

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

**DETERMINAÇÃO DAS DEFORMAÇÕES RESIDUAIS
LONGITUDINAIS DECORRENTES DAS TENSÕES DE
CRESCIMENTO EM *Eucalyptus* spp.**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Rafael Beltrame

**Santa Maria, RS, Brasil
2010**

**DETERMINAÇÃO DAS DEFORMAÇÕES RESIDUAIS
LONGITUDINAIS DECORRENTES DAS TENSÕES DE
CRESCIMENTO EM *Eucalyptus* spp.**

por

Rafael Beltrame

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, área de concentração em Tecnologia de Produtos Florestais, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM-RS), como requisito parcial para a obtenção do grau de
Mestre em Engenharia Florestal.

Orientador: Clovis Roberto Haselein

**Santa Maria, RS, Brasil
2010**

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

A Comissão Examinadora, abaixo assinada,
aprova a Dissertação de Mestrado

**DETERMINAÇÃO DAS DEFORMAÇÕES RESIDUAIS LONGITUDINAIS
DECORRENTES DAS TENSÕES DE CRESCIMENTO EM *Eucalyptus*
spp.**

elaborada por
Rafael Beltrame

como requisito parcial para obtenção de grau de
Mestre em Engenharia Florestal

COMISSÃO EXAMINADORA:

Prof. PhD. CLOVIS ROBERTO HASELEIN
(Presidente/Orientador)

Prof. Dr. DARCI ALBERTO GATTO (UFPeI)

Prof. Dr. ELIO JOSÉ SANTINI (UFSM)

Santa Maria, 03 de Março de 2010.

*“Há homens que lutam um dia e são bons.
Há outros que lutam um ano e são melhores.
Há os que lutam muitos anos e são muito bons.
Porém, há os que lutam toda a vida.
Esses são os imprescindíveis.”*

(Bertolt Brecht)

AGRADECIMENTOS

A Deus, acima de tudo, pela saúde e vitalidade para realizar esse trabalho.

A minha família, em especial aos meus pais Públio e Elisabete, que sempre fizeram o possível para dar-me uma boa educação, nunca deixando de faltar o amor e o respeito. Aos meus irmãos, Fernando e Douglas, pela forte amizade.

A minha Tia Edite Beltrame que nunca mediu esforços para ajudar.

Em especial, a minha namorada Marília pelo carinho e amor, além do apoio nos momentos mais difíceis.

Para Maria Edithe que me recebeu como filho em sua casa.

Ao meu orientador Prof. Clovis Roberto Haselein, pela excelente orientação fornecida e pela amizade demonstrada durante a elaboração deste trabalho.

Aos Professores Prof. Elio José Santini, Prof. Paulo Renato Schneider e Prof. Darci Alberto Gatto pelas contribuições para o desenvolvimento do trabalho.

A empresa FIBRIA pelo empréstimo dos equipamentos e pela infra-estrutura cedida durante a realização do trabalho.

Ao pesquisador Aurélio Mendes Aguiar pelo seu apoio e dedicação.

A Universidade Federal de Santa Maria e ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, que possibilitaram a realização do mestrado; à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pelo apoio financeiro.

Aos colegas de laboratório que tiveram grande importância no decorrer do mestrado: Karina Modes, Diego Stangerlin, Joel Telles, Wagner Gugel, Magnos Vivian, Rômulo Trevisan, Tiago Cunha e Rafael Melo.

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

A todos os amigos não citados que contribuíram, de forma direta ou indireta, para a conquista dessa vitória.

Obrigado!

RESUMO

Dissertação de Mestrado
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal
Universidade Federal de Santa Maria, RS, Brasil

DETERMINAÇÃO DAS DEFORMAÇÕES RESIDUAIS LONGITUDINAIS DECORRENTES DAS TENSÕES DE CRESCIMENTO EM *Eucalyptus* spp.

Autor: Rafael Beltrame

Orientador: Prof. PhD. Clovis Roberto Haselein

Data e local da defesa: Santa Maria, 3 de Março de 2010.

O presente estudo foi desenvolvido com o objetivo de determinar as deformações residuais longitudinais (DRL), decorrentes das tensões de crescimento em árvores em pé e vivas de diferentes clones de *Eucalyptus* spp. Para tanto, foram selecionados 12 clones do gênero *Eucalyptus* com 9 anos de idade, por meio da área basal (G), sendo, estes, plantados em um espaçamento 3,0 x 2,7 m. Para as medições das variáveis do estudo, foram selecionadas 12 árvores de cada clone, onde foram medidas as variáveis de densidade básica (DB), espessura de casca (EC), diâmetro a altura do peito (DAP) e altura total (H). As medições das deformações residuais longitudinais foram realizadas, em árvores vivas, com o auxílio do extensômetro (Growth Strain Gauge), pelo método CIRAD-Fôret. As leituras foram realizadas em quatro posições ao redor do tronco da árvore, seguindo a orientação do plantio (linha, entre linha). Evitou-se realizar as medições das DRL na presença de ventos, uma vez que, com o movimento da árvore, as forças de sustentação oscilam dentro do tronco, alterando o valor registrado no aparelho. Em relação aos níveis das DRL, os resultados obtidos no estudo indicaram que os clones apresentaram grande variações entre si, obtendo um valor médio considerado elevado quando comparado com a literatura. O clone 8 se destacou por apresentar os menores níveis de deformação, sendo considerado um ótimo material para programas de melhoramento genético. Já o clone 1, apresentou os maiores valores das DRL. Ocorreram variações das DRL, ao longo da circunferência do tronco das árvores, sendo mais acentuada na linha referente à posição Leste. Analisando as correlações entre as variáveis, verificou-se que as DRL apresentou correlações significativas com a EC, DAP e o volume da árvore em pé (VOL). A DB e H não se mostraram influentes sobre a deformação residual longitudinal. Para a DRL, foram ajustados modelos de regressão em função da EC, DAP, H e VOL para explicar o comportamento dessa variável para cada clone. Apenas para a DB não foi possível ajustar um modelo significativo.

Palavras-chave: *Eucalyptus* spp.; deformação residual longitudinal; tensão de crescimento; extensômetro.

ABSTRACT

Master Thesis
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal
Universidade Federal de Santa Maria, RS, Brasil

DETERMINATION OF LONGITUDINAL RESIDUAL DEFORMATION DUE TO THE STRESS OF GROWTH IN *Eucalyptus* spp.

Author: Rafael Beltrame
Adviser: Prof. PhD. Clovis Roberto Haselein
Place and date of defence: Santa Maria, 03 of March of 2010.

