mm)	DAP (cm)	h (m)	EC (mm)	Vsc (m ³)
DRL (mm)	1	-0,0394 ^{NS}	0,0062 ^{NS}	-0,0756 ^{NS}	-0,0580 ^{NS}
DAP (cm)		1	0,6509**	0,3844**	0,5708**
h (m)			1	0,1371*	0,5413**
EC (cm)				1	0,0153**
Vsc (m ³)					1

Onde: * = significativo ao nível de 5% de probabilidade de erro; ** = significativo ao nível de 1% de probabilidade de erro; ^{NS} = não significativo.

Para Trugilho et al. (2007), os resultados das correlações entre as características de crescimento e a DRL foram baixos para 11 clones naturais do gênero *Eucalyptus*, aos 6 anos de idade. Da mesma forma, Souza (2002) não encontrou correlação entre a DRL e as características de crescimento em árvores de *Eucalyptus* spp., corroborando com o resultado do presente estudo.

Em sua pesquisa, Chafe (1985) também não encontrou correlação significativa entre tensão de crescimento e diâmetro de *Eucalyptus nitens* em árvore em pé, porém, para o *Eucalyptus regnans*, ocorreu uma correlação significativa e positiva.

No entanto, Muneri et al. (2000) descrevem que existem correlações positivas e significativas entre a DRL e as características de crescimento em árvores de *Eucalyptus cloeziana*. Esse fato denota o quanto são diversificadas as interações das DRLs com as características de crescimento de uma espécie para outra.

Carvalho et al. (2010) verificaram para *Corymbia citriodora*, aos 15 anos de idade, que o coeficiente de correlação simples (r) entre o valor da DRL média e o DAP médio foi de -0,84, sendo identificada, assim, relação significativamente negativa, indicativa de que, no geral, árvores de maior incremento diamétrico apresentam menores valores de DRL nessa espécie, com essa idade.

Beltrame et al. (2012), estudando a DRL em *Eucalyptus* spp., aos 9 anos de idade, encontraram correlações significativas e negativas entre a DRL e o DAP e volume com casca, bem como uma correlação significativa e positiva para a EC. Em relação à h, esta não apresentou correlação com a DRL. Já Lima et al. (2004) obtiveram resultados semelhantes, encontrando correlação entre DRL, DAP e Vsc, para clones de *Eucalyptus* spp., em diferentes idades.

3.3.4 Estimativa da tensão de crescimento longitudinal

Por meio de métodos de fácil medição a campo, considerados não destrutivos, estimou-se a tensão de crescimento longitudinal (TCL) propriamente dita, em razão da deformação residual longitudinal (DRL) e do módulo de elasticidade dinâmico (Ed), medido nas árvores em pé e vivas.

Diante dos resultados apresentados na Tabela 3.9, verificou-se que os clones de *Eucalyptus* spp. apresentaram valores médios de 0,147 mm, 31417 kgf/cm² e 102,3 kgf/cm², para a DRL, Ed e TCL, respectivamente. Os valores encontrados para a TCL variaram entre 57,5 kgf/cm² (clone 53) e 185,2 kgf/cm² (clone 1).

No entanto, os valores obtidos para a TCL apresentaram uma pequena variação em relação aos valores obtidos para a DRL (medida indireta da tensão de crescimento), devido à influência dos valores do Ed medido nas árvores em pé e vivas.

Considerando o Ed, os valores encontrados no presente estudo são muito inferiores quando comparados a valores de Ed determinados em laboratórios, conforme os obtidos por Trugilho (2005). Este fato pode estar relacionado à metodologia utilizada, podendo esta não ser a mais adequada para a estimativa do Ed em árvores em pé e vivas e, conseqüentemente, para a estimativa da TCL.

TABELA 3.9 - Estimativa da tensão de crescimento longitudinal (TCL) por meio da deformação residual longitudinal (DRL) e módulo de elasticidade dinâmico (Ed), para os clones de *Eucalyptus* spp.

Clones	Grupos	DRL (mm)	Ed (kgf/cm ²)	TCL (kgf/cm ²)
8	1	0,103	42218	96,6 a *
9	1	0,127	26783	75,2 a
12	1	0,113	23745	59,5 a
26	1	0,121	24811	72,2 a
29	1	0,161	26449	93,7 a
31	1	0,103	27287	62,9 a
33	1	0,144	32601	104,6 a
34	1	0,120	35651	95,2 a
35	1	0,119	24997	67,3 a
53	1	0,113	23186	57,4 a
54	1	0,110	25561	66,7 a
64	1	0,149	36430	118,3 b
68	1	0,095	31493	66,5 a
72	1	0,094	30915	64,6 a
73	1	0,231	35561	183,9 c
1	2	0,198	42596	185,2 c
3	2	0,127	25484	74,5 a
10	2	0,221	30694	149,2 b
11	2	0,202	27908	119,2 b
13	2	0,123	31634	86,8 a
14	2	0,147	27411	90,1 a
21	2	0,147	20126	62,9 a
24	2	0,137	38376	111,1 a
25	2	0,164	44552	161,3 c
27	2	0,316	23342	164,6 c
7	3	0,180	33274	132,6 b
16	3	0,100	34426	74,8 a
22	3	0,145	39695	129,5 b
23	3	0,140	43882	143,1 b
Médias	-	0,147	31417	102,3

Onde: * Médias seguidas por mesma letra na coluna não diferem entre si, pelo teste Scott-Knott a 5% de probabilidade de erro.

De acordo com Figura 3.4, observa-se que os valores médios estimados para a TCL, para os três grupos, apresentaram diferenças estatísticas. Com isso, observa-se que os clones pertencentes ao grupo 1 apresentaram os menores valores, corroborando os valores apresentados para a DRL na forma de grupos. Já os grupos 2 e 3 não apresentaram diferenças estatísticas entre si para a TCL.

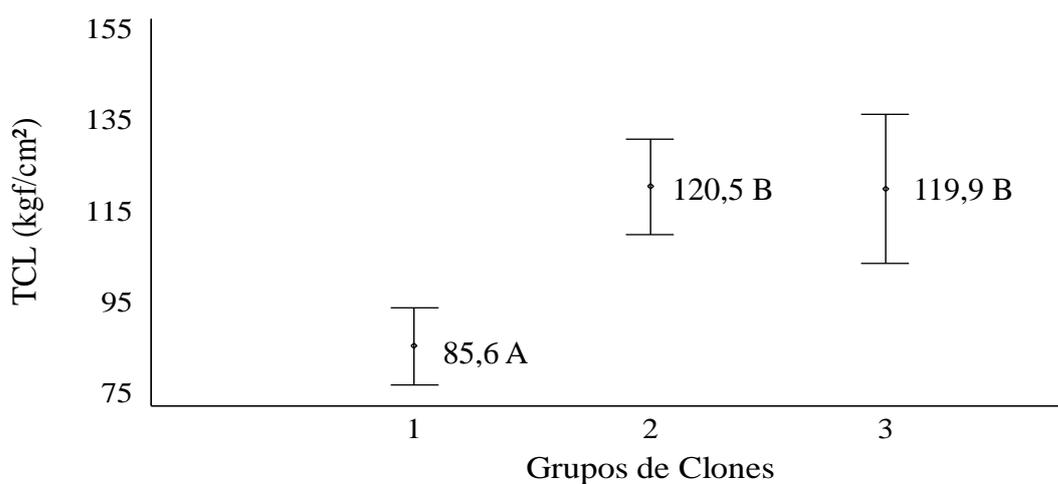


FIGURA 3.4 - Estimativa dos valores médios da tensão de crescimento longitudinal (TCL) para os três grupos de clones de *Eucalyptus* spp. Médias seguidas por mesma letra não diferem entre si, pelo teste DMS (diferença mínima significativa - $\alpha = 5\%$) de Fisher.

3.4 Conclusões

Diante dos resultados do presente estudo, pôde-se concluir que:

- ✓ a deformação residual longitudinal apresentou variabilidade entre os clones e grupos, o que é conveniente para o melhoramento genético florestal;
- ✓ o valor médio obtido para a deformação residual longitudinal foi de 0,147 mm. Os clones 72 (*E. urophylla* x *E.globulus*) e 68 (*E. urophylla* x *E.globulus*) apresentaram os menores valores para a deformação residual longitudinal;

- ✓ a deformação residual longitudinal não apresentou correlações com as variáveis dendrométricas (diâmetro à altura do peito, altura total, espessura de casca e volume sem casca);
- ✓ o valor médio da estimativa da tensão de crescimento longitudinal por meio do módulo de elasticidade dinâmico foi de 102,3 kgf/cm²;
- ✓ os clones pertencentes ao grupo 1, por apresentarem os menores níveis para a deformação residual longitudinal e para estimativa da tensão de crescimento longitudinal, podem ser considerados potenciais para programas de melhoramento florestal, visando à obtenção de madeiras de qualidade.

3.5 Referências

ASSIS, T. F. Aspecto do melhoramento de *Eucalyptus* para obtenção de produtos sólidos de madeira. In: **Técnicas de abate, processamento e utilização da madeira de eucalipto**, 1999, Viçosa. Workshop. Viçosa: DEF/SIF/UFV/IEF, 1999. p. 61 – 72.

BARROSO, L. P.; ARTES, R. **Análise multivariada**. Lavras: UFLA, 2003. 151p.

BELTRAME, R., et al. Determinação das deformações residuais longitudinais decorrentes das tensões de crescimento em *Eucalyptus spp.* **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 22, n. 2, p. 343-351, 2012.

CARDOSO JUNIOR, A. A. et al. Deformação residual longitudinal em diferentes espaçamentos e idade em clones de híbridos de *Eucalyptus*. **Cerne**, Lavras, v. 11, n. 3, p. 218-224, 2005.

CARVALHO, A. M. et al. Correlações da altura e diâmetro com tensões de crescimento em árvores de *Corymbia citriodora* e *Eucalyptus urophylla*. **Revista Árvore**, Viçosa, v.34, n.2, p.323-331, 2010.

CHAFE, S.C. Variation in longitudinal growth stress with height in trees of *Eucalyptus nitens* Maiden. **Australian Forest Research**, Melbourne, v.15, p.51-55, 1985.

CRÊSPO, E. A. **Tensão de crescimento e suas consequências, controláveis e não controláveis, no desdobro e secagem do *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna***. 2000. 119 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2000.

FINGER, C. A. G. **Biometria Florestal**. Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria – Departamento de Ciências Florestais, 2006. 284 p.

GARCIA, J. N. **Estados de tensão em árvores e de deformação em peças de madeira serrada**. 1992. 262 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Construção Civil e Urbana) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 1992.

GARCIA, J. N.; CRÊSPO, E. A.; BAILLÈRES, H. Influence of log characteristics and machines performance on *Eucalyptus* board and splitting and board deflections. In: INTERNATIONAL WOOD MACHINING SEMINAR, 15., 2001, Los Angeles. **Proceedings...** Berkeley: Wood Machining Institute, 2001. p. 163-171.

GONÇALVES, G. G. **Avaliação da qualidade da madeira de híbrido clonal de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* para produtos sólidos**. 2006. 165 f. Dissertação (Mestrado em Produção vegetal) – Universidade Federal de Espírito Santo, Alegre, 2006.

JÚNIOR, A. A. C., et al. Efeito dos tratamentos silviculturais sobre a deformação residual longitudinal em clones de *Eucalyptus*. **Scientia Forestalis**. Piracicaba, n. 75, p. 77-84, 2007.

LIMA, J. T. et al. Deformações residuais longitudinais decorrentes de tensões de crescimento em eucaliptos e suas associações com outras propriedades. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 28, n. 1, p. 107-116, 2004.

MAESTRI, R.; NUTTO L.; SARTORIO R.C. Ganhos tecnológicos na produção de madeira reflorestada sob manejo. In: Seminário de Produtos Sólidos de Madeira de Eucalipto e Tecnologias Emergentes para a Indústria Moveleira, 3., 2005, Vitória. **Anais...** Vitória, SIF, 2005. v. 1, p. 1-19.

MINGOTI, S. A. **Análise de dados através de métodos de estatística multivariada**. Belo Horizonte: UFMG, 2005. 297p.

MUNERI, A. et al. Relationships between surface longitudinal growth strain and tree size, wood properties and timber distortion of 4 years old plantation grown *Eucalyptus cloeziana*. In: IUFRO CONFERENCE – The Future of *Eucalyptus* for Wood Products, 2000, Launceston, Australia, IUFRO. **Proceedings...** Launceston. 2000. p. 292-300.

NICHOLSON, J. E. Growth stresses differences in *Eucalyptus*. **Forest Science**, Bethesda, v. 19, n. 3, p. 169-174, 1973.

PÁDUA, F. A. et al. Estimativa de parâmetros genéticos das tensões de crescimento em clones de *Eucalyptus*. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 66, p. 152-160, dez. 2004.

ROCHA, M. P. ***Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden e *Eucalyptus dunnii* Maiden como fontes de matéria prima para serraria**. 2000. 185 f. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2000.

RODRIGUES, E. A. C. **Estimação de parâmetros genéticos, fenotípicos e ambientais para a qualidade da madeira de *Eucalyptus* em árvores vivas**. 2007. 102 f. Tese (Doutorado em Florestas e Produção) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2007.

SOUZA, M. A. M. de. **Deformação residual longitudinal (DRL) causada pelas tensões de crescimento em clones de híbridos de *Eucalyptus***. 2002. 72 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2002.

SOUZA, M. A. M. et al. Deformação residual longitudinal e sua relação com algumas características de crescimento e da madeira em clones de *Eucalyptus*. **Revista Floresta**, Curitiba, v. 33, n. 3, p. 275-284, 2003.

TREVISAN, R. **Efeito da intensidade de desbaste nas características dendrométricas e tecnológicas de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden**. 2006. 138 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais)–Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2006.

TRUGILHO, P. F. et al. Avaliação da tensão de crescimento em clones de *Eucalyptus*. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 9, n. 1, p. 38-44, 2002.

TRUGILHO, P. F. **Tensão de crescimento em árvores vivas de clones de *Eucalyptus* spp. e de *Eucalyptus dunnii* Maiden e propriedades de sua madeira**. 2005. 123 f. Tese (Pós Doutorado em Ciências Florestais), Universidade Federal do Paraná, Curitiba 2005.

TRUGILHO, P. F. et al Deformação residual longitudinal (DRL) e tangencial (DRT) em seis clones de *Eucalyptus* spp. **Cerne**, Lavras, v. 12, n. 3, p. 279-286, 2006.

TRUGILHO, P. F. et al. Deformação residual longitudinal (DRL) e sua relação com as características de crescimento da árvore em clones de *Eucalyptus*. **Cerne**, Lavras, v. 13, n. 2, p. 130-137, 2007.

4 TENSÃO DE CRESCIMENTO E SUA RELAÇÃO COM AS RACHADURAS DE TOPO E AS PROPRIEDADES TECNOLÓGICAS DA MADEIRA DE *Eucalyptus* spp.

4.1 Introdução

Os plantios florestais com espécies exóticas, como é o caso do eucalipto, apresentam grande enfoque para a produção volumétrica, mas nem sempre a qualidade da matéria-prima tem merecido atenção. É de fundamental importância que novas informações sobre essas espécies sejam relatadas, pois, além de fornecerem subsídios para diversas áreas da ciência florestal, poderão ser utilizadas para melhorar a qualidade da madeira na floresta, obtendo-se, assim, uma matéria-prima homogênea, com características desejáveis para uma determinada utilização (TREVISAN, 2006).

A definição de qualidade da madeira pode apresentar diferentes significados nos setores produtivos. Na silvicultura, a qualidade está inserida em árvores de boa forma cilíndrica e diâmetros homogêneos. Por outro lado, os processos tecnológicos requerem uma madeira com o mínimo possível de defeitos ao longo do tronco (nós ou rachaduras). Há, ainda, aqueles setores relacionados à construção civil que, de forma geral, exigem uma madeira com boa estabilidade dimensional.

Com a intensificação no uso da madeira de eucalipto como matéria-prima para fins industriais ou construtivos, torna-se importante o conhecimento de suas características químicas, anatômicas, físicas ou mecânicas. A madeira, por ser um material orgânico heterogêneo e composto basicamente de hemicelulose, lignina, celulose e extrativos, apresenta uma enorme versatilidade de usos para obtenção de uma série de produtos.

Entretanto, a maioria das espécies de *Eucalyptus* de rápido crescimento apresenta limitações técnicas quanto à substituição das madeiras tropicais na indústria madeireira, devido à ocorrência de defeitos como, por exemplo, rachaduras e empenamentos (arqueamento, encurvamentos, encanoamentos e torcimentos), bem como variações de dimensões causadas pelas tensões de crescimento (SCHACHT et al., 1998; TRUGILHO et al., 2002; SCANAVACA JUNIOR e GARCIA, 2003; HASELEIN et al., 2004; LIMA et al., 2004).

Dessa forma, busca-se estudar esse fenômeno na expectativa de avaliar a sua relação com a ocorrência de defeitos na madeira e tentar, com isso, amenizar o seu efeito, provocando a melhoria da qualidade do produto, agregando valor e aumentando sua competitividade (MALAN e HOON, 1992; SCHACHT et al., 1998; ROCHA e TOMASELLI, 2002).

De acordo com Assis (2000), a madeira de eucalipto é, por vezes, referida como de difícil processamento, em razão dos altos níveis de tensões de crescimento, dificultando a obtenção de materiais com qualidade superior. As rachaduras associadas a essas tensões, juntamente com os defeitos de secagem, trazem como resultado perdas significativas de material durante o processamento industrial, aspectos considerados como principais entraves à utilização econômica desse gênero (TRUGILHO et al., 2004; LIMA et al., 2007).

Alguns estudos foram desenvolvidos nos últimos anos, na busca de entender, quantificar e desenvolver métodos de controle dessas rachaduras e empenamentos, provocados pela tensão de crescimento, correlacionando-os a outras características da madeira (GARCIA, 1992; SOUZA, 2002; TRUGILHO, 2005).

Diante disso, o objetivo do presente estudo foi determinar os níveis de deformações residuais longitudinais; os índices de rachaduras de topo em toras; as propriedades tecnológicas; as estimativas das tensões de crescimento longitudinal; para, por fim, avaliar as correlações entre essas variáveis para a madeira de *Eucalyptus* spp.

4.2 Material e métodos

As informações referentes à localização, caracterização da área experimental, bem como a seleção dos clones, descrição de cada clone e o modo como foram selecionados para o estudo, seguiram os procedimentos descritos nos itens 2.2.1 e 3.2.1, respectivamente.

4.2.1 Deformação residual longitudinal

A deformação residual longitudinal (DRL), considerada uma medida indireta da tensão de crescimento, foi determinada em árvores em pé e vivas, com o auxílio de um extensômetro. Esse equipamento mede o movimento longitudinal das fibras da madeira pela liberação das deformações residuais longitudinais existentes nas árvores.

Para a medição, foi removida a casca do tronco das árvores na altura de 1,30 m do solo (diâmetro à altura do peito, DAP), para a introdução de dois pinos distantes entre si (45 mm) na direção da grã, para a fixação do aparelho. Em seguida, com o auxílio de uma furadeira

manual, foi realizado um orifício de 20 mm de profundidade na posição mediana entre os pinos.

O rompimento dos tecidos do lenho resultante dessa perfuração provoca a liberação das deformações no interior da árvore, sendo essa uma medida indireta das tensões de crescimento, registrada pelo relógio do aparelho.

4.2.2 Índices de rachaduras de topo

Para a avaliação dos índices de rachaduras de topo de tora (IRT) foram abatidas duas árvores de *Eucalyptus* spp. referentes a cada clone, sendo uma árvore por bloco, totalizando 58 árvores.

As árvores abatidas foram seccionadas em quatro toras conforme as posições DAP - 25, 25 - 50, 50 - 75 e 75 - 100% da altura comercial, com diâmetro limite de tronco de 10 cm para essa altura (Figura 4.1). Os comprimentos das toras seccionadas variaram conforme as alturas comerciais de cada árvore.

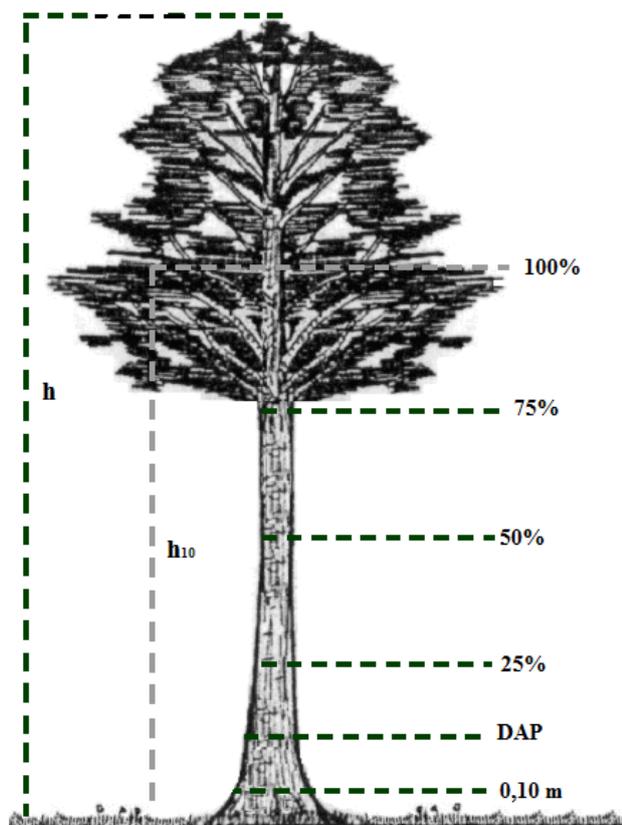


FIGURA 4.1 - Visualização do tronco e da forma de seccionamento das toras de *Eucalyptus* spp. retiradas para avaliação das rachaduras de topo.

A metodologia utilizada para a avaliação dos índices de rachaduras de topo foi a mesma utilizada por Trevisan (2010). As toras foram identificadas em função de sua posição de retirada (altura), de seu sentido base - topo e do clone.

Após a identificação, as extremidades das toras foram protegidas com sacos plásticos, visando minimizar as perdas naturais de umidade e, conseqüentemente, os efeitos da secagem ao ar livre no desenvolvimento de rachaduras (Figura 4.2).

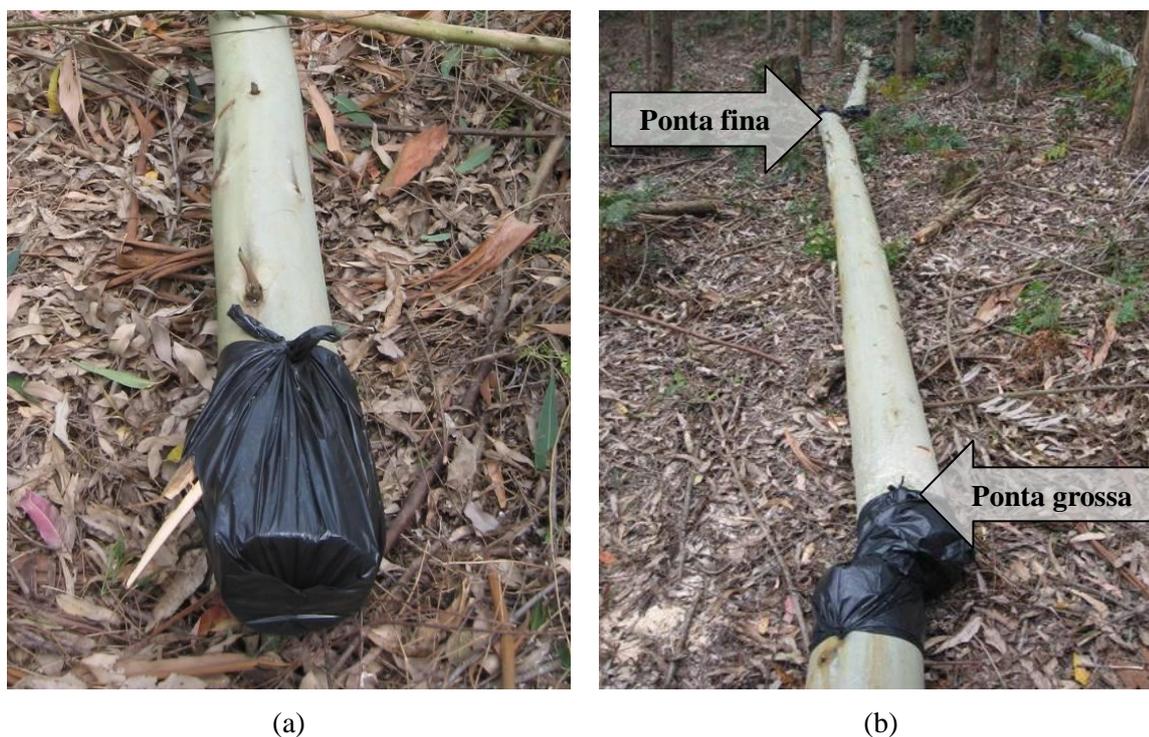


FIGURA 4.2 - Toras de *Eucalyptus* spp.; (a) proteção das extremidades das toras com sacos plásticos; (b) identificação da ponta grossa e ponta fina.

As toras protegidas por sacos plásticos permaneceram no mesmo local, por um período de cinco dias (120 horas), sem sofrer qualquer movimentação, conforme a metodologia proposta por Hillis (1984) e Purnell (1988). Ao fim desse período, foram retirados os sacos plásticos das extremidades e realizadas as medições das rachaduras de topo presentes nas toras. Foram medidos, com auxílio de um paquímetro digital com precisão de 0,01 mm, o comprimento das rachaduras na seção transversal (medula-casca) e a abertura máxima na ponta grossa e ponta fina das toras (Figura 4.3).



FIGURA 4.3 - Avaliação dos índices de rachaduras de topo das toras de *Eucalyptus* spp.; (a) comprimento das rachaduras na seção transversal; (b) abertura máxima no topo das toras.

Para o cálculo dos índices de rachaduras de topo, utilizou-se a metodologia descrita por Lima (2000), que consiste na mensuração direta de cada rachadura de topo de tora, sem atribuição de pesos (Equação 1).

$$IRT = 200 \left(\frac{\sum_{i=1}^n a_i C_i}{\pi D^2} \right) \quad (1)$$

Onde: IRT= índice de rachadura de topo, %; a_i = abertura máxima da rachadura ($i = 1; \dots; n$), cm; C_i = comprimento da rachadura (medula-casca), cm; D = diâmetro médio da seção de corte, cm.

4.2.3 Seccionamento e desdobro das toras

Após as medições realizadas a campo, foi selecionada a primeira tora (posição DAP – 25% altura comercial) de cada árvore para serem analisadas as demais variáveis propostas pelo estudo. Tais toras foram encaminhadas para o Laboratório de Produtos Florestais (LPF) da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), para serem desdobradas e, posteriormente,

utilizadas para a determinação das propriedades mecânicas. Retirou-se um pranchão central de cada árvore de, aproximadamente, oito centímetros de espessura, com a medula incluída e bem orientada (Figura 4.4).



FIGURA 4.4 - Desdobro das toras de *Eucalyptus* spp.; (a) equipamentos utilizados; (b)pranchões destinados aos ensaios mecânicos.

Os pranchões foram gradeados em local arejado, para uma secagem lenta e gradual. Depois de secos, as espessuras foram reduzidas de oito para seis centímetros, por meio de uma plaina desgrossadeira, para, então, serem transformados em peças de 6,0 x 6,0 cm, tendo-se o cuidado de eliminar a presença da medula. Essas peças foram seccionadas de acordo com as dimensões dos corpos de prova utilizados para determinação dos ensaios mecânicos.

4.2.4 Propriedades físicas da madeira

Para a determinação da massa específica básica, foram retirados discos nas posições 0,10 m (base), DAP, 25%, 50%, 75% e 100% da altura comercial, com diâmetro limite de 10 cm (Figura 4.5). Esses discos foram seccionados após a derrubada das árvores selecionadas, com espessuras de aproximadamente dois centímetros.

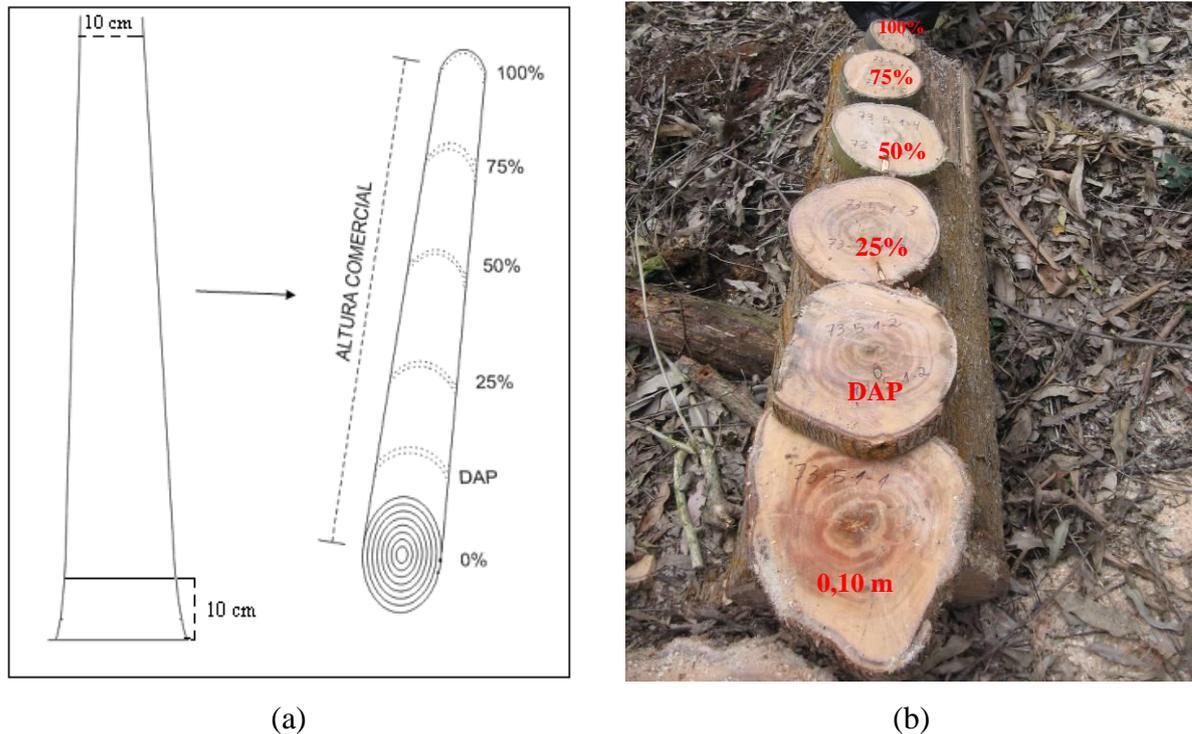


FIGURA 4.5 - Amostragem para a determinação da massa específica básica; (a) representação da posição de retirada dos discos; (b) discos identificados em razão da posição de retirada.

Primeiramente, os discos foram enumerados conforme o clone, bloco pertencente, árvore e posição de retirada no tronco. Após a identificação, foram armazenados em sacos plásticos para evitar a perda de umidade até que fossem transportados para o Laboratório de Produtos Florestais (LPF) da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM). Os discos foram cortados em duas cunhas simetricamente opostas, identificadas e inseridas em um tanque com água até atingirem peso constante.

A determinação do volume foi realizada pelo método de imersão em água sobre balança hidrostática, descrito por Vital (1984). O peso seco foi obtido após a secagem em estufa a 103 °C, através de pesagens sucessivas, até atingir peso constante. Com o volume saturado e o peso seco das cunhas, calculou-se a massa específica básica, conforme Equação 2.

$$\rho_b = \frac{M_s}{V_u} \quad (2)$$

Onde: ρ_b = Massa específica básica (g/cm^3); M_s = Massa seca em estufa a 103°C (g); V_u = Volume saturado (cm^3).

Após a obtenção da massa específica básica em cada posição do tronco, foi realizada a determinação da massa específica básica ponderada em função do volume de cada seção da árvore. Esse cálculo baseia-se na ponderação dos valores de massa específica básica, obtidos em cada posição, com os volumes sem casca, correspondentes entre duas posições sucessivas (VITAL, 1984), conforme a Equação 3.

$$\rho_{b_pond.} = \frac{[(\rho_{b_0\%} + \rho_{b_dap})/2].v_1 + [(\rho_{b_dap} + \rho_{b_25\%})/2].v_2 + \dots + [(\rho_{b_i} + \rho_{b_i+1})/2].v_j}{v_{10s/c}} \quad (3)$$

Onde: $\rho_{b_pond.}$ = massa específica básica ponderada em função do volume da árvore, g/cm³; ρ_{b_i} = massa específica básica na posição "i", g/cm³; v_1, v_2, v_j = volume sem casca correspondente a duas posições sucessivas, m³; $V_{10 s/c}$ = volume comercial sem casca da árvore, m³.

4.2.5 Propriedades mecânicas

Os procedimentos de confecção, condicionamento e ensaio mecânicos para os corpos de prova seguiram a recomendação da norma D 143-94 (ASTM - 2000). Nos ensaios de flexão estática, foram confeccionados corpos de prova com dimensões de 2,5 x 2,5 x 41,0 cm. As dimensões e velocidade do ensaio, para as demais propriedades estudadas, estão apresentadas na Tabela 4.1.

Após sua confecção, os corpos de prova foram acondicionados em câmara climatizada a uma temperatura de 20°C e 65% de umidade relativa. Nessas condições, foram mantidos até que não ocorressem mais variações de peso, ou seja, até a madeira atingir uma umidade de equilíbrio de, aproximadamente, 12%, para a realização dos ensaios mecânicos.