This study was developed with the objective to determinate the longitudinal deformations (DRL) resulting from growth stresses in standing and living trees in different clones of *Eucalyptus* spp. To do this, 12 clones of 9 years-old *Eucalyptus* spp., were selected, through annual increment means, which were planted at a spacing of 3.0 x 2.7 m. For measurements the variables of this research, 12 trees of each clone were selected, which the some variables were measured: basic density, bark thickness, diameter and total height. The measurements of longitudinal residual strain (DRL) were made in living trees with the extensometer (Growth Strain Gauge) using the CIRAD-Forêt method. The readings were taken at four locations around the trunk of the tree following the guidance of planting (row, between rows). The measurements in the presence of winds were avoid, because with the movement of the tree, the support forces swing inside the trunk, changing the value recorded on the device. For levels of DRL, the results obtained in the study indicated that the clones had large variations between each other, and these had an average value considered high when compared with the literature. The clone 8 produced the lowest levels of deformation and it was considered an excellent genetic material. The clone 1 obtained the highest values of DRL. DRL variation occurred along the circumference of the tree trunk, and it was more pronounced on the east position. Analyzing the correlations among variables, it was found that the DRL was significantly correlated with the bark thickness, diameter and volume of standing tree. Basic density and height didn't have influence on the longitudinal residual strain. Some regression models were adjusted for DRL according to the bark thickness, diameter, height and volume to explain the behavior of this variable for each clone. Just for the basic density was not possible to set a significant model.

Key-words: *Eucalyptus* spp.; longitudinal residual strain; growth stress; extensometer.

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – Clones de <i>Eucalyptus</i> spp. selecionados para o estudo.....	34
TABELA 2 - Valores médios das variáveis mensuradas para cada clone.	43
TABELA 3 - Análise de variância para as DRL dos clones de <i>Eucalyptus</i> spp., em função das quatro posições de leitura ao redor do tronco da árvore.	46
TABELA 4 - Comparação de médias da variável DRL, em função das quatro posições de leituras ao redor do tronco da árvore.....	47
TABELA 5 – Correlação de Pearson entre a deformação residual longitudinal (DRL), densidade básica (DB), espessura de casca (EC), diâmetro a altura do peito (DAP), altura total (H) e volume da árvore em pé (VOL).....	48
TABELA 6 – Modelo de regressão e coeficientes estatísticos obtidos pelo procedimento Stepwise, para descrever a DRL, em função da EC e das variáveis Dummy.....	50
TABELA 7 – Parâmetros estatísticos do modelo gerado para estimar a DRL, em função da EC e das variáveis Dummy.	51
TABELA 8 – Modelo de regressão e coeficientes estatísticos obtidos pelo procedimento Stepwise, para descrever a DRL, em função do DAP e das variáveis Dummy.....	53
TABELA 9 - Parâmetros estatísticos do modelo gerado para estimar a DRL, em função do DAP, utilizando a variável Dummy.....	54
TABELA 10 - Modelo de regressão e coeficientes estatísticos obtidos pelo procedimento Stepwise, para descrever a DRL, em função da H e das variáveis Dummy.....	56

TABELA 11 - Parâmetros estatísticos do modelo gerado para estimar a DRL, em função da H, utilizando à variável Dummy.	57
TABELA 12 – Modelo de regressão e coeficientes estatísticos obtidos pelo procedimento Stepwise, para descrever a DRL, em função do VOL e das variáveis Dummy.	59
TABELA 13 - Parâmetros estatísticos do modelo gerado para estimar a DRL, em função do VOL, utilizando à variável Dummy.	60

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - Desenho esquemático das forças das tensões de crescimento atuando para manter o equilíbrio da árvore.	21
FIGURA 2 – Região de origem das tensões de crescimento (adaptado de TRUGILHO, 2006).	23
FIGURA 3 - Esquema representativo das forças resultantes das tensões de crescimento atuantes no sentido longitudinal da árvore (adaptado de GONÇALVES, 2007).	24
FIGURA 4 - Localização do município de Eldorado do Sul (Fonte: Google Earth, 2009).	33
FIGURA 5 – (a) Retirada da casca a altura do DAP; (b) Leitura da espessura de casca.	35
FIGURA 6 – Medição da densidade básica da árvore com o auxílio do Pilodyn.	36
FIGURA 7 – Medição da altura da árvore com o auxílio do Vertex III: (a) Leitura da distância do operador em relação à árvore; (b) Leitura da altura da árvore.	37
FIGURA 8 - Medição da deformação residual longitudinal (DRL: (a) fixação dos pinos; (b) fixação do extensômetro (c) perfuração do tronco com auxílio de uma furadeira manual.	39
FIGURA 9 - Comportamento da deformação residual longitudinal (DRL), através da equação modelada, em função da espessura de casca (EC) e das variáveis Dummy, definidas pelos clones.	51
FIGURA 10 – Comportamento da espessura de casca (EC) em função do diâmetro a altura do peito (DAP).	52

FIGURA 11 – Comportamento da deformação residual longitudinal (DRL), através da equação modelada, em função do diâmetro à altura do peito (DAP) e das variáveis Dummy, definidas pelos clones.	55
FIGURA 12- Comportamento da deformação residual longitudinal (DRL), através da equação modelada, em função da altura total (H) e das variáveis Dummy, definidas pelos clones.....	58
FIGURA 13 – Comportamento da deformação residual longitudinal (DRL), através da equação modelada, em função do volume da árvore em pé (VOL) e das variáveis Dummy, definidas pelos clones.	61

LISTA DE APÊNDICE

APÊNDICE 1 - Croqui da área do experimento.	73
APÊNDICE 2 - Planilha de campo.	74
APÊNDICE 3 - Valores médios para as DRL dos clones de Eucalipto em função das quatro posições de leituras ao redor do tronco da árvore.	75
APÊNDICE 4 - Análise de variância da deformação residual longitudinal (DRL) em função da Espessura de casca (EC) e das variáveis Dummy, para o modelo selecionado através do procedimento Stepwise.	76
APÊNDICE 5 - Análise de variância da deformação residual longitudinal (DRL) em função do diâmetro a altura do peito (DAP) e das variáveis Dummy, para o modelo selecionado através do procedimento Stepwise.	76
APÊNDICE 6 - Análise de variância da deformação residual longitudinal (DRL) em função da altura total (H) e das variáveis Dummy, para o modelo selecionado através do procedimento Stepwise.	77
APÊNDICE 7 - Análise de variância da deformação residual longitudinal (DRL) em função do volume da árvore em pé (VOL) e das variáveis Dummy, para o modelo selecionado através do procedimento Stepwise.	77
APÊNDICE 8 - Dispersão dos resíduos da DRL da equação modelada em função do volume e das variáveis Dummy, definidas pelos clones.	78
APÊNDICE 9 - Dispersão dos resíduos da DRL da equação modelada em função do diâmetro à altura do peito e das variáveis Dummy, definidas pelos clones.	78
APÊNDICE 10 - Dispersão dos resíduos da DRL da equação modelada em função da espessura de casca e das variáveis Dummy, definidas pelos clones.	79