TABELA 4.1 - Propriedades, dimensões dos corpos de prova e velocidade dos ensaios utilizados na determinação das propriedades mecânicas.

Ensaio	Propriedades	Dimensões corpos de prova (cm)	Velocidade ensaios (mm/min)
Compressão paralela	- módulo de elasticidade ($E_{c12\%}$)	5,0 x 5,0 x 20,0	0,6
	- resistência à compressão ($f_{c12\%}$)		
Flexão estática	- módulo de elasticidade ($MOE_{12\%}$)	2,5 x 2,5 x 41,0	1,3
	- módulo de elasticidade saturado (E)*		
	- módulo de ruptura ($MOR_{12\%}$)		
Cisalhamento	- resistência ao cisalhamento a 12%	5,0 x 5,0 x 6,25	0,6
Dureza janka	- resistência à penetração de topo a 12%	5,0 x 5,0 x 15,0	6,0

Onde: * Módulo de elasticidade determinado para a estimativa da tensão de crescimento.

4.2.6 Estimativa da tensão de crescimento longitudinal

Para a estimativa da tensão de crescimento longitudinal, os corpos de prova destinados ao ensaio de flexão estática foram inseridos em um tanque com água, até atingirem completa saturação, para a determinação do módulo de elasticidade estático (E) e do módulo de elasticidade dinâmico (Ed), na condição saturada.

Posteriormente à saturação, foram realizadas medições nos corpos de prova, com o auxílio do ultrassom, para a determinação do Ed. Em seguida, os corpos de prova foram ensaiados para a obtenção do MOE, determinado pelo ensaio de flexão estática. Os valores encontrados para o MOE foram corrigidos, devido ao efeito do cisalhamento. Dessa forma, obteve-se o módulo de elasticidade verdadeiro (E), conforme descrito por Bodig e Jayne (1982).

Diante disso, foi possível estimar a tensão de crescimento longitudinal pelo módulo de elasticidade dinâmico (TCL_1) e pelo módulo de elasticidade estático (TCL_2), em razão da DRL, para os clones de *Eucalyptus* spp., conforme a Equação 4.

$$TCL = \frac{E \times DRL}{45} \quad (4)$$

Onde: TCL = tensão de crescimento longitudinal (kgf/cm²); E e Ed = módulo de elasticidade estático na condição de saturação (kgf/cm²) e módulo de elasticidade dinâmico na condição de saturação (kgf/cm²); DRL = deformação residual longitudinal medida na árvore em pé e viva (mm); 45 = distância entre os dois pinos onde foi medida a deformação (mm).

4.2.7 Análise estatística

As variáveis utilizadas no presente estudo foram submetidas a análises de variância (ANOVA) considerando o valor de $p=0,05$. As médias das variáveis foram comparadas pelo teste de Scott-Knott, em nível de 5% de probabilidade de erro.

Para avaliar a correlação entre a deformação residual longitudinal (DRL), a tensão de crescimento longitudinal estimada pelo módulo de elasticidade a flexão estática na condição saturada (TCL₂), o índice de rachadura de topo de tora (IRT), a massa específica básica ponderada (ρ_{pond}), o módulo de elasticidade a compressão paralela às fibras (E_c), resistência à compressão paralela às fibras (f_c), módulo de elasticidade à flexão estática (MOE), módulo de ruptura à flexão estática (MOR) e a resistência ao cisalhamento e dureza janka, foi determinada a matriz de coeficientes de correlação linear de Pearson (r).

4.3 Resultados e discussão

4.3.1 Deformação residual longitudinal

A deformação residual longitudinal média encontrada para os 29 clones de *Eucalyptus* spp., em árvores em pé e vivas, foi de 0,147 mm. Como os níveis dessa variável têm grande influência na produção madeireira, alguns clones se destacaram por apresentar menores valores para essa variável, como é caso do clone 72 (*E. urophylla* x *E. globulus*), que apresentou 0,094 mm. Já o clone 27 (*E. urophylla* x *E. grandis*) mostrou elevados valores, atingindo 0,316 mm de deformação, conforme a Tabela 3.6, citada no item 3.3.2.

Esses valores médios encontrados no presente estudo estão acima dos valores descritos por Pádua et al. (2004), que encontraram valores de 0,069 mm para *Eucalyptus* spp., aos 8,6 anos de idade. Da mesma forma, Lima et al. (2004) e Muneri et al. (2000) encontraram menores valores para a DRL, em *Eucalyptus*.

No entanto, deve ser levado em consideração que as variações das deformações podem estar relacionadas a diversos fatores, como genéticos, idades, locais de avaliação, equipamentos de mensuração, contribuindo para o acontecimento dessa diferença (TRUGILHO, 2005)

4.3.2 Índice de rachaduras de topo

O índice de rachaduras de topo pode ser considerado uma característica muito importante e útil na seleção de árvores de eucalipto para uso em serraria, principalmente para seleção de árvores com baixa intensidade de rachaduras na madeira serrada (LIMA et al., 2002). As rachaduras de topo em toras e em peças processadas constituem, provavelmente, a maior fonte de perdas na utilização industrial da madeira de eucalipto.

Por meio dos resultados obtidos na Tabela 4.2, pode-se observar a diferença significativa entre os clones de *Eucalyptus* spp., entre as posições de retirada das toras na árvore e para as posições da secção transversal (ponta grossa e ponta fina) em função dos IRTs das toras. Em relação aos blocos, os IRTs não apresentaram diferenças significativas em nível de 5% de probabilidade de erro.

TABELA 4.2 - Resumo da análise de variância dos índices de rachaduras de topo de toras (IRT), posições de retirada das toras na árvore e posições da secção transversal da tora (ponta grossa e ponta fina) para os clones de *Eucalyptus* spp.

FV	GL	SQ	QM	F	Prob.>F
Clones	28	42,3777	1,5134	12,73	< 0,0001*
Blocos	1	0,10837	0,10837	0,91	0,3403 ^{NS}
Toras	3	10,3202	3,4401	28,92	< 0,0001*
Posição	1	0,84369	0,8436	7,09	< 0,007*
Erro	429	51,0244	0,1189	-	-
Total	462	104,708	-	-	-

Onde: FV = fonte de variação; GL = graus de liberdade; SQ = soma dos quadrados; QM = quadrado médio; F = valor de F calculado; Prob.>F = nível de probabilidade de erro; * Significativo, pelo teste F, a 5% de probabilidade; ^{NS} = não significativo.

Diante dos resultados obtidos (Tabela 4.3), pode-se verificar uma grande variação dos valores de IRT para os clones de *Eucalyptus* spp. O valor médio obtido para o IRT foi de 0,46 %. O clone 8 (*E. urophylla* x *E. grandis*), pertencente ao grupo 1, apresentou o menor IRT, 0,14 %. Já o maior IRT foi verificado para o clone 27 (*E. urophylla* x *E. grandis*), 1,23 %.

Lima et al. (2000), utilizando a mesma metodologia para a determinação das rachaduras de topo em toras de *Eucalyptus grandis*, encontraram valores de IRT variando de 0,49 %, em testemunhas sem aplicação de desbaste, a 0,80 %, quando submetidas a desbaste. Diante disso, verifica-se que os valores de IRT do presente estudo corroboram os valores descritos pelo autor, para plantios sem aplicação de desbaste.

Entretanto, Lima et al. (2007) encontraram valores de 0,89, 0,74 e 0,79 % para IRT, em povoamentos de *Eucalyptus grandis*, com 21 anos de idade, que sofreram diferentes intensidades de desbastes. Já resultados encontrados por Trevisan (2010) demonstram valores de IRT variando entre 1,1 e 1,6 %, para árvores pertencentes aos extratos centrais e dominantes de *Eucalyptus grandis*.

TABELA 4.3 - Valores médios dos índices de rachaduras de topo de toras (IRT) para os clones de *Eucalyptus* spp.

Clones	Grupos	IRT (%)
8	1	0,14 a*
9	1	0,28 a
12	1	0,24 a
26	1	0,31 a
29	1	0,92 c
31	1	0,23 a
33	1	0,22 a
34	1	0,24 a
35	1	0,29 a
53	1	0,34 a
54	1	0,18 a
64	1	0,25 a
68	1	0,15 a
72	1	0,39 a
73	1	0,94 c
1	2	0,22 a
3	2	0,64 b
10	2	1,15 d
11	2	0,72 b
13	2	0,29 a
14	2	0,79 b
21	2	0,40 a
24	2	0,52 a
25	2	0,48 a
27	2	1,23 d
7	3	0,61 b
16	3	0,17 a
22	3	0,60 b
23	3	0,38 a
Médias	-	0,46

Onde: * Médias seguidas por mesma letra na coluna não diferem entre si, pelo teste Scott-Knott a 5% de probabilidade de erro.

A comparação de médias para IRT, apresentada na Tabela 4.4, evidencia diferenças significativas entre as posições da secção transversal (ponta grossa e ponta fina) e entre as posições de retirada das toras.

TABELA 4.4 - Comparação de médias dos índices de rachaduras de topo de toras (IRT), referentes às posições da secção transversal na tora (ponta grossa e ponta fina) e a posições de retirada das toras de *Eucalyptus* spp.

Posição	IRT (%)				
	Tora 1	Tora 2	Tora 3	Tora 4	Média
Ponta grossa	0,47 Bb ¹	0,71Aa	0,49 Ab	0,30 Ac	0,49
Ponta fina	0,75 Aa	0,43 Bb	0,31 Bb	0,15 Bc	0,41
Média	0,61 a	0,572 a	0,40 b	0,23 c	0,45

Onde: ¹ Médias seguidas de letras diferentes na coluna, em maiúsculo, para comparação entre ponta grossa e ponta fina de cada tora, e médias seguidas de letras diferentes na linha, em minúsculo, para comparação entre as posições de retirada das toras, diferem estatisticamente pelo teste DMS (diferença mínima significativa - $\alpha = 5\%$) de Fisher.

Analisando os resultados do IRT nas posições ponta grossa e ponta fina, observa-se que os maiores índices de rachaduras foram encontrados na ponta grossa das toras. Já em relação à posição de retirada das toras, a Tora 1 apresentou os maiores valores de rachaduras de topo, juntamente com a Tora 2. Deve-se levar em consideração que as amplitudes entre as médias da ponta grossa e ponta fina das toras e as posições das toras 1, 2, 3 e 4 apresentaram uma tendência de decréscimo com a altura da árvore.

Trevisan (2010), estudando o índice de rachaduras de topo, em toras de *Eucalyptus grandis*, aos 18 anos de idade, para árvores dominantes e centrais, não encontrou diferença estatística para as posições ponta grossa - ponta fina, em relação à média geral. Já para as posições de retirada das toras, identificou diferenças significativas, tanto nas toras dominantes quanto nas centrais, e entre extratos amostrados.

Lima (2000) relata que a influência da posição ao longo da altura da árvore no índice de rachadura, implica no aumento da parte central das árvores à tendência de melhor orientação da grã nessa região.

Da mesma forma, Adorno (2002) encontrou diferenças entre as toras para a característica rachadura de extremidade de tora, para *Eucalyptus grandis*, ainda que a mesma tendência não tenha sido observada em *Eucalyptus urophylla*, ambos com oito anos de idade.

Em estudo realizado por Malan (1984), onde o modelo de variação longitudinal para *Eucalyptus grandis* foi avaliado, evidenciou-se um aumento do índice de rachadura, até 4,8 metros de altura, com posterior declínio até o topo das árvores. Já os resultados divulgados por Chafe (1981), para *Eucalyptus regnans*, demonstraram uma tendência ascendente das tensões de crescimento e, conseqüentemente, das rachaduras no sentido base-topo, embora não comprovada estatisticamente. Segundo o mesmo autor, os níveis de tensão foram superiores nas proximidades do ápice das árvores, onde as toras estão mais susceptíveis às rachaduras, uma vez que as tensões são distribuídas em um menor diâmetro de tora.

Os resultados encontrados para IRT, para os três grupos de clones, evidenciaram um comportamento semelhante ao obtido para DRL, tendo os menores valores de IRT os clones do grupo 1, seguidos dos do grupo 3. Já os clones pertencentes ao grupo 2 apresentaram os níveis mais elevados de DRL e, conseqüentemente, de IRT, como mostra a Figura 4.6.

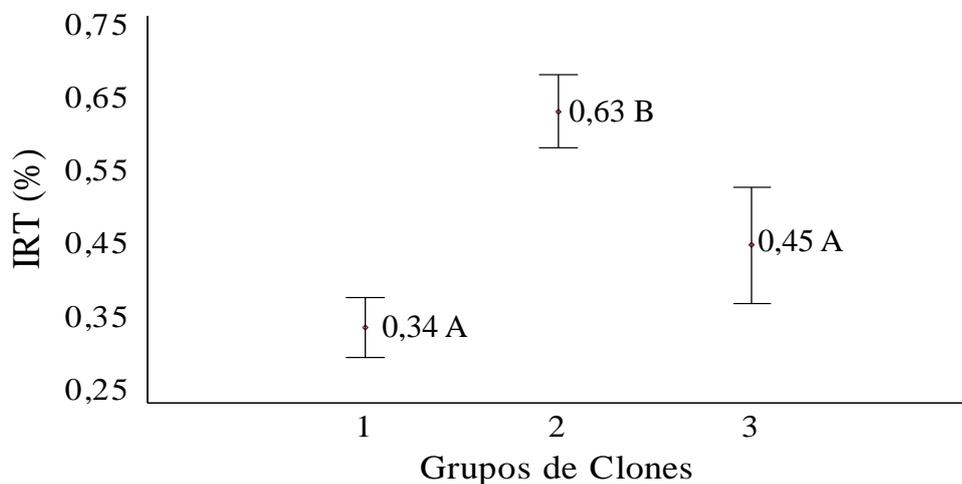


FIGURA 4.6 - Valores médios do índice de rachaduras de topos de toras (IRT) para os três grupos de clones de *Eucalyptus* spp. Médias seguidas por mesma letra não diferem entre si, pelo teste DMS (diferença mínima significativa - $\alpha = 5\%$) de Fisher.

Diante disso, pode-se constatar por meio dessas variáveis, que os clones do grupo 1 e do grupo 3 podem ser identificados como ideais a serem selecionados para programas de melhoramento florestal, quando o objetivo desse, for obter baixos índices de rachaduras.

4.3.3 Massa específica

Existem diversos parâmetros usados para expressar a qualidade da madeira, porém, a massa específica é considerada um dos principais, devido a sua relação com outras propriedades da madeira e também por ser de fácil determinação (LIMA, 1994).

Os resultados apresentados Tabela 4.5 demonstraram que houve diferença para a massa específica básica (ρ_b) em razão dos clones de *Eucalyptus* spp., assim como entre as posições no sentido base-topo (0,1 m, DAP, 25%, 50%, 75% e 100% da altura comercial). Já para os blocos, pode-se perceber que, em nível de 5% de probabilidade de erro e valor de $F_{cal} = 1,95$, não houve influência significativa em relação à massa específica básica.

TABELA 4.5 - Resumo da análise de variância da massa específica básica (ρ_b) e posições no sentido axial (base – topo) para os clones de *Eucalyptus* spp.

FV	GL	SQ	QM	F	Prob.>F
Clones	28	0,67317	0,02404	51,78	< 0,0001*
Bloco	1	0,00090	0,00090	1,95	0,1638 ^{NS}
Posição	5	0,07695	0,01539	33,15	< 0,0001*
Erro	313	0,14532	0,00046	-	-
Total	347	0,896366	-	-	-

Onde: FV = fonte de variação; GL = graus de liberdade; SQ = soma dos quadrados; QM = quadrado médio; F = valor de F calculado; Prob.>F = nível de probabilidade de erro; * Significativo, pelo teste F, a 5% de probabilidade; ^{NS} = não significativo.

Em relação a massa específica básica ponderada (ρ_{pond}) determinada em função do volume comercial sem casca, esta apresentou valores médios de 0,428 g/cm³, conforme descrito na Tabela 4.6. O clone 1 (*E. urophylla* x *E.maidenii*) e o clone 11 (*E. urophylla* x *E. grandis*), pertencentes ao grupo 2, apresentaram os maiores e menores valores para ρ_{pond} , 0,535 g/cm³ e 0,361 g/cm³, respectivamente.

TABELA 4.6 - Valores médios da massa específica básica (ρ_b), por posição no sentido axial, e massa específica básica ponderada (ρ_{pond}), em função do volume comercial sem casca, para cada clone de *Eucalyptus* spp.

Clones	Grupos	Posição relativa no sentido base-topo						ρ_{pond} (g/cm ³)
		0,1m	DAP	25%	50%	75%	100%	
8	1	0,477	0,454	0,462	0,485	0,473	0,467	0,471 c*
9	1	0,398	0,353	0,370	0,382	0,390	0,393	0,377 g
12	1	0,394	0,338	0,345	0,384	0,367	0,376	0,363 g
26	1	0,442	0,351	0,353	0,366	0,386	0,410	0,368 g
29	1	0,458	0,390	0,380	0,393	0,425	0,424	0,398 f
31	1	0,521	0,438	0,419	0,431	0,453	0,462	0,437 d
33	1	0,444	0,422	0,439	0,455	0,436	0,424	0,439 d
34	1	0,505	0,438	0,455	0,471	0,482	0,480	0,463 c
35	1	0,394	0,346	0,362	0,398	0,419	0,406	0,385 f
53	1	0,418	0,370	0,380	0,406	0,411	0,424	0,396 f
54	1	0,422	0,389	0,386	0,406	0,432	0,445	0,405 e
64	1	0,471	0,440	0,433	0,448	0,475	0,467	0,449 c
68	1	0,408	0,402	0,415	0,438	0,428	0,460	0,425 d
72	1	0,427	0,380	0,372	0,401	0,417	0,435	0,395 f
73	1	0,414	0,395	0,408	0,437	0,456	0,464	0,426 d
1	2	0,543	0,515	0,519	0,538	0,584	0,539	0,535 a
3	2	0,446	0,399	0,375	0,396	0,472	0,417	0,406 e
10	2	0,426	0,401	0,413	0,422	0,425	0,407	0,415 e
11	2	0,404	0,361	0,356	0,357	0,363	0,354	0,361 g
13	2	0,413	0,387	0,396	0,428	0,434	0,432	0,414 e
14	2	0,439	0,386	0,398	0,416	0,429	0,425	0,410 e
21	2	0,424	0,383	0,393	0,403	0,406	0,411	0,398 f
24	2	0,504	0,481	0,507	0,509	0,505	0,474	0,494 b
25	2	0,462	0,459	0,474	0,462	0,452	0,436	0,463 c
27	2	0,430	0,358	0,354	0,391	0,415	0,418	0,380 g
7	3	0,441	0,449	0,493	0,509	0,514	0,513	0,496 b
16	3	0,454	0,410	0,405	0,430	0,460	0,490	0,431 d
22	3	0,481	0,481	0,492	0,507	0,491	0,473	0,494 b
23	3	0,537	0,501	0,518	0,536	0,533	0,519	0,522 a
Médias		0,448	0,409	0,416	0,433	0,442	0,442	0,428

Onde: * Médias seguidas por mesma letra na coluna não diferem entre si, pelo teste Scott-Knott a 5% de probabilidade de erro.

Trevisan (2006), pesquisando a massa específica básica ponderada para *Eucalyptus grandis*, aos 14 anos de idade, encontrou valores médios entre 0,392 e 0,434 g/cm³. Lima et al. (1992) e Alzate et al. (2005), estudando a massa específica básica de *Eucalyptus grandis*, com três anos e meio e oito anos de idade, concluíram que a média para essa característica foi de 0,460 g/cm³ e 0,440 g/cm³, respectivamente. Já Trugilho (2005), avaliando 11 clones de *Eucalyptus* spp., aos seis anos de idade, obteve valores médios de massa específica de 0,508 g/cm³, superiores aos apresentados na Tabela 4.6.

Entretanto, resultados encontrados para massa específica básica, na literatura, para a madeira de *Eucalyptus*, variam de 0,340 (LIMA et al., 2007) a 0,730 g/cm³ (CAIXETA, 2000). Dessa forma, verifica-se que os resultados do estudo para essa propriedade estão de acordo com estudos já realizados.

Essa diferença entre valores de massa específica, segundo autores como Kollmann e Côté (1968), Brasil e Ferreira (1972), Tomazello Filho (1985), Silva et al. (2004) e Alzate et al. (2005), pode ser atribuída à idade e, principalmente, a fatores ambientais e/ou genéticos.

Na Figura 4.7, pode-se observar que os clones de *Eucalyptus* spp. apresentaram variações para a ρ_b , referentes às posições no sentido axial (base-topo). No que se refere à variação da massa específica no sentido base – topo, a tendência das espécies florestais já estudadas, quando submetidas a essa avaliação, é demonstrar uma leve diminuição da massa específica da base para o topo.

Para os clones de *Eucalyptus* spp. deste estudo, a massa específica no sentido base – topo apresentou um comportamento diferente das demais espécies florestais já estudadas. Segundo Souza et al. (1986), não existe um modelo definido de variação de massa específica básica da madeira no sentido base – topo. Para o gênero *Eucalyptus*, observa-se, com maior frequência, a tendência de decréscimo até 50% da altura da árvore e de acréscimo desse ponto até o topo, ou, ainda, de diminuição próximo ao topo.

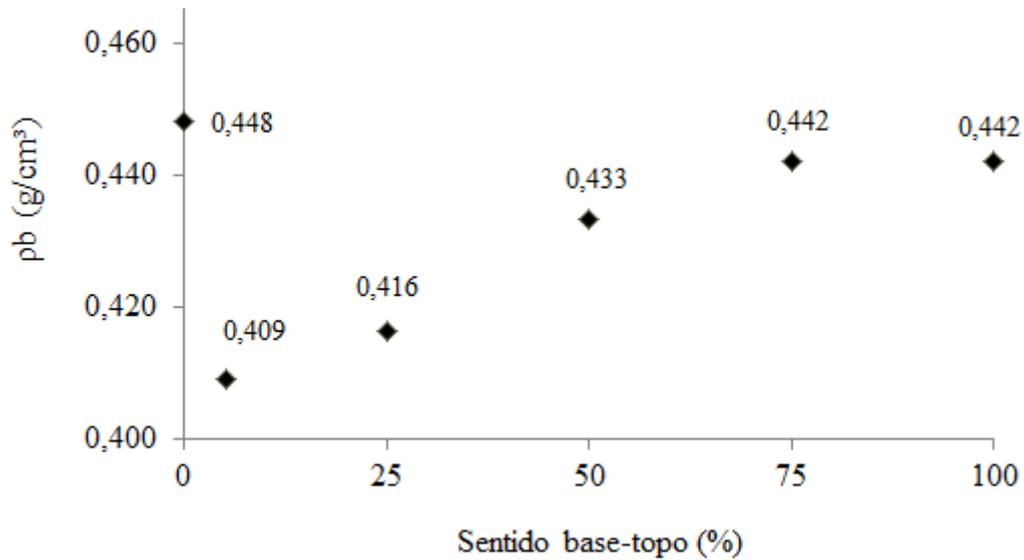


FIGURA 4.7 - Valores médios da massa específica básica (ρ_b), referentes às posições no sentido axial, para os clones de *Eucalyptus* spp.

Na maioria das vezes, verifica-se essa tendência para *Eucalyptus grandis* e demais espécies de *Eucalyptus*, de modo que as posições de maior massa específica são encontradas na base (0,1 m), 75% e 100% da altura comercial, corroborando com o estudo de Trevisan (2010) e com os valores apresentados no presente estudo. De acordo com Palermo et al. (2003), essa tendência pode estar relacionada com a copa, pois, na região de inserção dos ramos, ocorrem alterações na estrutura anatômica da madeira, provocando o aumento da massa específica.

Outra tendência foi constatada para *Eucalyptus urophylla*, em que foi verificado que a massa específica diminui da base até o DAP ou 25% da altura, para depois crescer até o topo (BARRICHELO et al., 1984 e SHIMOYAMA, 1990). De acordo com Ferreira (1968), dependendo do local, a massa específica é maior a uma determinada altura, devido à reação da árvore a ações do vento.

Já para outras espécies, como a *Araucaria angustifolia* e o *Pinus taeda* há um comportamento muito semelhante para a variação axial da massa específica, tendo ocorrido uma diminuição significativa da massa específica conforme a altura na árvore (MATTOS et al., 2011).

Na Figura 4.8, pode-se observar a variação dos valores médios da ρ_{pond} para os três grupos de clones de *Eucalyptus* spp. selecionados para o estudo.

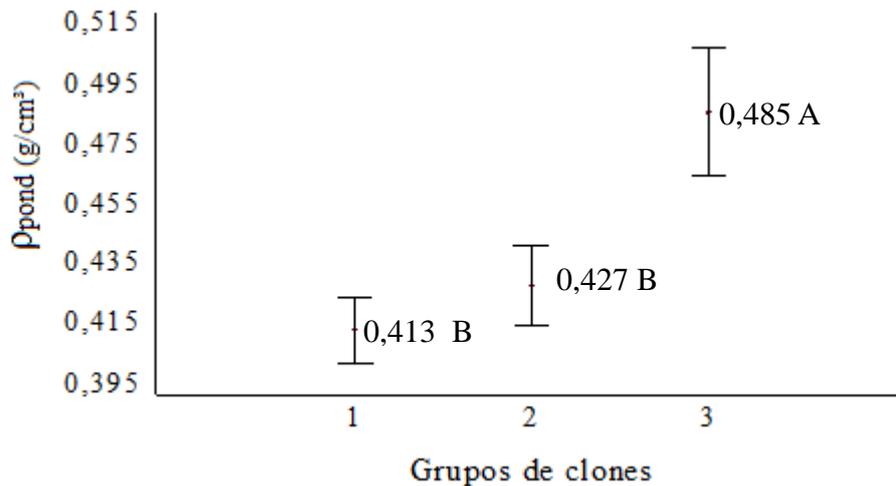


FIGURA 4.8 - Valores médios da massa específica básica ponderada (ρ_{pond}) para os três grupos de clones de *Eucalyptus* spp. Médias seguidas por mesma letra não diferem entre si, pelo teste DMS (diferença mínima significativa - $\alpha = 5\%$) de Fisher.

Diante dos resultados apresentados para a propriedade física da madeira, o grupo 3 mostrou maior valor de ρ_{pond} , quando comparada com a dos demais grupos. Os grupos 1 e 2 exibiram resultados semelhantes, não demonstrando diferenças para essa propriedade.

Com relação ao uso múltiplo da madeira, os resultados das avaliações da massa específica ponderada indicaram diferentes valores para os clones estudados. Diante disso, Alzete et al. (2005) descrevem que essa propriedade deve ser considerada na definição do uso potencial dos clones, seja como madeira sólida (móveis, esquadrias, tacos, uso estrutural etc.), seja como madeira transformada (celulose e papel, laminação, chapas de fibras, etc.).

4.3.4 Propriedades mecânicas

De acordo com os resultados da análise de variância para as propriedades mecânicas da madeira, avaliadas para os clones de *Eucalyptus* spp. (Tabela 4.7), verificou-se que o efeito dos clones foi significativo. Porém, os resultados obtidos para os blocos do estudo não foram significativos, seguindo mesma tendência apresentada para o IRT e para a ρ_b .

TABELA 4.7 - Resumo da análise de variância para o módulo de elasticidade (E_c) e resistência máxima (f_c) em compressão paralela à grã, módulo de elasticidade (MOE) e módulo de ruptura (MOR) em flexão estática, resistência ao cisalhamento e dureza janka, para os clones de *Eucalyptus* spp. a 12 % de umidade.

FV	GL	Quadrados médios (kgf/cm ²)					
		Compressão paralela		Flexão estática		Resistência cisalhamento	Dureza Janka
		E_c	f_c	MOE	MOR		
Clone	28	1,44x10 ⁹ *	10349,0*	1,09x10 ⁹ *	35523,2*	1455,01*	18299,3*
Bloco	1	1,27x10 ⁸ NS	289,5 ^{NS}	3,61x10 ⁷ NS	18712,1 ^{NS}	76,92 ^{NS}	8,18 ^{NS}
Erro	28	2,69x10 ⁸	585,3	1,18x10 ⁸	7375,3	150,9	1023,9

Onde: FV = fonte de variação; GL = graus de liberdade; * Significativo, pelo teste F, a 5% de probabilidade de erro; ^{NS} = não significativo.

Conforme os resultados apresentados para as propriedades mecânicas da madeira (Tabela 4.8), verifica-se que os valores médios obtidos para E_c e f_c foram de 116235 kgf/cm² e 431,4 kgf/cm², respectivamente. O clone 23 (*E. saligna* x *E. saligna*) mostrou o maior valor para o E_c , 188520 kgf/cm², e juntamente com o clone 24 (*E. saligna* x *E. saligna*) e o clone 1 (*E. urophylla* x *E. maidenii*), exibiu os maiores valores para a f_c . Esses valores de E_c e f_c podem estar associados à alta massa específica apresentada pelos clones citados acima.

Para Haselein et al. (2002), existe uma estreita relação entre a massa específica da madeira e as propriedades mecânicas. Dessa forma, qualquer fator que cause alteração na massa específica irá produzir efeitos nas propriedades mecânicas da madeira.

Botrel et al. (2007) encontraram valores médios para o E_c de 79167 kgf/cm², assim como f_c de 540,4 kgf/cm², para *Eucalyptus* spp., aos 6 anos de idade. Já Caixeta et al. (2003), estudando 44 clones de *Eucalyptus* spp., obtiveram valores médios para o E_c de 101649 kgf/cm², além de f_c de 615 kgf/cm². Diante disto, verifica-se que os valores para o E_c do presente estudo se mostraram superiores quando comparados aos dos estudos citados acima e inferiores para f_c .

TABELA 4.8 - Valores médios de módulo de elasticidade (Ec) e resistência máxima (fc) em compressão paralela à grã, módulo de elasticidade (MOE) e módulo de ruptura (MOR) em flexão estática, resistência ao cisalhamento e dureza janka, para os clones de *Eucalyptus* spp. a 12 % de umidade.

Clones	Grupos	Compressão paralela		Flexão estática		Resistência ao cisalhamento	Dureza janka (kgf/cm)
		Ec (kgf/cm ²)	fc (kgf/cm ²)	MOE (kgf/cm ²)	MOR (kgf/cm ²)		
8	1	141300 b	509,5 b	108675 c	873,1 a	94,8 b	522,1 b
9	1	99698 c	363,4 e	81884 d	663,1 b	68,1 d	295,5 e
12	1	98263 c	352,4 e	86841 d	627,9 b	68,6 d	348,1 d
26	1	107786 c	390,1 e	93599 d	697,2 b	59,2 d	377,0 c
29	1	131079 b	414,5 d	104043 c	726,9 b	79,7 c	381,2 c
31	1	123583 c	454,9 c	102838 c	802,0 a	88,5 b	430,4 c
33	1	97003 c	406,8 d	99266 c	776,8 b	82,1 c	404,8 c
34	1	110771 c	465,3 c	105977 c	775,9 b	90,7 b	415,6 c
35	1	105661 c	364,2 e	99567 c	647,4 b	74,7 c	360,0 d
53	1	96381 c	386,2 e	85244 d	647,9 b	80,8 c	385,0 c
54	1	97978 c	403,6 d	85206 d	708,6 b	79,0 c	363,2 d
64	1	104254 c	456,4 c	100502 c	869,1 a	85,4 c	393,1 c
68	1	86938 c	422,4 d	92903 d	765,0 b	85,9 c	411,6 c
72	1	113056 c	422,1 d	91339 d	675,5 b	66,3 d	326,4 e
73	1	106179 c	431,1 d	109077 c	804,2 a	79,2 c	387,1 c
1	2	145358 b	577,1 a	163687 a	976,3 a	103,2 a	512,6 b
3	2	117209 c	401,1 d	89123 d	707,3 b	71,9 d	347,8 d
10	2	99583 c	383,2 e	89299 d	729,3 b	78,6 c	393,0 c
11	2	98938 c	370,3 e	105949 c	733,6 b	68,3 d	313,6 e
13	2	109757 c	414,9 d	90407 d	709,6 b	79,3 c	353,1 d
14	2	92807 c	406,6 d	90767 d	725,3 b	77,6 c	383,5 c
21	2	131151 b	438,4 d	95035 d	713,6 b	81,1 c	407,0 c
24	2	153670 b	533,2 b	137276 b	914,2 a	102,5 a	517,8 b
25	2	138635 b	464,4 c	124927 b	882,6 a	84,4 c	399,7 c
27	2	104212 c	360,0 e	109012 c	720,7 b	70,94 d	328,9 e
7	3	96465 c	420,9 d	107319 c	940,3 a	99,5 a	509,4 b
16	3	118871 c	474,9 c	96541 d	785,2 b	84,4 c	395,4 c
22	3	155711 b	484,9 c	127284 b	821,1 a	92,1 b	486,4 b
23	3	188520 a	536,4 a	125007 b	906,2 a	106,5 a	587,7 a
Média	-	116235	431,4	103400	769,9	82,2	404,7

Onde: * Médias seguidas por mesma letra na coluna não diferem entre si, pelo teste Scott-Knott a 5% de probabilidade de erro.

No ensaio mecânico de flexão estática, os valores médios encontrados para os clones de *Eucalyptus* spp. foram de 103400 kgf/cm² para o MOE e de 769,9 kgf/cm² para o MOR. O clone 1 apresentou os maiores valores tanto para o MOE quanto para o MOR.

Os valores médios de MOE e MOR do estudo corroboram com os valores médios identificados por Rosso (2010), ao analisar as propriedades mecânicas de *Eucalyptus grandis*, aos 27 anos de idade.