APÊNDICE 11 - Dispersão dos resíduos da DRL da equação modelada em função da altura e das variáveis Dummy, definidas pelos clones.....	79
APÊNDICE 12 - Valores estimados através do modelo de regressão da DRL em função da EC e das variáveis Dummy, para os clones estudados.....	80
APÊNDICE 13 - Valores estimados através do modelo de regressão da DRL em função do DAP e das variáveis Dummy, para os clones estudados.	80
APÊNDICE 14 - Valores estimados através do modelo de regressão da DRL em função da H e das variáveis Dummy, para os clones estudados.	81
APÊNDICE 15 - Valores estimados através do modelo de regressão da DRL em função do VOL e das variáveis Dummy, para os clones estudados.	81

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	16
1.1 Objetivos	18
1.1.1 Objetivo Geral	18
1.1. 2 Objetivos específicos	18
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	19
2.1 Gênero <i>Eucalyptus</i>	19
2.2 Tensões de crescimento	20
2.2.1 Origens das tensões de crescimento	22
2.2.2 Distribuições das Tensões de Crescimento.....	23
2.2.3 Fatores que afetam as tensões de crescimento.....	25
2.3 Técnicas empregadas na redução do efeito das tensões de crescimento	28
2.4 Medição das tensões de crescimento	29
2.4.1 Métodos destrutivos	30
2.4.2 Métodos não-destrutivos	31
3 MATERIAL E MÉTODOS	33
3.1 Área do estudo	33
3.2 Materiais genéticos.....	34
3.3 Medições das variáveis do estudo	35
3.3.1 DAP.....	35
3.3.2 Espessura de casca.....	35
3.3.3 Densidade básica.....	36
3.3.4 Altura	37

3.3.5 Volume da árvore em pé	37
3.4 Avaliação da deformação residual longitudinal (DRL)	38
3.5 Análises estatísticas	40
3.5.1 Análise de variância	40
3.5.2 Análise de regressão	40
3.5.3 Variáveis utilizadas para descrever os modelos de regressão	41
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	43
4.1 Valores médios das variáveis	43
4.2 Variação da deformação residual longitudinal ao redor do tronco	46
4.3 Correlações entre a DRL e demais variáveis	48
4.4 Análise de regressão utilizando variáveis Dummy	49
4.4.1 Estimativa da deformação residual longitudinal em função da espessura de casca	50
4.4.2 Estimativa da deformação residual longitudinal em função do diâmetro a altura do peito	53
4.4.3 Estimativa da deformação residual longitudinal em função da altura total	56
4.4.4 Estimativa da deformação residual longitudinal em função do volume da árvore em pé	59
5 CONCLUSÕES	62
7 APÊNDICES	72

1 INTRODUÇÃO

O interesse pela utilização de espécies de rápido crescimento, como fonte de matéria-prima para, a obtenção de produtos sólidos da madeira, tem aumentado de maneira significativa nos últimos anos. As restrições impostas ao uso de madeiras, provenientes de florestas nativas, têm sido apontadas como um dos principais fatores que levaram à busca de espécies de rápido crescimento para atender à demanda da indústria madeireira.

Entre as diversas espécies de interesse econômico plantadas comercialmente nas zonas tropicais e subtropicais do globo, inegavelmente, as do gênero *Eucalyptus* estão entre as mais bem sucedidas, face ao rápido crescimento, diversidade de espécies e atendimento a uma ampla gama de propósitos industriais.

O gênero apresenta atributos que o torna importante fonte de matéria-prima fabril, dentre eles, destaca-se a sua capacidade produtiva, a adaptabilidade a diversos ambientes, o que possibilita atender a requisitos tecnológicos dos mais diversos segmentos do setor madeireiro (ASSIS, 1999).

Além dos usos tradicionais, como produção de polpa celulósica, chapas de fibras, moirões, dormentes, carvão vegetal e lenha, o gênero *Eucalyptus* vem se destacando também para usos mais nobres como na indústria moveleira e construção civil. O grande potencial do eucalipto para essas finalidades é devido a diversidade de espécies e alta capacidade de geração de clones e híbridos. Esta diversidade permite a introdução do gênero em programa de melhoramento genético, de condução da floresta, de manejo e uso de tecnologias adequadas de processamento e usinagem.

Apesar de todas essas qualidades, o eucalipto possui algumas características indesejáveis no processamento mecânico da madeira que podem gerar defeitos como rachaduras e empenamentos de toras e tábuas, considerados como as principais causas da baixa produção da madeira serrada. Defeitos esses, originários, em parte pelas elevadas tensões de crescimento desenvolvidas no interior dos troncos de árvores vivas (DINWOODIE, 1966).

A tensão de crescimento é uma característica que está presente na maioria das árvores, e está relacionada com o equilíbrio do tronco, suportando o peso da copa, a ação de fatores como vento e inclinação do terreno. Nas folhosas, como no gênero *Eucalyptus*, a tensão de crescimento é mais acentuada do que nas coníferas, sendo que a madeira deste gênero apresenta os maiores níveis de tensões.

É possível afirmar que as tensões de crescimento são as principais responsáveis pelos baixos rendimentos no processamento da madeira de eucalipto, devido a redução das dimensões das peças. Essas restrições ao uso desse material são mais proeminentes em florestas jovens do que em adultas, como consequência de diversos fatores intrínsecos à madeira (NICHOLSON, 1973).

Alguns trabalhos foram desenvolvidos nos últimos anos, procurando entender, quantificar e criar métodos de controle dessas rachaduras e empenamentos, provocados pela tensão de crescimento e correlacioná-los com outras características da madeira (GARCIA, 1992; SOUZA, 2002; TRUGILHO, 2005).

A utilização de métodos não-destrutivos permite quantificar de maneira rápida e precisa, a avaliação e identificação dos níveis das tensões de crescimento presentes em populações de eucalipto. Isto possibilita selecionar árvores produtoras de madeira com a agregação de importantes atributos tecnológicos para o seu uso industrial.

Dessa forma, é importante conhecer os níveis das tensões de crescimento em populações de eucalipto, para que se possam selecionar corretamente as espécies menos propensas a manifestações de defeitos e melhorá-las geneticamente.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo Geral

Este estudo teve como objetivo geral determinar as deformações residuais longitudinais (DRL), decorrentes das tensões de crescimento em árvores em pé e vivas de diferentes clones de *Eucalyptus* spp.

1.1.2 Objetivos específicos

Entre os objetivos específicos, destacam-se os seguintes:

- a) Dimensionar as DRL médias para cada clone;
- b) Avaliar a variação da DRL, ao longo da circunferência do tronco da árvore, em função das posições de leitura (linhas e entre linhas do plantio);
- c) Avaliar a existência de correlação entre as DRL e algumas características da madeira (diâmetro, altura, espessura de casca, volume e densidade básica);
- d) Ajustar modelos de regressão que permitam estimar a DRL, por meio de uma ou mais características da madeira de fácil medição.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Gênero *Eucalyptus*

O gênero *Eucalyptus* foi introduzido no Brasil no início do século XIX e até o princípio do século XX, sendo que sua finalidade era, basicamente, como árvore decorativa, quebra-vento ou por suas supostas propriedades sanitárias (BERGER, 2000). A expansão do gênero foi iniciada a partir de 1903, atendendo as necessidades da Companhia Paulista de Estradas de Ferro. Em seguida, na década de 60, com a criação dos incentivos fiscais para florestamento e reflorestamento, ocorreu a verdadeira explosão de plantios com o gênero, principalmente, objetivando atender às necessidades dos programas nacionais de carvão vegetal e de celulose e papel.

O gênero compreende um grande número de espécies, com madeiras de características físico-mecânicas e estéticas bastante diferenciadas, o que permite a substituição de várias espécies latifoliadas nativas. No entanto, poucas espécies têm sido plantadas em escala comercial (PEREIRA et al., 2000).

Atualmente, a madeira de eucalipto tem sido utilizada para uma série de finalidades, tendo maiores destaques para produção de energia, estacas, moirões, dormentes, celulose e papel, chapas de fibras e de partículas. Além disso, existe uma forte tendência em utilizá-la para usos mais nobres, como fabricação de casas, móveis e estruturas, especialmente nas regiões Sudeste e Sul, carentes de florestas nativas. (PEREIRA et al., 2000).

O uso desse gênero tem se destacado sobre os demais, em função dos seguintes aspectos (ROSADO et al., 2002):

- i) dezenas de espécies de *Eucalyptus* apresentam grande adaptação e crescimento em diversas condições ecológicas brasileiras;
- ii) são as espécies mais usadas, em larga escala, para a produção de fibra curta e de carvão vegetal;
- iii) são as espécies mais potenciais para uso na silvicultura clonal em larga escala, permitindo a geração de matérias-primas mais homogêneas e em quantidade e qualidade para melhor atender a usos específicos da indústria;

iv) a magnífica variabilidade inter e intra-específica no *Eucalyptus*, expressa por suas diversificadas propriedades da madeira, possibilitam o seu emprego para os mais diversos fins tecnológicos.

Embora o eucalipto apresente 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. Contudo, algumas espécies apresentam tensões mais intensas do que outras. Foram observados sinais evidentes de tensão de crescimento no 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).

2.2 Tensões de crescimento

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, são características do crescimento natural das árvores e ocorrem tanto em folhosas como em coníferas (JACOBS, 1945).

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

De acordo com Kubler (1987), as tensões de crescimento representam um tipo especial de tensão, que ajuda a manter o equilíbrio da árvore viva, como mostrado esquematicamente na Figura 1. Essa tensão é gerada durante o crescimento da mesma, não devendo ser confundida com a tensão resultante do peso da copa da

árvore, com a tensão da seiva e nem aquelas resultantes da madeira de reação e das tensões de secagem (DINWOODIE, 1966).

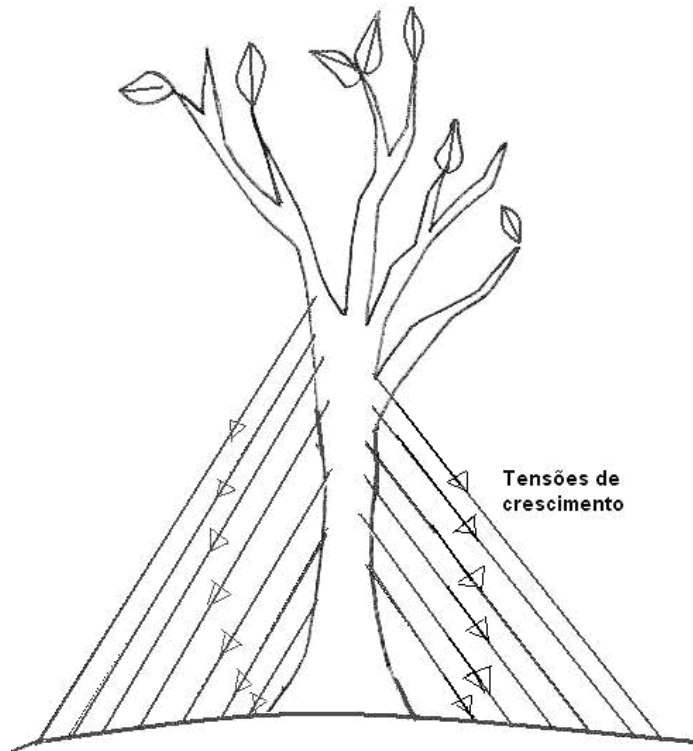


FIGURA 1 - Desenho esquemático das forças das tensões de crescimento atuando para manter o equilíbrio da árvore.

Para Ferrand (1983) as tensões de crescimento estão em equilíbrio enquanto a árvore está em pé, mas, tão logo esta é derrubada, ocorrem deformações e rachaduras nos topos de toras, em razão da modificação do estado de equilíbrio que vigorava, durante o crescimento. Assim, a zona periférica da tora, sob tração, tende, após a derrubada, a contrair e a parte central, a expandir, causando as rachaduras de topo nas toras (MALAN, 1979). As tensões ocorrem nas árvores antes do seu abate, atuando como uma forma de dar-lhes estabilidade (VAN WYK, 1978).

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 agentes silviculturais (desbaste, poda e densidade de plantio).

Segundo Mattheck e Kubler (1995), o resultado da ação de forças internas que atuam sobre os tecidos das árvores, de forma a mantê-las íntegras e eretas é decorrente das tensões de crescimento. Os mesmos autores ressaltaram a importância dessas tensões para a sobrevivência das árvores, ao afirmarem que inevitáveis pontos de fraqueza em sua estrutura são contrabalançados pelo desenvolvimento das tensões de crescimento. Essas tensões reagem às cargas críticas que podem causar ruptura.

As tensões de crescimento são responsáveis por grandes proporções de defeitos que ocorrem com a madeira de eucalipto, durante todas as fases de processamentos, sendo observados nas toras, após o abate das árvores e, principalmente, nas tábuas, durante as operações de desdobro em serraria. O resultado dessas tensões reflete-se na diminuição do rendimento em madeira serrada que, dependendo da sua magnitude, pode ocasionar grandes perdas, durante as etapas de processamento; devido à liberação de tensões que causam defeitos. O mesmo acontece no processo de secagem das tábuas, quando ocorre uma perda ainda maior de material. Em determinadas circunstâncias, esses defeitos podem chegar a inviabilizar a entrada de madeira sólida de eucalipto no mercado de madeira serrada (LISBÔA, 1993; TEJADA et al., 1997; LIMA et al., 2004).