Haselein et al. (2002), pesquisando o efeito do espaçamento de plantio e da dosagem de adubação para madeira a 12% de umidade, para *Eucalyptus saligna*, aos 8 anos, obtiveram valores médios para o MOE de 94500 kgf/cm² e para o MOR de 735,7 kgf/cm². Já Scanavaca Junior e Garcia (2004) obtiveram valores médios para o MOE de 180876 kgf/cm² e para o MOR de 1291 kgf/cm², estudando *Eucalyptus urophylla*, aos 19 anos, evidenciando, assim, valores maiores que os encontrados neste estudo. Da mesma forma, Caixeta et al. (2003) avaliando 44 híbridos de *Eucalyptus*, com idades entre 13 a 17 anos, obtiveram elevados valores para MOE (191843 kgf/cm²) e para MOR (1234 kgf/cm²).

Para os ensaios de cisalhamento e dureza janka foram encontrados valores médios de 82,2 kgf/cm² e 404,7 kgf/cm², respectivamente. O clone 23 (*E. saligna* x *E. saligna*) se destacou por apresentar elevados valores para cisalhamento e dureza janka.

Lima et al. (2004), estudando híbridos de *E. grandis* x *E. urophylla* aos 8,5 anos de idade, encontraram valores de 543,3 kgf/cm² para a dureza janka. Porém, Caixeta et al. (2003) obtiveram valores de 834 kgf/cm² para dureza em 44 híbridos de *Eucalyptus*, com idades entre 13 a 17 anos, sendo esses superiores aos apresentados na Tabela 4.8.

Diante disso, Lima (1999) relata que essas diferenças encontradas para as propriedades mecânicas provavelmente estão relacionadas às diferenças genéticas, idades e fatores ambientais existentes entre os materiais estudados.

4.3.5 Estimativa da tensão de crescimento longitudinal

Por meio de ensaios de laboratório, estimou-se a tensão de crescimento longitudinal (TCL) propriamente dita para os clones de *Eucalyptus* spp., em razão da deformação residual longitudinal (DRL), do módulo de elasticidade dinâmico (Ed) e do módulo de elasticidade estático (E), descritos na Tabela 4.9.

TABELA 4.9 - Comparativo entre as estimativas da tensão de crescimento longitudinal pelo módulo de elasticidade dinâmico (TCL₁) e as estimativas da tensão de crescimento longitudinal pelo módulo de elasticidade estático (TCL₂), para os clones de *Eucalyptus* spp.

Clones	Grupos	DRL (mm)	Ed* (kgf/cm ²)	E* (kgf/cm ²)	TCL ₁ (kgf/cm ²)	TCL ₂ (kgf/cm ²)
8	1	0,103	105774	104720	241,5 a	239,1 a
9	1	0,127	80862	92604	228,2 a	261,3 b
12	1	0,113	91859	83337	231,3 a	209,8 a
26	1	0,121	85289	87174	230,1 a	235,2 a
29	1	0,161	100589	103164	359,7 b	368,9 c
31	1	0,103	92476	105887	210,6 a	241,1 a
33	1	0,144	111426	95776	356,0 b	306,1 b
34	1	0,120	96000	87725	253,1 a	231,3 a
35	1	0,119	103260	85828	275,3 a	228,8 a
53	1	0,113	87078	98096	217,8 a	245,3 a
54	1	0,110	94679	76580	231,9 a	187,6 a
64	1	0,149	95647	87122	316,8 b	288,5 b
68	1	0,095	82743	111892	174,4 a	235,9 a
72	1	0,094	98539	68328	205,2 a	142,3 a
73	1	0,231	91494	96027	469,6 d	492,9 d
1	2	0,198	120544	87585	530,3 e	385,3 c
3	2	0,127	97989	99084	276,5 a	279,6 b
10	2	0,221	97470	96917	479,3d	476,7 d
11	2	0,202	91203	77648	408,5 c	347,7 c
13	2	0,123	88642	93721	243,1 a	257,1 b
14	2	0,147	95125	93789	310,8 b	306,5 b
21	2	0,147	94514	87169	308,6 b	284,6 b
24	2	0,137	112740	116756	343,2 b	355,4 c
25	2	0,164	99170	74497	360,5 b	270,8 b
27	2	0,316	98257	85273	694,6 f	602,8 e
7	3	0,180	97418	105495	390,0 c	422,4 c
16	3	0,100	98689	101733	219,8 a	226,6 a
22	3	0,145	105156	115399	339,5 b	372,6 c
23	3	0,140	122449	90146	381,0 c	280,5 b
Média	-	0,147	97823	93358	321,1	303,5

Onde: *Ed = módulo de elasticidade dinâmico obtido em corpos de prova na condição saturada; E = módulo de elasticidade a flexão estática na condição saturada, corrigido em função do cisalhamento; ** Médias seguidas por mesma letra na coluna não diferem entre si, pelo teste Scott Knott a 5% de probabilidade de erro.

Ao confrontar os resultados apresentados para as estimativas das tensões de crescimento longitudinais, verifica-se que o valor médio para a tensão de crescimento longitudinal obtida pelo módulo de elasticidade dinâmico (TCL_1 - 321,1 kgf/cm²) foi superior ao valor médio encontrado para a tensão de crescimento longitudinal obtida pelo módulo de elasticidade estático (TCL_2 - 303,5 kgf/cm²). Porém, ao comparar os valores da TCL_1 e TCL_2 , determinados em laboratório, aos valores da TCL, determinados em árvores em pé e vivas (102,3 kgf/cm²), descritos no item 3.3.3, verifica-se uma expressiva diferença entre as tensões de crescimento.

O clone 68 (*E. urophylla* x *E. globulus*) se sobressaiu aos demais clones do estudo, por apresentar um dos menores valores para DRL (0,095 mm) e, conseqüentemente, para a estimativa da TCL_1 . Já para a TCL_2 , o clone 72 (*E. urophylla* x *E. globulus*) obteve a menor tensão. Dessa forma, esses clones podem ser recomendados para programas de melhoramento florestal, visando à produção de madeira sólida. Todavia, o clone 27 (*E. urophylla* x *E. grandis*) mostrou a maior DRL do estudo e, logo, os maiores valores de TCL_1 e TCL_2 (694,6 e 602,8 kgf/cm²).

Trugilho (2005), estudando a estimativa da TCL para clones de *Eucalyptus dunnii* aos oito anos, obteve valores médios para o módulo de elasticidade estático por meio do ensaio de tração paralela de 174868 kgf/cm², assim como, para a TCL, encontrou valores de 368,1 kgf/cm². Já em clones com maiores idades, o mesmo autor obteve valores médios para o módulo de elasticidade de 212830, 258935 e 214430 kgf/cm² e, logo, para a TCL, valores de 544,2, 647,5 e 602,1 kgf/cm², aos 13, 15 e 19 anos de idade. Desse modo, observa-se que os valores médios obtidos para o módulo de elasticidade estático e para a estimativa da TCL do presente estudo são inferiores aos resultados relatados pelo autor acima mencionado.

Entretanto, Trugilho (2005), analisando a TCL obtida pelo Ed por meio de ondas de tensão (*stress wave timer*), encontrou valores médios de 71417 kgf/cm², e para a TCL, valores médios de 153,2 kgf/cm², para clones de *Eucalyptus dunnii*, aos oito anos. Já em clones com maiores idades, obteve valores médios para o Ed de 87048, 106581 e 82910 kgf/cm², e para a TCL, valores médios de 220,4, 264,5 e 233,4 kgf/cm², aos 13, 15 e 19 anos de idade, sendo estes inferiores quando comparados aos do presente estudo.

Porém, deve ser levado em consideração que o método de determinação do módulo de elasticidade, as espécies estudadas, as idades e locais de avaliação não foram os mesmos utilizados, podendo colaborar para essa diferença.

Por meio da Figura 4.9, verifica-se que os valores médios estimados para a TCL_2 na forma de grupos apresentaram diferenças estatísticas. Com isso, pode-se observar que os clones pertencentes ao grupo 1 demonstraram os menores valores, corroborando os valores apresentados para a DRL na forma de grupos. Já os valores médios obtidos para os clones pertencentes aos grupos 2 e 3 apresentaram as maiores estimativas para a TCL_2 .

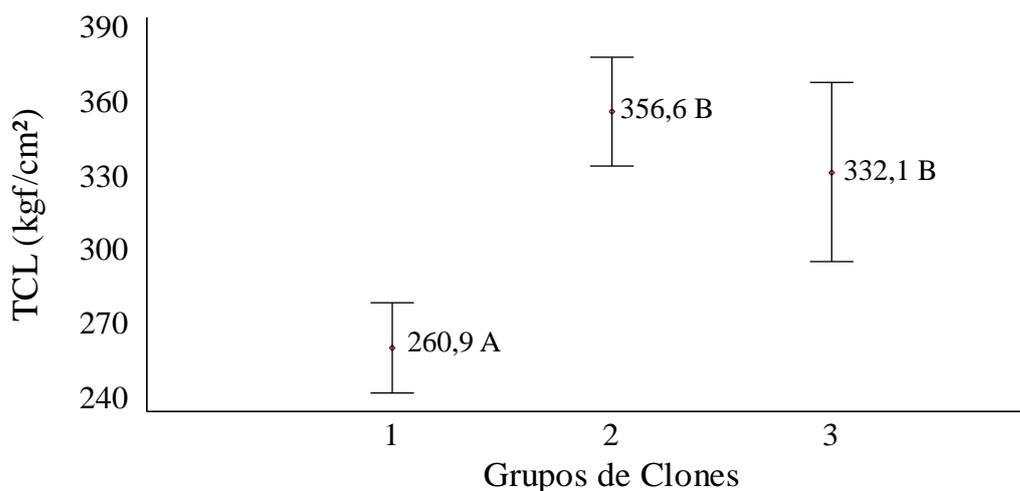


FIGURA 4.9 - Estimativa dos valores médios da tensão de crescimento longitudinal (TCL_2) pelo módulo de elasticidade estático, para os três grupos de clones de *Eucalyptus* spp. Médias seguidas por mesma letra não diferem entre si, pelo teste DMS (diferença mínima significativa - $\alpha = 5\%$) de Fisher.

4.3.6 Correlações entre as variáveis do estudo

A análise de correlação entre as variáveis do estudo (TABELA 4.10) demonstra que a DRL apresentou correlações positivas e significativas com a TCL_2 , IRT e MOE. Entre as correlações, a que mais se destaca é a relação entre a DRL e o IRT. Essa correlação evidencia que quanto maiores os níveis de DRL nas árvores, maiores serão os índices de rachadura e vice-versa. Com isso, é possível prever a tendência do IRT fazendo-se, no campo, a avaliação da DRL, tornando-se esta variável uma ferramenta confiável para a seleção de clones menos propensos ao desenvolvimento de rachaduras.

TABELA 4.10 - Correlação de Pearson entre as variáveis do estudo.

	DRL	TCL ₂	IRT	ρ_{pond}	Ec	fc	MOE	MOR	Cisa	Dureza
DRL	1	0,808*	0,708*	0,009 ^{NS}	0,001 ^{NS}	0,124 ^{NS}	0,274*	0,068 ^{NS}	0,034 ^{NS}	0,068 ^{NS}
TCL ₂		1	0,755*	0,143 ^{NS}	0,033 ^{NS}	0,005 ^{NS}	0,354*	0,255*	0,072 ^{NS}	0,109 ^{NS}
IRT			1	0,176 ^{NS}	0,055 ^{NS}	-0,264*	0,023 ^{NS}	0,107 ^{NS}	-0,211 ^{NS}	0,166 ^{NS}
ρ_{pond}				1	0,636*	0,876*	0,760*	0,801*	0,881*	0,875*
Ec					1	0,743*	0,615*	0,529*	0,635*	0,652*
fc						1	0,745*	0,739*	0,799*	0,802*
MOE							1	0,743*	0,640*	0,634*
MOR								1	0,670*	0,707*
Cisa									1	0,838*
Dureza										1

Sendo: DRL = deformação residual longitudinal (mm); TCL₂ = tensão de crescimento longitudinal estimada pelo módulo de elasticidade estático (kgf/cm²); IRT = índice de rachadura de topo de tora (%); ρ_{pond} = massa específica básica ponderada (g/cm³); Ec = módulo de elasticidade a compressão paralela às fibras (kgf/cm²); fc = resistência a compressão paralela às fibras (kgf/cm²); MOE = módulo de elasticidade a flexão estática (kgf/cm²); MOR = módulo de ruptura a flexão estática (kgf/cm²); Cisa = resistência ao cisalhamento (kgf/cm²); dureza = dureza janka (kgf/cm²); * = significativo ao nível de 5% probabilidade de erro; ^{NS} = não significativo.

Souza (2002), avaliando a DRL e o índice de rachaduras em tábuas de *Eucalyptus* spp., encontrou correlações entre essas variáveis. Do mesmo modo, Trugilho (2005) identificou correlações positivas e significativas entre a DRL e o IRT, para clones de *Eucalyptus* spp., aos seis anos de idade.

Para a TCL₂ verificaram-se correlações para DRL, IRT, MOE e MOR. A correlação entre TCL₂ e DRL já era esperada, pois são variáveis dependentes. O mesmo se observou para a correlação da TCL₂ com a IRT.

A ρ_{pond} não apresentou correlações com a DRL, TCL₂ e IRT, indicando baixa influência sobre essas propriedades. Da mesma forma, Combes et al. (1997), Adorno (2002) e Beltrame et al. (2012) não encontraram correlações significativas entre a DRL e a massa específica, para clones de *Eucalyptus*. Porém, a ρ_{pond} apresentou correlações significativas e positivas com todas as propriedades mecânicas da madeira analisada.

Vital e Della Lucia (1980), em seus estudos com *Eucalyptus grandis*, confirmaram que a redução da massa específica ocasionou uma redução proporcional nas propriedades mecânicas. Silva (2002) concluiu, em seus estudos com *Eucalyptus grandis*, que há uma

correlação positiva entre as propriedades de resistência mecânica da madeira (MOR e MOE) e a massa específica, corroborando as correlações do presente estudo.

Clair et al. (2003), analisando a madeira de *Castanea sativa*, encontraram relações significativas entre as tensões de crescimento e as propriedades físicas e mecânicas da madeira, especialmente na direção longitudinal.

Alguns autores, como Miranda e Nahuz (1999), verificaram a variação da DRL, em clones de *Eucalyptus saligna* com 9 anos de idade, e suas associações com algumas características físicas e mecânicas da madeira. Os autores ainda afirmaram que a DRL apresentou uma correlação positiva e significativa com as rachaduras das toras.

Entretanto, Lima et al. (2004), analisando clones de eucalipto, sendo quatro híbridos naturais de *E. grandis* e um híbrido entre as espécies *E. urophylla* x *E. grandis*, não encontraram correlação entre a DRL e as propriedades físicas e mecânicas da madeira, quando analisadas as variáveis para cada clone isoladamente.

Para Adorno e Garcia (2003), que estudaram as correlações lineares entre clones de *E. grandis* e *E. urophylla*, ambos com 8 anos de idade, observaram que a massa específica apresentou correlação positiva com todas as propriedades mecânicas avaliadas em laboratório para ambas as espécies. Do mesmo modo, Boyd (1980) identificou correlação entre a massa específica básica e o módulo de elasticidade.

Diante disso, observa-se que a seleção de clones voltada para programas de melhoramento genético florestal, tornou-se uma importante estratégia para união de duas ou mais características favoráveis em um único material genético, visando a produção de madeira de qualidade para os mais diversos usos.

4.4 Conclusões

Diante dos resultados do presente estudo, pôde-se concluir que:

- ✓ os valores médios para a deformação residual longitudinal se mostrou superior às médias encontradas em estudos anteriores;
- ✓ o índice médio das rachadura de topo em toras foi de 0,46%;
- ✓ os clones 1 (*E. urophylla* x *E.maidenii*), 23 (*E. saligna* x *E. saligna*) e 24 (*E. saligna* x *E. saligna*) se destacaram por apresentarem maiores valores para a massa

específica básica ponderada e, conseqüentemente, maiores valores para as propriedades mecânicas;

- ✓ a estimativa da tensão de crescimento longitudinal obtida pelo módulo de elasticidade dinâmico foi superior à estimativa da tensão de crescimento longitudinal obtida pelo módulo de elasticidade estático;
- ✓ a alta correlação encontrada entre a deformação residual longitudinal e o índice de rachadura de topo em toras, torna essa variável uma ferramenta importante para a escolha de clones menos propensos ao desenvolvimento de rachaduras;
- ✓ a massa específica básica ponderada e as propriedades mecânicas não apresentaram correlações com a deformação residual longitudinal e com índice de rachadura de topo, podendo ser desconsideradas em programa de melhoramento, quando a seleção tem por finalidade a busca por clones com menores propensões a tensões de crescimento;
- ✓ os clones pertencentes ao grupo 1, por apresentarem os menores níveis para a tensão de crescimento longitudinal e, conseqüentemente, os menores índices de rachaduras, podem ser considerados potenciais para programas de melhoramento florestal.