2.2.1 Origens das tensões de crescimento

De acordo com Conradie (1980), Jacobs em 1938, foi o primeiro pesquisador que sugeriu ser a origem das tensões de crescimento o resultado de possível encurvamento da nova camada de crescimento da madeira, e que este fenômeno da mudança dimensional ocorre em um determinado estágio de desenvolvimento da célula.

Segundo Wilhelmy e Kubler (1973), a origem das tensões de crescimento ocorre na região cambial dos troncos das árvores, durante a maturação das paredes celulares (Figura 2). Essas tendem a contraírem-se longitudinalmente e, simultaneamente, expandirem-se lateralmente. Desde que essas células são partes integrantes dos tecidos das árvores, elas são quase que inteiramente impedidas de sofrerem essas alterações dimensionais.

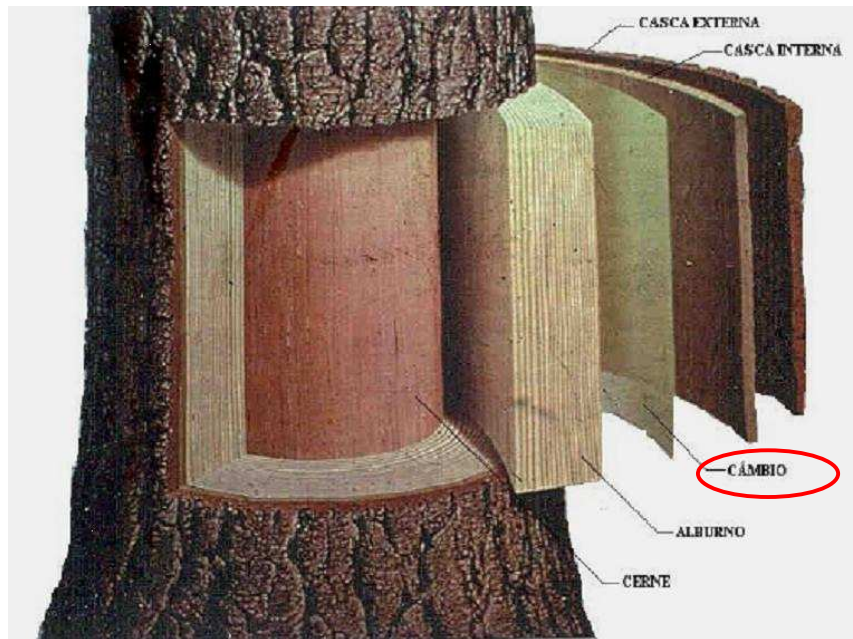


FIGURA 2 – Região de origem das tensões de crescimento (adaptado de TRUGILHO, 2006).

Para Jacobs (1965), as tensões de crescimento são originadas em fibras recém-diferenciadas, originando uma tensão de tração longitudinal no câmbio, o que induz a uma tensão compressiva na seção transversal do caule. Sucessivas camadas de novos tecidos geram altas tensões compressivas longitudinais no cerne das árvores.

Segundo 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, estas 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.

2.2.2 Distribuições das Tensões de Crescimento

Estudos de Hills e Brown (1978) demonstraram a existência de um gradiente longitudinal de deformações, que ocorre em qualquer seção transversal do tronco. Essas deformações são causadas por uma tração longitudinal do tronco, com intensidade crescente na direção da periferia, e uma tensão longitudinal de compressão

na parte central, que alcança um valor máximo próximo à medula. À medida que a árvore cresce, estas forças se distribuirão continuamente na área da seção transversal. Conseqüentemente, a tensão de compressão diminui em magnitude do aumento do diâmetro. A média da tensão periférica é maior para as folhosas do que para coníferas, variando também entre espécies de eucalipto.

Jacobs (1965), estudando a distribuição das tensões internas de crescimento, observou este mesmo fenômeno de deformação, tanto nos troncos como nos galhos e raízes de eucalipto.

De acordo com Galvão (1976), existem três tipos de tensões nas árvores em desenvolvimento: tensões longitudinais de tração paralela às fibras, tensões compressivas na direção tangencial e tensões de tração na direção radial. Já Archer (1986), concluiu, que as tensões transversais apresentam baixos níveis de deformações quando comparadas as tensões longitudinais.

A distribuição das tensões longitudinais de crescimento varia de uma tração máxima na periferia da árvore até um valor máximo de compressão, na medula (Figura 3). A transição entre tração e compressão se dá por volta de 2/3 (dois terços) do raio da tora, medindo a partir da medula (JACOBS, 1945).

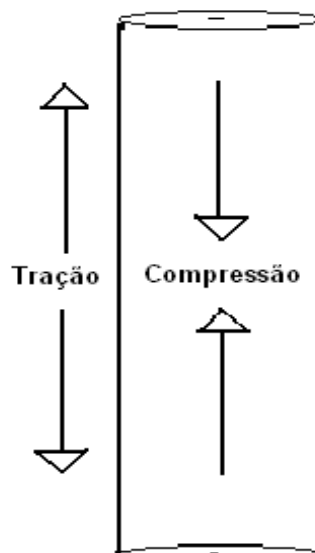


FIGURA 3 - Esquema representativo das forças resultantes das tensões de crescimento atuantes no sentido longitudinal da árvore (adaptado de GONÇALVES, 2007).

Na direção longitudinal, são observadas as mais severas formas de tensões, apresentando uma distribuição que varia de forma progressiva, no sentido casca-medula (PANSHIN e DE ZEEUW, 1970; DEL MENEZZI, 1999).

2.2.3 Fatores que afetam as tensões de crescimento

De acordo com Del Menezzi (1999), muitos fatores externos, ambientais 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.

As 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, taxa de crescimento e inclinação do fuste (OPIE et al., 1984)

a) Fator genético

FERNANDES (1982) estudou as tensões de crescimento em progênes de *Eucalyptus urophylla* e detectou grande variação na intensidade de rachaduras, nas extremidades das pranchas centrais. As variações dentro das progênes foram maiores do que entre progênes. Atento ao fato de que o índice de rachadura das peças serradas reflete o nível interno de tensão de crescimento, conclui que, existe um controle genético da intensidade de tensão de crescimento, já que, os fatores ambientais de crescimento e o processamento das toras foram idênticos.

Baena (1982) observou que o *Eucalyptus grandis* produz maior proporção de perda por rachadura de topo do que o *Eucalyptus saligna*, concluindo, com isso, que a tensão crescimento é um fator genético herdável.

Já Souza (2002), em seu estudo com clones de híbridos de *Eucalyptus*, apresentou valores de herdabilidade elevados (94,3%), indicando ser uma característica altamente herdável, podendo ser incluída nos programas de melhoramento genético.