4.5 Referências

ADORNO, M. F. C. **Propriedades tecnológicas relacionadas com as tensões de crescimento em clones de *Eucalyptus grandis* W. Hill Ex Maiden e *Eucalyptus urophylla* S.T. Blake, utilizadas como indicadores para o melhoramento da madeira serrada.** 2002. 164 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais). Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2002.

ADORNO, M. C.; GARCIA, J. N. Correlações lineares entre as principais características tecnológicas da madeira de clones de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus urophylla*. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 63, p. 44-53, 2003.

ALZATE, S. B. A; TOMAZELLO FILHO, M; PIEDADE, S. M. S. Variação longitudinal da densidade básica da madeira de clones de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden, *Eucalyptus saligna* Sm. e *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 68, p.87-95, ago. 2005.

ASSIS, T. F. Qualificação tecnológica da madeira de *Eucalyptus* para serraria: Aspectos genéticos e de manejo. In: SIMPÓSIO LATINO-AMERICANO SOBRE MANEJO FLORESTAL, 1., 2000. Santa Maria, UFSM, **Anais...** Santa Maria: Programa de Pós-graduação em Engenharia Florestal, 2000. p. 59-80.

ASTM. American Society for Testing and Materials. **Standard methods of testing small clear specimens of timber**, D 143-94. Philadelphia, 2000.

BARRICHELO, L. E. et al. Variação das características da madeira de eucalipto para diferentes espécies, idades e locais. In: Congresso anual de celulose e papel, São Paulo. **Anais...** São Paulo: Associação Brasileira de Celulose e Papel. 1984. v.1, p. 385-399.

BELTRAME, R., et al. Determinação das deformações residuais longitudinais decorrentes das tensões de crescimento em *Eucalyptus spp.* **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 22, n. 2, p. 343-351, 2012.

BODIG, J; JAYNE, B. **Mechanics of wood and wood composites**. Nova York: Van Nostrand Reinhold Company Inc., 712p. 1982.

BOTREL, M. C. G, et al. Ganho genético em propriedades físicas e mecânicas de clones de *Eucalyptus*. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 76, p. 13-19, dez. 2007.

BOYD, J. D. Relation between fibre morphology, growth strain and physical properties of wood. **Australia Forest Research**, v. 10, n. 4, p.337-360, 1980.

BRASIL, M. A. M.; FERREIRA, M. Variação da densidade básica e das características das fibras em *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden ao nível do dap: análise preliminar. **Revista IPEF**, Piracicaba, n. 5, p. 81-90, dez. 1972.

CAIXETA, R. P. **Propriedades da madeira de *Eucalyptus*; classificação e seleção de genótipos utilizando marcador molecular e análise multivariada**. 2000. 89 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2000.

CAIXETA, R. P. et al. Propriedades e classificação da madeira aplicadas à seleção de genótipos de *Eucalyptus*. **Revista Árvore**, Viçosa, v.27, n.1, p.43-51, 2003.

CHAFE, S. C. Variation in longitudinal growth stress basic density and modulus of elasticity with height in the Tree. **Australian Forest Research**, Camberra, v. 11, p. 79-82, 1981.

CLAIR, B.; RUELLE, J.; THIBAUT, B. Relationship between growth stresses, mechanic-physical properties and proportion of fibre with gelatinous layer in chestnut (*Castanea sativa* Mill.). **Holzforschung**, 57, p. 189-195, 2003.

COMBES, J. G.; BOUVET, J. M.; BAILLERES, H. Analyses of growth, morphological and wood properties traits in ortet populations of *Eucalyptus* in the Congo. In: Conferência IUFRO sobre silvicultura e melhoramento de eucalipto, Salvador, 1997. **Anais...** Colombo: EMBRAPA, CNPF, 1997. v. 3, p.37-42.

FERREIRA, M. **Estudo da variação da densidade básica na madeira de *Eucalyptus alba* Reinw e *Eucalyptus saligna* Smith**. 1968. 71 f. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 1968.

GARCIA, J. N. **Estados de tensão em árvores e de deformação em peças de madeira serrada**. 1992. 262 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Construção Civil e Urbana) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 1992.

HASELEIN, C. R. et al. Propriedades de flexão estática da madeira úmida e a 12% de umidade de um clone de *Eucalyptus saligna* Smith sob o efeito do espaçamento e da adubação. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 12, n. 2, p.147-152, 2002.

HASELEIN, C. R. et al. Características tecnológicas da madeira de árvores matrizes de *Eucalyptus grandis*. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 14, n. 2, p. 145-155, 2004.

HILLIS, W. E. Wood quality and utilization. In: HILLIS, W.E.; BROWN, A.G. (Eds.). ***Eucalypts for wood production***. Sydney: CSIRO/Academic Press, 1984. p. 159-289.

KOLLMANN, F. F. P.; CÔTÉ, W. A. **Principles of wood science and technology: I. Solid Wood**. New York: Springer-Verlag, 1968. 592

LIMA, J. T.; ROSADO, S. C. S.; OLIVEIRA, A. D. Variação da densidade da madeira de *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus tereticornis* e *Eucalyptus camaldulensis* no sentido longitudinal dos caules. **Ciência e Prática**. Lavras, v. 16, n. 1, p. 123-127, 1992.

LIMA, J. T. The wood density of three *Eucalyptus saligna* Smith clones in relation to age. **Annuary Science Forestry**, v. 52, p. 347 – 352, 1994.

LIMA, J. T. **Clonal variation in the solid wood properties of *Eucalyptus***. 1999. 276 f. Thesis (Ph.D.) – University of Wales, Bangor, 1999.

LIMA, I. L. **Variação de propriedades indicativas da tensão de crescimento em função da posição na árvore e da intensidade de desbaste.** 2000. 90 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Escola Superior de Agronomia “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2000.

LIMA, I. L.; GARCIA, J. N.; NOGUEIRA, M.C.S. Influência do desbaste nas tensões de crescimento de *Eucalyptus grandis* Hill ex-Maiden. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 58, p. 111-125, 2000.

LIMA, I. L et al. Rachadura de extremidade de tora e suas implicações nas rachaduras da madeira serrada. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n.61, p.13-24, 2002.

LIMA, J. T. et al. Deformações residuais decorrentes de tensões de crescimento em eucaliptos e suas associações com outras propriedades. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 28, n. 1, p. 107-116, 2004.

LIMA, J. T. et al. Uso do resistógrafo para estimar a densidade básica e a resistência à perfuração da madeira de *Eucalyptus*. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n.75, p. 85-93, set. 2007.

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

MALAN, F. S. **Studies on the phenotypic variation in growth stress intensity and its association with tree and wood properties of South African, grown *Eucalyptus grandis* (Hill ex maiden).** 1984. 258 f. Thesis (Doctor of philosophy Wood Science) Stellenbosch. University Stellenbosch, 1984.

MATTOS, B. D. et al. Variação axial da densidade básica da madeira de três espécies de gimnospermas. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v.6, n.1, p.121-126, 2011.

MIRANDA, M. J. A. C.; NAHUZ, M. A. R. Estudo da influência do espaçamento de plantio de *Eucalyptus saligna* Smith nos índices de rachamento após o desdobro e após a secagem. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 55, p. 107-116, 1999.

MUNERI, A. et al. Relationships between surface longitudinal growth strain and tree size, wood properties and timber distortion of 4 years old plantation grown *Eucalyptus cloeziana*. In: IUFRO CONFERENCE – The Future of *Eucalyptus* for Wood Products, 2000, Launceston, Australia, IUFRO. **Proceedings...** Launceston. 2000. p .292-300.

PÁDUA, F. A. et al. Estimativa de parâmetros genéticos das tensões de crescimento em clones de *Eucalyptus*. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 66, p. 152-160, 2004.

PALERMO, G. P. M. et al. Análise da massa específica da madeira de *Pinus elliotti* Engelm. por meio de radiação gama de acordo com as direções estruturais (longitudinal e radial) e a idade de crescimento. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v.10, n.2, p.47-57, 2003.

PURNELL, R. C. Variation in wood properties of *Eucalyptus nitens* in a provenance trial on the eastern Transvaal highveld in South Africa. **South African Forestry Journal**, Pretoria, n. 144, p. 10-22, 1988.

ROCHA, M. P.; TOMASELLI, I. Efeito do modelo de desdobro na qualidade da madeira serrada de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus dunnii*. **Cerne**, Lavras, v. 8, n. 2, p. 70-83, jul./set. 2002.

ROSSO, S. **Predição das propriedades de *Eucalyptus grandis* Maiden por espectroscopia no infravermelho próximo**. 2010. 125 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2010.

SILVA, J. C. **Caracterização da madeira de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden, de diferentes idades, visando a sua utilização na indústria moveleira**. 2002. 148f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Paraná, Paraná, 2002.

SILVA, J. C. et al. Influência da idade e da posição radial na massa específica básica da madeira de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden. **Revista Floresta**, Curitiba, v. 34, n. 1, p. 13-22, 2004.

SCANAVACA JUNIOR, L.; GARCIA, J. N. Rendimento de madeira serrada de *Eucalyptus urophylla*. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 63, p. 32-43, 2003.

SCANAVACA JUNIOR, L.; GARCIA, J. N. Determinação das propriedades físicas e mecânicas da madeira de *Eucalyptus urophylla*. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 65, p. 120-129, 2004.

SCHACHT, L.; GARCIA, J. N.; VENCOVSKY, R. Variação genética de indicadores e tensão de crescimento em clones de *Eucalyptus urophylla*. **Scientia Forestalis**, Piracicaba v. 54, p. 55-68, dez. 1998.

SHIMOYAMA, V. R. S. **Variação da densidade básica e características anatômicas e químicas da madeira em *Eucalyptus* spp.** 1990. 93 f. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 1990.

SOUZA, V. R.; CARPIM, M. A.; BARRICHELO, L. E. G. Densidade básica entre procedências e posições em árvores de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna*. **IPEF**, Piracicaba, n. 33, p. 65-72, 1986.

SOUZA, M. A. M. de. **Deformação residual longitudinal (DRL) causada pelas tensões de crescimento em clones de híbridos de *Eucalyptus***. 2002. 72 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2002.

TOMAZELLO FILHO, M. Variação radial da densidade básica e da estrutura anatômica da madeira de *Eucalyptus saligna* e *Eucalyptus grandis*. **IPEF**, Piracicaba, v. 29, p. 37-45, 1985.

TREVISAN, R. **Efeito da intensidade de desbaste nas características dendrométricas e tecnológicas de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden**. 2006. 138 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2006.

TREVISAN, R. **Efeito do desbaste nos parâmetros dendrométricos e na qualidade da madeira de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden**. 2010. 174 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2010.

TRUGILHO, P. F. et al. Avaliação da tensão de crescimento em clones de *Eucalyptus*. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 9, n. 1, p. 38-44, 2002.

TRUGILHO, P. F. et al. Efeitos da idade e classe diamétrica na deformação residual longitudinal em árvores de *Eucalyptus dunni* Maiden. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 28, n.5, p. 725-731, 2004.

TRUGILHO, P. F. **Tensão de crescimento em árvores vivas de clones de *Eucalyptus* spp. e de *Eucalyptus dunnii* Maiden e propriedades de sua madeira**. 2005. 123 f. Tese (Pós Doutorado em Ciências Florestais), Universidade Federal do Paraná, Curitiba 2005.

VITAL, B. R.; DELLA LUCIA, R. M. Características físicas e mecânicas da madeira de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 4, n. 1, p. 70 – 74, 1980.

VITAL, B. R. Métodos de determinação da densidade da madeira. SIF/UFV **Boletim Técnico**, n. 1, p. 1-21, 1984.

5 ESTIMATIVA DOS COMPONENTES DA VARIÂNCIA E GANHO DE SELEÇÃO PARA QUALIDADE DA MADEIRA DE *Eucalyptus* spp.

5.1 Introdução

A procura por um material de qualidade superior, que atenda ao exigente mercado madeireiro, vem crescendo a cada ano. Esse comportamento é refletido nos diferentes segmentos florestais, a partir do manejo, da silvicultura e do melhoramento florestal, finalizando no setor tecnológico de base florestal. Assim, o conhecimento da variabilidade entre os materiais disponíveis e as relações entre as características tecnológicas e dendrométricas são de extrema importância (GONÇALVES, 2006).

O melhoramento genético aplicado ao gênero *Eucalyptus* apresenta-se como uma opção potencial para o aumento da produção de madeira. Isso é possível não apenas pela capacidade produtiva e pela alta adaptabilidade das espécies desse gênero, mas, principalmente, pela variabilidade inter e intraespecífica, que expressam diversas propriedades anatômicas, físicas, mecânicas e químicas da madeira, tornando possível atender aos requisitos tecnológicos dos mais variados setores da produção madeireira e industrial (BOTREL et al., 2007).

Por essa razão, a aplicação de seleção para essas características possibilitará ganhos genéticos em qualidade da madeira proporcionais à variabilidade disponível. Isso possibilitará a utilização da madeira de diferentes espécies ou híbridos interespecíficos para vários setores industriais, com desempenho compatível ao da utilização das madeiras nativas tradicionais (RODRIGUES, 2007), porém, com maior disponibilidade de matéria-prima e, atualmente, de tecnologias silviculturais.

Os estudos envolvendo técnicas silviculturais, de estratégias de melhoramento genético e de processos industriais vêm sendo realizados, a fim de encontrar alternativas mais apropriadas para a melhor utilização do eucalipto (ROCHA, 2000). Mesmo com as incessantes pesquisas sobre o desdobro de eucaliptos, ainda existem muitas dúvidas a serem sanadas e soluções a serem encontradas, de modo que se possam atingir níveis adequados industrialmente, de rendimentos e de qualidade do produto final.

Por exemplo, uma forma de reduzir os principais defeitos da madeira de eucalipto, como os provocados pelas tensões de crescimento, é através da caracterização e identificação de pesquisas de campo, laboratório de espécies, procedências, progênies, clones ou indivíduos com características silviculturais e tecnológicas adequadas à produção de toras para madeira serrada (PONCE, 1995).

A tensão de crescimento é uma característica genética e, portanto, o melhoramento genético pode fornecer uma solução biológica para minimizar os seus efeitos, mesmo em condições ambientais que favorecem a sua expressão (MALAN, 1995; SCHACHT et al., 1998). Dessa forma, a seleção de clones com menores níveis de tensão de crescimento deve ser um objetivo importante para os programas de melhoramento genético de eucalipto, a fim de que sejam produzidos exemplares com melhor distribuição de tensão na circunferência do tronco.

A redução das tensões de crescimento propiciará a produção de madeira serrada com menor índice de rachadura nas extremidades, de encurvamento e de arqueamento (SCHACHT et al., 1998). A seleção de clones superiores depende da avaliação dos níveis de tensões de crescimento no tronco das árvores ainda em crescimento, para posterior produção de mudas, para atender a demanda do mercado madeireiro.

Diante desse contexto, o objetivo do presente estudo foi estimar os componentes da variância fenotípica e o ganho genético de seleção para a identificação de clones de *Eucalyptus* spp. que combinem crescimento e qualidade da madeira.

5.2 Material e métodos

As informações referentes à localização, caracterização da área experimental, bem como a seleção dos clones, descrição de cada clone e o modo como foram selecionados para o estudo, seguiram os procedimentos descritos nos itens 2.2.1 e 3.2.1, respectivamente.

5.2.1 Variáveis estudadas

As variáveis selecionadas para estimar os componentes da variância fenotípica e do ganho indireto de seleção para os clones do estudo foram: deformações residuais longitudinais (DRL), volume sem casca (V_{sc}), massa específica básica ponderada (ρ_{pond}) e índice de rachadura de topo em toras (IRT). Essas variáveis foram utilizadas por apresentarem grande importância tecnológica na caracterização qualitativa da madeira produzida.

Os métodos utilizados para a determinação da DRL, V_{sc} , ρ_{pond} e IRT seguem os mesmos procedimentos descritos nos itens 3.2.2, 3.2.4, 4.2.2, 4.2.4, respectivamente.

5.2.2 Estimativas dos componentes da variância

As estimativas dos componentes da variância fenotípica foram obtidas a partir da esperança dos quadrados médios da análise de variância, seguindo o delineamento de blocos ao acaso, conforme o modelo estatístico dado pela Equação 1.

$$Y_{ij} = \mu + C_i + \beta_j + E_{ij} \quad (1)$$

Em que: Y_{ij} = valor médio observado no i -ésimo clone na j -ésima repetição; μ = média geral observada; C_i = efeito aleatório do i -ésimo clone ($i=1,2,3,\dots,29$); β_j = efeito fixo do j -ésimo bloco; E_{ij} = erro experimental associado à observação Y_{ij} (efeito aleatório).

A estrutura da análise de variância para as variáveis estudadas foi realizada conforme descrito na Tabela 5.1.