São poucos os trabalhos que quantificam os efeitos genéticos das tensões de crescimento (FERNANDES, 1982 e MALAN, 1984). Embora os eucaliptos auto-desenvolvam, em geral, elevados níveis de tensões de crescimento, algumas de suas espécies, como *Eucalyptus muellerana*, apresentam fracos indícios destas tensões (HASLETT, 1988).

b) Taxa de crescimento

Para Marsh (1957), desbastes conservadores na primeira metade da rotação de 30 anos, seguidos por desbaste de intensidade suficiente para manter uma taxa de crescimento constante, são recomendáveis. Aro (1961, apud KUBLER, 1987) verificou que alterações bruscas na taxa de crescimento, podem aumentar as rachaduras de topo.

Outros parâmetros de crescimento que influenciam nas tensões, e, conseqüentemente nos defeitos que ocorrem na madeira, incluem o incremento anual e a idade. Malan (1979), em pesquisa com espécies de eucalipto, observou ter encontrado uma pequena, mas significativa, correlação positiva entre o incremento médio anual (IMA) e as rachaduras de topos de toras.

De acordo com Hillis e Brown (1978), não existe evidência quantitativa do aumento das tensões de crescimento relacionado com a rapidez de crescimento da árvore.

c) Diâmetro (DAP)

É reconhecido que, com o aumento no diâmetro da tora, obtido por meio de desbaste ou ampliação do prazo de rotação, os efeitos da tensão de crescimento são reduzidos (SHIELD, 1995). 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

altamente significativas, pois as deformações causadas pelas tensões internas de crescimento, diminuíram com o aumento do diâmetro da tora. Resultado semelhante encontrou Chafe (1981), em estudos efetuados com *Eucalyptus regnans*, demonstrando existir uma relação direta entre a altura e a tensão de crescimento.

Pesquisas realizadas têm demonstrado que pode existir uma relação entre as classes de diâmetro e altura, com a magnitude das tensões de crescimento (SHIELD, 1995). Walker (1993) verificou a relação do diâmetro do tronco com o nível de tensão de crescimento e observou que a tensão de tração periférica foi igual para toras de pequenos e grandes diâmetros. O diâmetro afetou apenas a inclinação da curva do gradiente de tensão, no sentido medula-casca. Desse modo, toras de menores diâmetros são mais suscetíveis aos empenamentos e rachaduras, ocorridos pela liberação das tensões de crescimento, devido a sua menor seção para redistribuição dessas tensões (LISBÔA, 1993; DEL MENEZZI et al., 2001).

Segundo alguns autores, as tensões de crescimento apresentam ainda efeitos elevados, considerando o sentido base-topo, sendo esse fato influenciado pelo diâmetro (DEL MENEZZI, 1999; SCANAVACA JUNIOR e GARCIA, 2003; e LIMA et al., 2004).

Dessa forma, Borges e Quirino (2004), constataram que amostras da base e meio da árvore apresentaram deformações entre 6 e 8 mm, enquanto as amostras do topo mostraram valores variando entre 8 e 10 mm, confirmando, assim, estudos anteriores.

d) Desbaste

Estudos apontam que os desbastes podem compor um fator a ser considerado quando se procura a diminuição das tensões em um povoamento de *Eucalyptus*. Esses podem minimizar tensões de crescimento, ao manter uma taxa de crescimento constante, e condições de crescimento estáveis (MARSH e BURGERS, 1967; KUBLER, 1988).

Lima et al. (2000), apontaram a intensidade de desbastes como um dos fatores decisivos na intensidade das tensões de crescimento em uma mesma classe diamétrica, influenciando significativamente os índices de rachadura de extremidade de

toras e o encurvamento da peça serrada úmida. Esse fato pode ser explicado, partindo-se do princípio que, quanto maior a precocidade e quantidade de desbastes, menor será a competição entre as árvores, permitindo, portanto, que as árvores cresçam livremente e em ritmo acelerado, sendo obtida madeira mais homogênea e estável.

Embora pouco testado experimentalmente, acredita-se que o nível de tensão de crescimento possa ser minimizado pelas condições de crescimento e distribuição espacial uniforme da população. A tensão gerada nos troncos das árvores seria minimizada pela não necessidade de reorientação de suas copas, em um plantio onde o espaço vital da árvore seja adequado. A população deve ser desbastada levemente, freqüentemente e uniformemente (KUBLER, 1988 apud MALAN, 1995).

2.3 Técnicas empregadas na redução do efeito das tensões de crescimento

Algumas técnicas vêm sendo largamente estudadas, na tentativa de amenizar os efeitos das tensões de crescimento, podendo essas técnicas ser aplicadas tanto antes quanto depois do corte das árvores. Severo e Tomaselli (2000), na tentativa de diminuir o efeito das tensões e crescimento em *Eucalyptus dunnii*, concluíram que o anelamento da árvore, com posterior vaporização das toras, proporcionou redução significativa nas tensões de crescimento. Essa redução nas tensões de crescimento é atribuída à ação simultânea exercida por calor e umidade na madeira, provocando, dessa forma, a plasticização da lignina e o conseqüente relaxamento das tensões (CHAFE 1979; KUBLER, 1987).

Jara et al., (1997), estudando a influência do tratamento térmico na redução das tensões de crescimento de toras de *Eucalyptus grandis* com 19 anos de idade, constataram que toras aquecidas a uma temperatura média de 64,5°C, durante 67 horas, apresentaram redução significativa do índice de rachaduras nas tábuas retiradas de toras tratadas em relação à testemunha. Para Tejada et al., (1997), em estudos com madeira de carvalho (*Quercus sp.*) e abeto-do-norte (*Picea abies*), concluíram que o aquecimento direto com ar quente (80°C durante 70 horas), mostrou-se um método eficaz para liberar as tensões residuais.

Já Cardoso Junior (2005), trabalhando com clones de híbridos de *Eucalyptus*, constataram que o aumento do espaçamento entre plantas foi diminuindo a deformação residual longitudinal, demonstrando que este parâmetro tem papel fundamental na redução de tensões de crescimento.

Lima et al. (2000), analisaram um povoamento de *Eucalyptus grandis* de 18 anos de idade, manejado em 19 diferentes séries de desbaste. Concluíram que os sistemas de manejo não influenciaram significativamente nas rachaduras de peças úmidas, mas, influenciaram nos índices de rachaduras das extremidades de toras e o encurvamento das peças serradas úmidas. Somente as intensidades de desbastes de 50% e 67% diferiram da testemunha.

Acredita-se que o controle dos elevados níveis de tensões de crescimento em árvores de eucalipto esteja diretamente ligado ao melhoramento genético, sendo empregada a seleção de material com níveis mínimos de ocorrência de tensões de crescimento. 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).