TABELA 5.1 - Quadro de análise da variância com as estimativas de cada fonte de variação para as diferentes variáveis avaliadas.

Fonte variação	GL	E(QM)	QM	F
Bloco	$(r - 1)$	$\sigma^2 + c \sigma_b^2$	Q_1	Q_1/Q_3
Clone	$(c - 1)$	$\sigma^2 + r \sigma_c^2$	Q_2	Q_2/Q_3
Erro	$(r - 1)(c - 1)$	σ^2	Q_3	

Onde: GL = graus de liberdade; E(QM) = soma dos quadrados; QM = quadrado médio; F = valor de F calculado; Q_1 = quadro médio do bloco, Q_2 = quadro médio do clone, Q_3 = quadrado médio do erro, c = clone, r = repetição.

A partir dos quadrados médios da análise da variância para cada uma das variáveis estudadas, foram estimados os componentes da variância fenotípica ou total, conforme apresentado na Tabela 5.2. Todas as análises foram realizadas com o auxílio do programa GENES (CRUZ, 2006).

TABELA 5.2 - Estimadores dos componentes da variação, da variância total e da herdabilidade das variáveis avaliadas.

Parâmetro Estimado	Equação
Coefficiente variação experimental, em %	$CV_{e(\%)} = \frac{\sqrt{Q_3}}{\text{média}} \times 100$
Coefficiente de variação genética, em %	$CV_{g(\%)} = \frac{\sqrt{\hat{\sigma}_g^2}}{\text{média}} \times 100$
Variância fenotípica	$\hat{\sigma}_f^2 = \frac{Q_2}{r}$
Variância genotípica	$\hat{\sigma}_g^2 = \frac{Q_2 - Q_3}{r}$
Variância ambiental	$\hat{\sigma}_e^2 = \frac{Q_3}{r}$
Herdabilidade, em %	$h^2 = \frac{\hat{\sigma}_c^2}{\hat{\sigma}_f^2} \times 100$

Onde: Q_2 = quadro médio do clone, Q_3 = quadrado médio do erro, r = repetição.

5.2.3 Ganhos de seleção

Os clones de *Eucalyptus* spp. foram comparados pelo teste de Scott-Knott, a 5% de probabilidade de erro. Com base na comparação de médias, os clones foram ranqueados para cada uma das variáveis estudadas. A identificação dos melhores clones foi baseada nos maiores valores para o volume sem casca e para massa específica básica ponderada, bem como nos menores valores para deformação residual longitudinal e para índice de rachadura de topo em toras.

Os melhores clones foram ranqueados com o valor 1 (um), sendo que os clones com a melhor combinação de caracteres superiores foram identificados com base na soma de postos proposta por Mulamba e Mock (1978), sendo selecionados clones com a menor soma. Assim, a seleção de clones foi baseada na combinação de caracteres superiores e, por isso, equivale à seleção indireta.

Com base na soma de postos, foram selecionados 10 clones de *Eucalyptus* spp., para posterior predição de ganhos indiretos de seleção, conforme a Equação 2:

$$GS = MCS - MCO \quad (2)$$

Onde: GS = Ganho de seleção, MCS = média dos clones selecionados, MCO = média original de todos os clones.

5.3 Resultados e discussão

5.3.1 Estimativa dos componentes de variância

Os resultados da análise de variância e a estimativa dos componentes fenotípicos mostraram a existência de variabilidade genética entre os clones avaliados ($p \leq 0,05$), para as variáveis de deformação residual longitudinal, volume sem casca, massa específica básica ponderada e índice de rachadura de topo de toras (Tabela 5.3). Diante dessa variabilidade, podem ser realizadas análises complementares e ganhos em seleção para obtenção de clones superiores.

Os ganhos são obtidos quando se dispõe de altas estimativas de herdabilidade e a relação entre os coeficientes de variação genético e experimental são superiores à unidade (CRUZ et al., 1993). Sendo assim, verifica-se que o índice de variação obtido pela razão entre o coeficiente de variação experimental (CV_e) e o coeficiente de variação genético (CV_g) apresentou valores superiores a 1,0 para as variáveis DRL, V_{sc}, ρ_{pond} e IRT, indicando condições favoráveis a ganhos na seleção. Para Vencovsky (1978) e Kageyama (1980), esses valores revelam uma alta proporção de variação genética, ou seja, boa condição para se selecionar genótipos superiores.

As estimativas desses componentes de variância entre clones de eucalipto são consideradas de grande relevância, uma vez que permitem conhecer o controle genético do caráter e o potencial para seleção (PÁDUA et al., 2004).

TABELA 5.3 - Resumo da análise de variância e das estimativas dos componentes da variação, da variância total e da herdabilidade, para a deformação residual longitudinal (DRL), volume sem casca (Vsc), massa específica básica ponderada (ρ_{pond}) e índice de rachadura de topo de toras (IRT), para clones de *Eucalyptus* spp.

FV	Quadrado médio					
	GL	DRL	Vsc	GL	ρ_{pond}	IRT
Clones	28	0,0096*	0,1136*	28	0,0045*	0,1841*
Blocos	3	0,0132*	0,0838*	1	0,0001 ^{NS}	0,0143 ^{NS}
Erro	84	0,0009	0,0151	28	0,0001	0,0137
Média		0,147	0,722		0,428	0,460
CV_e (%)		20,2906	17,3052		2,7682	25,4459
CV_g (%)		31,9169	22,1321		10,9496	63,4045
CV_g/CV_e		1,5730	1,2789		3,9556	2,4917
$\hat{\sigma}_f^2$		0,0024	0,0284		0,0023	0,0920
$\hat{\sigma}_g^2$		0,0022	0,0246		0,0022	0,0852
$\hat{\sigma}_e^2$		0,0002	0,0038		0,0001	0,0069
h^2		90,8233	86,7421		96,9034	92,5471

Onde: GL = grau de liberdade; DRL = deformação residual longitudinal (mm); Vsc = volume sem casca (m³); ρ_{pond} = massa específica básica ponderada (g/cm³); IRT = índice de rachadura de topo de tora (%); CV_e = coeficiente de variação experimental; CV_g = coeficiente de variação genética; CV_g/CV_e = índice de variação; σ^2_f = variância fenotípica; σ^2_g = variância genotípica; σ^2_e = variância ambiental; h^2 = herdabilidade; * Significativo, pelo teste F, a 5% de probabilidade, respectivamente; ^{NS} = não significativo.

Os coeficientes de herdabilidade (h^2) foram elevados, variando entre 86%, para o Vsc e 96%, para a ρ_{pond} . Esse parâmetro representa a contribuição da variância genotípica sobre a fenotípica, estando associado à precisão experimental (CARGNELUTTI FILHO e STORCK, 2009) e ao ganho genético de seleção (CRUZ e REGAZZI, 1997). Os altos valores de h^2 , obtidos para as variáveis avaliadas, demonstram um controle genético e, em consequência, a possibilidade de ganho genético de seleção. Os resultados de h^2 encontrados por Trugilho et al. (2007), para clones de *Eucalyptus* spp. aos seis anos de idade, corroboram os valores de DRL do presente estudo. Da mesma forma, Pádua et al. (2004) obtiveram valores semelhantes de h^2 para a variável DRL. Já Rodrigues (2007) encontrou valores de h^2 para DRL (77%) e IRT (84%), e valores semelhantes para ρ_{pond} (96%), em seu estudo com clones de *Eucalyptus*, aos dez anos de idade.

Desse modo, verifica-se a importância de estudos sobre a variabilidade genética, principalmente sobre as características de interesse para programas de melhoramento, sendo estas passíveis de serem realizadas por meio do conhecimento das variâncias genotípicas e fenotípicas e dos coeficientes de herdabilidade (KAGEYAMA, 1980).

Através do teste Scott-Knott, apresentado na Tabela 5.4, verificaram-se diferenças significativas em nível de 5% de probabilidade para os clones, tornando possível a seleção dos clones superiores pela soma de postos (ou ranks), proposta por Mulamba e Mock (1978), para os três grupos de clones formados em razão das características de crescimento (diâmetro e altura das árvores), conforme descrito no item 3.2.1.

Diante da classificação dos 29 clones de *Eucalyptus* spp. pela soma de postos, foram selecionados 10 clones superiores (34%), sendo seis pertencentes ao grupo 1, dois pertencentes ao grupo 2 e dois clones ao grupo 3. Com isso, foram selecionados clones nos três grupos, sendo indiferentes suas características de crescimento, demonstrando que existem clones de qualidade em ambos os grupos.

Os 10 clones foram selecionados por apresentarem menores valores para as variáveis DRL e IRT e maiores valores para as variáveis Vsc e ρ_{pond} , sendo essas características consideradas apropriadas para a aquisição de madeiras de qualidade, tanto para serraria como para celulose.

De acordo com Cruz (2006), para a obtenção de materiais genéticos superiores, o melhorista necessita selecionar, com base em vários caracteres, para melhor inferir sobre a superioridade relativa dos mesmos. Uma forma de se aumentar o êxito com a seleção é por meio da utilização dos índices de seleção, pois estes permitem a seleção simultânea de várias características de interesse. Para Spinelli et al. (2010), a seleção de materiais genéticos deve considerar, além da maior relevância dessas características na atribuição de pesos, a manutenção da variabilidade das características em estudo.

Os clones 34 (grupo 1) e 23 (grupo 3), apresentaram os melhores desempenhos diante a seleção, pois obtiveram os menores valores na soma de postos proposta por Mulamba e Mock (1978), podendo esses serem considerados clones em potencial para a aquisição de madeira sólida. Esse resultado indica que a seleção simultânea de caracteres pode resultar em ganhos genéticos e econômicos, favorecendo, assim, a produção de madeira.

TABELA 5.4 - Valores médios para deformação residual longitudinal (DRL), volume sem casca (Vsc), massa específica básica ponderada (ρ_{pond}), índice de rachadura de topo de toras (IRT) e soma de postos para clones de *Eucalyptus* spp.

Clones	Variáveis				Soma de Postos				Soma Total
	DRL (mm)	Vsc (m ³)	ρ_{pond} (g/cm ³)	IRT (%)	DRL (mm)	Vsc (m ³)	ρ_{pond} (g/cm ³)	IRT (%)	
Grupo 1									
8	0,103a*	0,743	0,471 c	0,143	1	2	3	1	7**
9	0,127 a	0,597	0,377 g	0,279	1	2	7	1	11
12	0,113 a	0,953	0,363 g	0,243	1	1	7	1	10
26	0,121 a	1,111	0,368 g	0,306	1	1	7	1	10
29	0,161 b	0,746	0,398 f	0,923	2	2	6	3	13
31	0,103 a	0,945	0,437 d	0,228	1	1	4	1	7**
33	0,144 b	0,684	0,439 d	0,224	2	2	4	1	9
34	0,120 a	0,789	0,463 c	0,243	1	1	3	1	6**
35	0,119 a	0,824	0,385 f	0,298	1	1	6	1	9
53	0,113 a	0,723	0,396 f	0,340	1	2	6	1	10
54	0,110 a	0,963	0,405 e	0,176	1	1	5	1	8**
64	0,149 b	0,615	0,449 c	0,249	2	2	3	1	8**
68	0,095 a	0,622	0,425 d	0,154	1	2	4	1	8**
72	0,094 a	0,571	0,395 f	0,395	1	2	6	1	10
73	0,231 c	0,974	0,426 d	0,937	3	1	4	3	11
Grupo 2									
1	0,198 c	0,599	0,535 a	0,220	3	2	1	1	7**
3	0,127 a	0,927	0,406 e	0,637	1	1	5	2	9
10	0,221 c	0,633	0,415 e	1,151	3	2	5	4	14
11	0,202 c	0,861	0,361 g	0,725	3	1	7	2	13
13	0,123 a	0,665	0,414 e	0,293	1	2	5	1	9
14	0,147 b	0,454	0,410 e	0,793	2	2	5	2	11
21	0,147 b	0,668	0,398 f	0,402	2	2	6	1	11
24	0,137 b	0,634	0,494 b	0,521	2	2	2	1	7**
25	0,164 c	0,712	0,463 c	0,485	3	2	3	1	9
27	0,316 d	0,710	0,380 g	1,230	4	2	7	4	17
Grupo 3									
7	0,180 c	0,419	0,496 b	0,606	3	2	2	2	9
16	0,100 a	0,319	0,431 d	0,166	1	3	4	1	9
22	0,145 b	0,918	0,494 b	0,604	2	1	2	2	7**
23	0,140 b	0,550	0,522 a	0,380	2	2	1	1	6**

Onde: * Médias seguidas por mesma letra na coluna não diferem entre si, pelo teste Scott-Knott a 5% de probabilidade, ** clones selecionados pelo método da soma de postos.

Em relação às variáveis observadas para a seleção, a DRL é considerada uma importante característica a ser pesquisada para obtenção de madeira para a produção de

produtos sólidos, pois está diretamente relacionada à grande quantidade de defeitos que ocorrem na madeira. Esses defeitos ocorrem desde a derrubada da árvore no campo até o posterior processo de desdobro, originando rachaduras e empenamentos na madeira. Diante disso, a seleção visa eleger clones com menores níveis de DRL, sendo estes apropriados para garantir o suprimento futuro de madeira de qualidade para o setor madeireiro (PÁDUA, 2004).

O IRT é outra variável que apresenta grande importância na seleção, pois está diretamente correlacionada à DRL, ou seja, à medida que aumentam os níveis de DRL, conseqüentemente, ocorrerá um aumento de IRT na madeira. Dessa forma, essas variáveis são consideradas características tecnológicas limitantes para a utilização da madeira serrada de eucalipto.

Segundo Hillis e Brown (1984), as variações dos IRT são observadas em nível de espécie, procedência e indivíduos. Isso indica que a seleção pode, efetivamente, produzir alterações positivas no sentido da redução das rachaduras em toras e tábuas de eucalipto. Já Zobel e Jett (1995) encontraram grande variação das rachaduras entre indivíduos em *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus globulus*, o que permite a seleção e a clonagem de genótipos com menor propensão a essa variável.

No entanto, caso o melhoramento seja voltado para a produção de celulose e papel, as variáveis V_{sc} e ρ_{pond} apresentam maior relevância. A massa específica tem se mostrado um bom índice no rendimento do processo industrial e na avaliação da qualidade da madeira, tornando-se uma variável de importante utilidade para programas de melhoramento genético.

Segundo Setúbal et al. (2004), para a indústria de celulose e papel, uma avaliação adequada da massa específica fornecerá informações precisas acerca da impregnação dos cavacos e rendimentos do processo, estando geralmente associada às características de qualidade e de resistência físico-mecânicas da polpa.

Atualmente, para a produção de celulose e papel, selecionam-se materiais genéticos com massa específica com, aproximadamente, $0,450 \text{ g/cm}^3$, com valores limites entre $0,400 \text{ g/cm}^3$ e $0,600 \text{ g/cm}^3$. A partir desses valores, o teor de rejeitos e o consumo de álcali sempre aumentam. Tão importante quanto a massa específica, o volume pode limitar a escolha do material genético de acordo com a finalidade, pois tanto para a produção de madeira sólida quanto para celulose, busca-se obter volumes de madeira satisfatórios. No presente estudo, seriam considerados potenciais para a produção de celulose, de acordo as informações já mencionadas, os clones 8, 34 (grupo 1), 1, 24 grupo 2) e 22 e 23 (grupo 3), pois apresentam valores de ρ_{pond} e V_{sc} ideais para a processo.

5.3.2 Ganhos de seleção

As estimativas dos ganhos com a seleção dos 10 clones superiores para as variáveis deformação residual longitudinal, volume sem casca, massa específica básica ponderada e índice de rachadura de topo resultaram de maneira favorável, pois se verificou a obtenção de ganhos genéticos para as variáveis analisadas (Tabela 5.5).

TABELA 5.5 - Média original dos clones (MCO), média dos clones selecionados (MCS), ganho genético (GS) e percentual (GS) indireto de seleção pelo método da soma de postos, proposto por Mulamba e Mock (1978), para deformação residual longitudinal (DRL), volume sem casca (Vsc), massa específica básica ponderada (ρ_{pond}) e índice de rachadura de topo de toras (IRT), em clones de *Eucalyptus* spp.

Variáveis	DRL (mm)	Vsc (m ³)	ρ_{pond} (g/cm ³)	IRT (%)
MCO	0,147	0,722	0,428	0,460
MCS	0,130	0,738	0,470	0,292
GS	- 0,017	0,016	0,042	- 0,168
GS%	- 11,7*	2,2	9,8	- 36,5*

Onde: * Valores negativos representam ganhos genéticos favoráveis para as variáveis deformação residual e índice de rachadura de topo, pois quanto menores estes valores, melhor será a qualidade da madeira.