2.4 Medição das tensões de crescimento

Antigamente, as tensões de crescimento costumavam ser avaliadas após o abate da árvore, sendo estimadas a partir da medição da alteração nos comprimentos das peças de madeira, da dimensão das rachaduras tanto em toras quanto em tábuas e da flecha dos empenamentos (LISBÔA, 1993; DEL MENEZZI, 1999; LIMA et al., 2004).

Em conseqüência, os processos de medições utilizados determinam as deformações e não as tensões. De acordo com a distribuição das tensões no interior do tronco, peças de madeira removidas da periferia do tronco tenderão a diminuir seu comprimento, em resposta ao seu estado de tração, e, inversamente, peças removidas, próximas à medula, tenderão a alongar-se, em resposta ao estado de compressão.

Uma vez determinada a DRL de uma peça em relação ao seu comprimento, quando ainda no interior da árvore, basta multiplicar este valor pelo correspondente módulo de elasticidade (MOE) 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).

Hoje, a literatura pertinente informa alguns métodos para se medirem as tensões de crescimento, sendo uns, considerados mais simples e práticos, e outros, mais difíceis e complicados. Trugilho et al. (2004) cita que esses métodos se baseiam na determinação indireta das tensões de crescimento, tanto nas toras, após a derrubada (destrutivos), ou no tronco das árvores vivas (não-destrutivos).

2.4.1 Métodos destrutivos

Um dos métodos destrutivos utilizados para estimar as tensões de crescimento é a mensuração das alterações das dimensões das peças de madeira, após a liberação de suas junções a outros elementos vizinhos, dentro de um tronco de uma árvore (LISBOA, 1993).

O método de Krilov e Ades (1985) determina a tensão de crescimento em toras de 2 m de comprimento e diâmetro de topo menor ou igual a 20 cm. As toras são serradas longitudinalmente até uma profundidade de 1,5 m através da medula. O deslocamento radial do topo rachado (deformação) fornece a medida do gradiente de tensão.

Outros métodos, similarmente, baseiam-se na medição de deformações ou deslocamentos provocados por perfurações diretamente em toras. Estas deformações ou deslocamentos estão diretamente relacionados às tensões de crescimento, especialmente a longitudinal (SOUZA, et al., 2004).

Mesmo considerando a importância do conhecimento e dos efeitos das tensões de crescimento para a utilização da madeira, no Brasil, este assunto tem sido pouco estudado. Mais recentemente, entretanto, devido ao crescente emprego do *Eucalyptus* como grande produtor de madeira serrada, várias questões sobre os níveis, os efeitos,

as variações e possíveis formas de controle das tensões de crescimento têm surgido, o que pode ser confirmado nos trabalhos de Fernandes (1982), Aguiar (1986), Garcia (1992), Lisboa (1993), Schacht et al. (1998) e Crespo (2000).

2.4.2 Métodos não-destrutivos

Os métodos não-destrutivos são relativamente simples, de execução rápida e somente destrutivo localmente, 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).

O método utilizando o Extensômetro (CIRAD-Forêt) tem a finalidade de determinar as DRL em árvores em pé (vivas), sendo este considerado um método não destrutivo.

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 grande 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).

O método do CIRAD-Forêt possibilita a avaliação de grande quantidade de árvores no campo, podendo vir a ser uma ferramenta muito útil na seleção e classificação de genótipos, os quais apresentem baixos níveis de tensões de crescimento (TRUGILHO, 2005).

De acordo com esse método, é possível examinar detalhadamente as tensões circunferências, 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, visando 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, sendo os

valores das deformações 15% inferiores aos valores obtidos com a remoção completa da peça de madeira (NICHOLSON, 1971).

Conseqüentemente, esse método é indicado para trabalhos de campo, onde se deseja obter a intensidade aproximada das deformações de crescimento, sua distribuição periférica e sua variação entre árvores e espécies. Ele ainda pode ser 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).

Algumas pesquisas conduzidas no Brasil, utilizando o método do CIRAD-Forêt., apresentaram resultados satisfatórios, especialmente, na classificação e seleção de clones de eucalipto, dentre os quais pode-se citar os de Souza (2002), Trugilho et al. (2002 a), Trugilho et al. (2002 b), Lima et al. (2004) e Trugilho et al. (2003). Os autores tiveram como objetivo comum, a avaliação da DRL, em clones, em dada idade e local. Para Souza (2002), o método do CIRAD-Forêt mostrou-se confiável, de fácil operação e rápido na coleta dos dados de campo.

Existem outros métodos não destrutivos utilizados para determinar as tensões de crescimento encontrados na literatura como o Strain Gauge, que mede a tensão através da compressão de fibras. Já o Stress Wave Timer, registra a velocidade da onda de tensão percorrida em um corpo.

Conforme Trugilho et al., (2004), a utilidade dos métodos não destrutivos são refletidas tanto na área de ciência e tecnologia da madeira quanto na de melhoramento florestal. Sua importância na área de tecnologia da madeira é caracterizada pelo estudo da distribuição dessas forças ao longo do tronco e suas relações com outras características da madeira. Para o melhoramento florestal, esse método possibilita a seleção do material genético com as características desejáveis, tal como a menor propensão de defeitos.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Área do estudo

O material utilizado neste estudo foi proveniente de um povoamento experimental, pertencente à empresa FIBRIA, localizado no município de Eldorado do Sul, pertencente ao estado do Rio Grande do Sul. A área do experimento está situada aproximadamente nas coordenadas geográficas 51°37'54" de longitude oeste e 30°7'33" de latitude sul, conforme mostrado na Figura 4.



FIGURA 4 - Localização do município de Eldorado do Sul (Fonte: Google Earth, 2009).

Segundo a classificação de Köppen, a região do experimento apresenta um clima subtropical úmido, com verão quente, sendo uma transição entre os tipos fundamentais Cfa1 (isoterma anual inferior a 18 °C). A temperatura média do mês mais frio é 14,8 °C, a média anual é 19,6 °C e a média anual máxima 24,3 °C. A precipitação pluviométrica média anual da região é de aproximadamente 1440 mm. Já o tipo de solo, é classificado como argissolo vermelho distrófico latossólico, com uma textura média.

O povoamento experimental foi implantado em setembro de 2000, sob um espaçamento inicial de 3,0 x 2,7 m, contendo 583 tratamentos de diferentes clones do gênero *Eucalyptus*. Cada tratamento é composto por 25 árvores, assim, formando uma parcela, conforme o (Anexo 1).

3.2 Materiais genéticos

Os clones do gênero *Eucalyptus* foram previamente selecionados, através de um inventário florestal, feito aos quatro anos de idade onde se selecionou 12 clones com os maiores valores de área basal, descritos na TABELA 1.

TABELA 1 – Clones de *Eucalyptus* spp. selecionados para o estudado.