De acordo com a Tabela 5.5, essa seleção proporcionará um ganho genético esperado de 0,016 m³ para o Vsc, representando 2,2 %, 0,042 g/cm³ para a ρ_{pond} , representando 9,8% e uma diminuição de 0,017 mm e 0,168 % para DRL e IRT, representando - 11,7 e - 36,5 %. Dessa forma, verifica-se que os ganhos genéticos com a seleção das variáveis de crescimento e qualidade da madeira podem ser utilizados para pesquisas futuras em programas de melhoramento genético florestal, visando à obtenção de madeiras para o setor madeireiro.

De acordo com os resultados obtidos por Trugilho et al. (2007), a seleção de clones de *Eucalyptus* spp. para a variável DRL proporcionou um ganho genético de 28,2 %. Pádua et al. (2004), analisando os níveis da DRL em três áreas clonais distintas (área 1 = 46 clones; área 2 = 40 clones; área 3 = 52 clones) de *Eucalyptus* spp., obteve ganhos genéticos com a seleção de 36,05%, 41,52% e 38,19%, respectivamente. Já Botrel et al. (2007) encontrou para a massa específica básica ganhos genéticos de 6,98%, com seleção de dois clones superiores de

Eucalyptus. Comparativamente, Moura (2000) obteve 11,95% para o ganho da massa específica básica.

Com isso, os ganhos obtidos propiciarão a produção de madeira de melhor qualidade, reduzindo, assim, os principais defeitos decorrentes da tensão, como cerne quebradiço, fendas ou rachaduras de extremidade de tora e empenamentos das peças serradas (NICHOLSON, 1973; GARCIA, 1992; CRÊSPO, 2000; GARCIA et al., 2001).

5.4 Conclusões

Diante dos resultados do presente estudo, pode-se concluir que:

- ✓ as variáveis de deformação residual longitudinal, volume sem casca, massa específica básica ponderada e índice de rachadura de topo apresentam altos valores de herdabilidade e índice de variação, o que facilita a seleção e garante ganhos genéticos satisfatórios;
- ✓ os clones considerados superiores podem ser identificados por meio de variáveis de crescimento e de variáveis qualitativas da madeira, conforme as variáveis descritas no estudo;
- ✓ os clones 34 (*E. urophylla* x *E. grandis*) e 23 (*E. saligna* x *E. saligna*) são considerados potenciais para programas de melhoramento, por apresentarem características ideais para a produção de madeira sólida;
- ✓ ganhos indiretos de seleção podem ser obtidos para as variáveis da madeira, principalmente para o índice de rachadura de topo (36,5%), deformação residual longitudinal (11,7%), massa específica ponderada (9,8%) e volume sem casca (2,2%), mostrando-se eficientes para obtenção de madeiras de qualidade.

5.5 Referências

BOTREL, M. C. G, et al. Ganho genético em propriedades físicas e mecânicas de clones de *Eucalyptus*. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 76, p. 13-19, 2007.

CARGNELUTTI FILHO A, STORCK L. Medidas do grau de precisão experimental em ensaios de competição de cultivares de milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 44, n. 2, p. 111-117, 2009.

CRÊSPO, E. A. **Tensão de crescimento e suas consequências, controláveis e não controláveis, no desdobro e secagem do *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna***. 2000. 120 f. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, 2000.

CRUZ, C. D. et al. Comparison of gains from selection among corn progenies, based on different criteria. **Revista Brasileira de Genética**, Ribeirão Preto, v. 16, n. 1, p. 79-89, 1993.

CRUZ, C. D. **Programa Genes: biometria**. Versão Windows; aplicativo computacional em genética e estatística. Viçosa: UFV, 2006. 382 p.

CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J. **Modelos Biométricos aplicados ao melhoramento genético**, 2 ed. Editora UFV, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1997. 390p.

GARCIA, J. N. **Estados de tensão em árvores e de deformação em peças de madeira serrada**. 1992. 262 f. Tese (Doutorado) - Escola Politécnica, USP, São Paulo, 1992.

GARCIA, J. N.; CRÊSPO, E. A.; BAILLÈRES, H. Influence of log characteristics and machines performance on *Eucalyptus* board and splitting and board deflections. In: INTERNATIONAL WOOD MACHINING SEMINAR, 15., 2001, Los Angeles. **Proceedings...** Berkeley: Wood Machining Institute, p.163-171. 2001.

GONÇALVES, G. G. **Avaliação da qualidade da madeira de híbrido clonal de *Eucalyptus urophylla* x *grandis* para produtos sólidos**. 2006. 165 f. Dissertação (Mestrado em Produção vegetal) – Universidade Federal de Espírito Santo, Alegre, 2006.

HILLIS, W. E.; BROWN, A.G. ***Eucalyptus* for wood production**. 1984, 434p. Sydney: Academic Press, 1984

KAGEYAMA, P. Y. **Variação genética em progênes de uma população de *Eucalyptus grandis* Hill Maiden**. 1980. 125 f. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento de Plantas) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 1980.

MALAN, F. S. *Eucalyptus* improvement for lumber production. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL DE UTILIZAÇÃO DA MADEIRA DE *Eucalyptus* PARA SERRARIA, 1995, São Paulo. **Anais...**São Paulo: IPEF/IPT/IUFRO/LCF/ ESALQ/ USP, 1995. p.1-19.

MOURA, M. C. O. **Variações em características do crescimento e da madeira em clones de *Eucalyptus***. 2000. 63 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2000.

MULAMBA, N. N.; MOCK, J. J. Improvement of yield potential of the Eto Blanco maize (*Zea mays* L.) population by breeding for plant traits. **Egyptian Journal of Genetics and Cytology**, Alexandria, v.7, p. 40-51, 1978.

NICHOLSON, J. E. Growth stress differences in eucalypts. **Forest Science**, Bethesda, v.19, n. 3, p. 169-174, 1973.

PÁDUA, F. A. **Estimativas de parâmetros genéticos das tensões de crescimento em clones de *Eucalyptus***. 2004. 66 f. Dissertação (Mestrado) – Univ. Federal de Lavras, Lavras, 2004.

PÁDUA, F. A. et al. Estimativa de parâmetros genéticos das tensões de crescimento em clones de *Eucalyptus*. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 66, p. 152-160, dez. 2004.

PONCE, R. H. Madeira Serrada de Eucalipto: desafios e perspectivas. In: **Seminário Internacional de Utilização da Madeira de Eucalipto para Serraria**, São Paulo, p. 50-8. 1995.

ROCHA, M. P. ***Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden e *Eucalyptus dunnii* Maiden como fontes de matéria prima para serraria**. 2000. 185 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2000.

RODRIGUES, E. A. C. **Estimação de parâmetros genéticos, fenotípicos e ambientais para a qualidade da madeira de *Eucalyptus* em árvores vivas**. 2007.102 f. Tese (Doutorado em Florestas e Produção) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2007.

SETUBAL, S. C. Q et al. Influência da densidade básica na madeira na qualidade da polpa Kraft de clones híbridos de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden x *Eucalyptus urophylla* S. T. Black. **Revista Árvore**, Viçosa, v.28, n.6, p. 901-909, 2004.

SCHACHT, L.; GARCIA, J. N.; VENCOVSKY, R. Variação genética de indicadores e tensão de crescimento em clones de *Eucalyptus urophylla*. **Scientia Forestalis**, Piracicaba v. 54, p. 55-68, 1998.

SPINELLI, V. M, et al. Componentes primários e secundários do rendimento de óleo de pinhão-mansão. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.40, n.8, p.1.752-1.758, 2010.

TRUGILHO, P. F. et al. Deformação residual longitudinal (DRL) e sua relação com as características de crescimento da árvore em clones de *Eucalyptus*. **Cerne**, Lavras, v. 13, n. 2, p. 130-137, 2007.

VENCOVSKY, R. Herança quantitativa. In: PATERNIANI, E. (Coord.) **Melhoramento de milho no Brasil**. Piracicaba: Fundação Cargill, 1978. p. 122-199.

ZOBEL, B. J.; JETT, J. B. **Genetics of Wood Production**. Syracuse: Springer-Verlag, U.S.A., 1995.

6 CONCLUSÃO GERAL

Os resultados obtidos nesse estudo sobre o desempenho silvicultural e a seleção de clones superiores de *Eucalyptus* spp. para obtenção de madeira de qualidade, permitem concluir:

A seleção precoce determinada por meio do diâmetro a altura do peito aos três anos de idade é uma alternativa viável para a identificação de clones superiores para futuros plantios florestais visando a obtenção de madeira.

A tensão de crescimento longitudinal, juntamente com as rachaduras de topo, podem ser utilizadas como importantes ferramentas para programas de melhoramento genético, na busca de clones com menores propensões a defeitos.

A seleção de clones realizada por meio das variáveis deformação residual longitudinal, volume sem casca, massa específica ponderada e índice de rachadura de topo proporcionaram ganhos genéticos satisfatórios, tanto para o melhoramento das características de crescimento quanto para a qualidade da madeira.

Diante da seleção, identificaram-se clones superiores nos diferentes grupos formados para o estudo, combinando rápido crescimento e qualidade.

7 RECOMENDAÇÕES

Com base nos resultados obtidos nesse estudo e nas perspectivas futuras, podem-se fazer as seguintes recomendações:

- Utilizar métodos de seleção com base no desempenho silvicultural, para a obtenção de materiais genéticos superiores e posterior utilização destes na formação dos povoamentos florestais.

- Estudar os níveis de tensões de crescimento em populações de eucalipto, para que se possa utilizar corretamente a espécie. Esse fato resultará na seleção de materiais menos propensos a manifestações de defeitos.

- Avaliar as demais características da madeira de eucalipto para que se possam fornecer informações que auxiliem os programas de melhoramento genético florestal, e com isso, obter madeiras de qualidade para os mais diversos usos.

- Direcionar os programas de melhoramento genético não somente à produção de celulose e papel, mas também para a produção de madeira serrada, permitindo um maior aproveitamento da matéria-prima e possibilitando seu uso em grande escala.

8 APÊNDICES

APÊNDICE A - Relação dos 138 clones de *Eucalyptus* spp. pertencentes a cada grupo e seus respectivos parâmetros estatísticos para DAP3, DAP7 e h7 das árvores.

Grupo 1				Grupo 2				Grupo 3			
CLONE	DAP3	DAP7	h7	CLONE	DAP3	DAP7	h7	CLONE	DAP3	DAP7	h7
8	14,91	25,19	30,39	1	13,39	20,01	28,05	7	13,34	19,14	25,59
9	16,23	25,87	29,80	3	12,94	21,75	27,59	16	13,81	18,18	23,70
12	14,02	24,03	29,82	10	14,54	23,17	28,10	20	11,91	15,98	24,77
26	15,73	27,83	31,93	11	14,36	21,90	27,45	22	12,84	18,96	26,01
29	13,60	23,63	30,05	13	14,39	21,95	28,66	23	12,31	17,32	25,00
31	13,23	24,10	29,18	14	13,20	20,18	26,43	30	12,69	18,90	24,88
33	14,97	24,15	30,97	21	13,78	21,17	26,57	36	12,74	19,76	26,12
34	15,69	24,44	30,56	24	13,60	19,92	27,61	39	12,43	18,14	26,68
35	13,76	25,76	29,61	25	14,21	21,99	29,17	40	12,41	18,93	24,59
53	15,61	25,11	29,64	27	13,14	22,32	27,97	43	12,28	17,45	23,18
54	15,28	26,03	30,77	28	13,26	22,79	28,22	48	12,96	17,79	23,09
64	14,13	22,69	29,79	32	14,59	21,70	28,59	50	13,60	18,44	24,88
68	15,50	23,19	29,13	44	14,05	21,16	27,86	51	13,03	18,43	25,05
72	14,44	24,66	31,22	47	13,54	22,52	29,42	60	12,80	17,38	26,15
73	15,64	26,70	32,22	55	14,44	21,14	27,09	67	12,48	16,61	23,69
76	14,60	23,64	30,05	57	14,23	20,23	27,43	71	13,28	17,18	25,18
77	14,67	23,21	29,21	58	13,21	20,23	27,09	74	12,84	18,27	25,69
78	16,24	27,77	31,36	59	13,31	20,40	28,18	97	12,34	16,78	25,04
81	15,00	23,71	29,75	75	13,55	21,66	28,73	105	13,45	17,21	24,26
82	14,77	24,07	28,76	79	13,23	21,89	28,23	113	12,79	18,05	26,87
83	15,00	25,04	31,64	80	14,15	22,21	28,37	115	13,65	18,07	24,34
108	13,46	23,78	29,03	84	13,11	20,87	29,24	118	13,45	16,27	23,70
111	14,66	25,11	31,09	95	14,24	22,02	27,78	119	12,28	18,59	22,70
132	15,16	24,00	29,85	98	13,99	20,34	25,77	135	13,78	17,23	23,24
138	14,59	22,77	30,05	99	13,67	19,69	27,01				
				101	14,28	22,28	26,62				
				107	13,32	22,32	27,71				
				109	13,22	21,81	28,30				
				110	13,39	22,15	26,00				
				114	14,26	22,11	29,39				
				117	14,64	21,21	27,37				
				126	13,14	21,69	27,76				
				128	14,04	20,37	29,29				
N° de clones	25	25	25		33	33	33		24	24	24
Mínimo	13,23	22,69	28,76		12,94	19,69	25,77		11,91	15,98	22,70
Máximo	16,24	27,83	32,22		14,64	23,17	29,42		13,81	19,76	26,87
Variância	0,68	1,94	0,90		0,28	0,86	0,91		0,29	0,92	1,36
Desvio padrão	0,82	1,39	0,95		0,53	0,93	0,95		0,54	0,96	1,16
Erro padrão	0,16	0,28	0,19		0,09	0,16	0,17		0,11	0,20	0,24
CV(%)	5,54	5,65	3,13		3,83	4,32	3,42		4,21	5,35	4,70

Grupo 4				Grupo 5			
CLONE	DAP3	DAP7	h7	CLONE	DAP3	DAP7	h7
<i>2</i>	12,60	15,39	21,31	<i>4</i>	11,12	13,32	19,89
<i>5</i>	11,69	14,08	20,54	<i>15</i>	10,63	11,78	16,58
<i>6</i>	12,61	15,25	21,12	<i>18</i>	11,49	14,59	18,43
<i>17</i>	12,22	14,14	20,77	<i>19</i>	11,09	13,29	18,76
<i>38</i>	11,22	14,76	23,77	<i>37</i>	8,27	9,82	14,38
<i>45</i>	11,80	14,10	20,61	<i>41</i>	8,81	9,77	15,18
<i>46</i>	11,31	15,93	22,22	<i>42</i>	10,58	13,56	18,16
<i>56</i>	11,97	15,63	23,37	<i>49</i>	10,90	11,51	17,01
<i>61</i>	12,60	15,10	23,59	<i>52</i>	11,54	12,16	18,18
<i>63</i>	11,97	14,75	22,68	<i>62</i>	11,67	13,48	17,57
<i>65</i>	11,48	15,29	21,62	<i>70</i>	11,01	12,19	19,61
<i>66</i>	12,49	15,40	21,43	<i>85</i>	10,11	10,53	15,87
<i>69</i>	11,67	13,35	21,60	<i>89</i>	11,67	13,14	19,86
<i>86</i>	12,92	16,11	22,57	<i>91</i>	10,93	13,01	19,81
<i>87</i>	12,02	14,18	23,26	<i>92</i>	10,75	11,24	16,93
<i>88</i>	11,83	13,31	21,20	<i>94</i>	11,78	12,72	17,57
<i>90</i>	12,95	15,79	23,45	<i>104</i>	11,58	13,49	20,06
<i>93</i>	12,18	13,68	21,99	<i>106</i>	11,28	13,12	20,33
<i>96</i>	12,47	15,09	23,23	<i>112</i>	10,69	12,31	18,17
<i>100</i>	11,66	16,84	20,17	<i>116</i>	10,70	12,87	19,75
<i>102</i>	12,47	15,58	22,40	<i>122</i>	10,53	11,98	19,30
<i>103</i>	11,67	14,13	22,30	<i>123</i>	10,69	11,55	19,74
<i>120</i>	12,41	12,95	20,60	<i>124</i>	11,08	12,08	20,20
<i>121</i>	12,47	13,51	20,21	<i>125</i>	11,60	12,58	19,06
<i>129</i>	11,96	14,27	20,41	<i>127</i>	11,16	12,15	18,45
<i>133</i>	12,86	15,74	23,05	<i>130</i>	11,09	11,57	18,71
<i>136</i>	11,72	13,56	21,17	<i>131</i>	10,98	12,16	18,00
<i>137</i>	11,39	14,16	22,45	<i>134</i>	11,82	12,86	18,96
N° de clones	28	28	28		28	28	28
Mínimo	11,22	12,95	20,17		8,27	9,77	14,38
Máximo	12,95	16,84	23,77		11,82	14,59	20,33
Variância	0,25	0,98	1,28		0,64	1,24	2,41
Desvio padrão	0,50	0,99	1,13		0,80	1,11	1,55
Erro padrão	0,09	0,19	0,21		0,15	0,21	0,29
CV(%)	4,15	6,74	5,17		7,33	9,04	8,44