Material Genético	Tratamento	Genealogia	Idade (anos)	G (m ² /ha)
Clone 1	246	<i>E. urophylla</i> x <i>E. grandis</i>	9	10, 812
Clone 2	273	<i>E. urophylla</i> 34062 x <i>E. grandis</i> M- 1	9	10, 312
Clone 3	265	<i>E. urophylla</i> 34062 x <i>E. grandis</i> M- 2	9	10, 118
Clone 4	61	<i>E. saligna</i> x <i>E. saligna</i> 01	9	9, 940
Clone 5	518	<i>E. grandis</i> x <i>E. grandis</i>	9	9, 446
Clone 6	561	<i>E. grandis</i> x <i>E. grandis</i>	9	8, 813
Clone 7	117	<i>E. urophylla</i> x <i>E. urophylla</i>	9	8, 663
Clone 8	648	<i>E. urophylla</i> 34058 x <i>E. dunnii</i> 16 L	9	8, 341
Clone 9	429	<i>E. grandis</i> x <i>E. tereticornis</i>	9	8, 299
Clone 10	562	<i>E. grandis</i> x <i>E. grandis</i>	9	6, 908
Clone 11	345	<i>E. urophylla</i> 34058 x <i>E. dunnii</i> 17 L	9	5, 869
Clone 12	74	<i>E. saligna</i> x <i>E. saligna</i> 01	9	5, 671

Sendo: G = área basal.

Para as medições das variáveis do estudo, foram selecionadas 12 árvores de cada clone, de acordo com a forma do fuste (retilíneos), ausência de bifurcação, fenótipo, boas condições fitossanitárias e rejeitando árvores localizadas próximas as bordaduras, eliminando as interferências ocasionadas pelos ventos e relevos com inclinações acentuadas.

3.3 Medições das variáveis do estudo

3.3.1 DAP

A medição do DAP (diâmetro a altura do peito, 1,30m do solo) foi realizada com o auxílio de uma suta métrica onde se mediu o diâmetro com casca das árvores selecionadas.

3.3.2 Espessura de casca

Para efetuar a medição da espessura de casca das árvores selecionadas, utilizou-se um facão para a retirada da casca a altura do DAP e em seguida utilizando um paquímetro digital mediu-se a espessura da casca, como mostra a FIGURA 5.



(a)



(b)

FIGURA 5 – (a) Retirada da casca a altura do DAP; (b) Leitura da espessura de casca.

3.3.3 Densidade básica

Para estimar a densidade básica das árvores em pé e vivas, utilizou-se um equipamento denominado Pilodyn, que informa a resistência do tronco a perfuração de uma broca. Esse equipamento é de fácil manuseio, rápida execução e somente destrutivo no local da leitura. Ele mede a densidade, através da resistência que a árvore oferece, a perfuração de uma broca de 3 mm de diâmetro por 50 mm de comprimento. Essa broca penetra na madeira e registra a perfuração no tronco da árvore por meio de uma escala, que varia de 0 a 50 mm. A leitura da densidade das árvores foi realizada sem a casca, a 1,30 m do solo, conforme a FIGURA 6.



FIGURA 6 – Medição da densidade básica da árvore com o auxílio do Pilodyn.

A fim de determinar a densidade básica através do equipamento, foi utilizada uma equação balanceada, conforme a Equação 1:

$$DB = 679,52941 - 13,52125 \times r \quad (1)$$

Onde: DB = densidade básica estimado para cada árvore (kg/m^3); r = valor da resistência a perfuração, registrado na escala do Pilodyn.

3.3.4 Altura

Depois de selecionadas as 12 árvores correspondentes a parcela, foi medida a altura destas com o auxílio de um equipamento denominado Vertex III. Esse equipamento contém um transponder que é preso na árvore, tendo como função captar a distância que o operador se afasta e a altura da mesma, segundo a FIGURA 7.

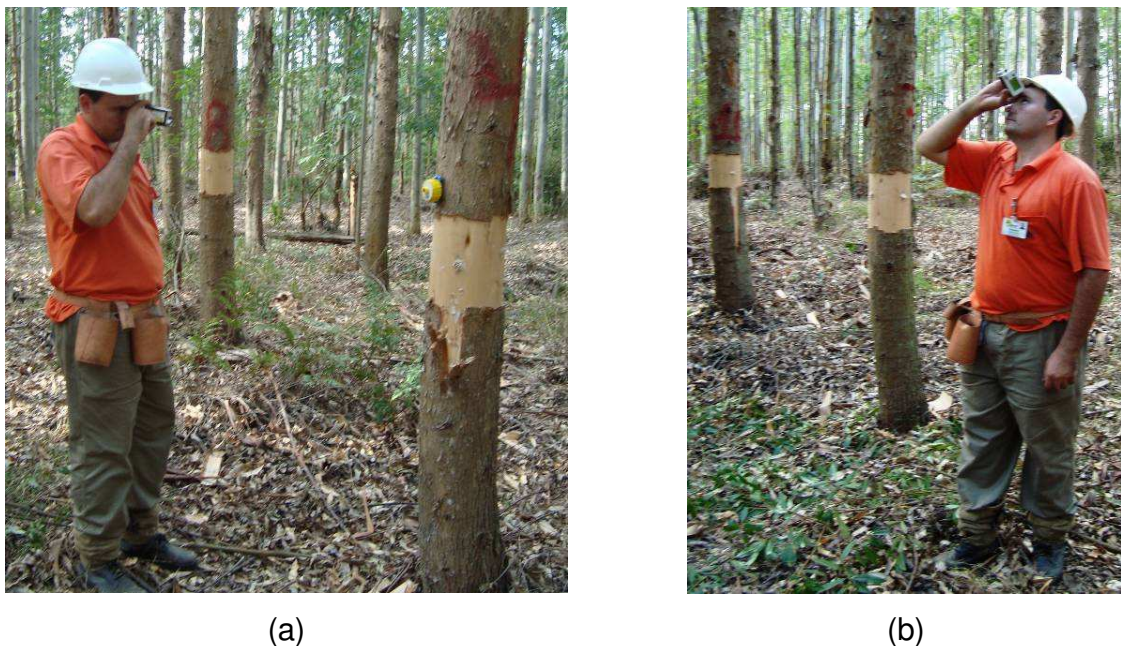


FIGURA 7 – Medição da altura da árvore com o auxílio do Vertex III: (a) Leitura da distância do operador em relação à árvore; (b) Leitura da altura da árvore.

3.3.5 Volume da árvore em pé

O cálculo do volume da árvore em pé foi obtido por meio da altura, diâmetro (medido a 1,30 m da base da árvore) e o fator de forma artificial (Equação 2):

$$V = \left(\frac{\pi \times d^2}{4} \right) \times h \times f_{1,3} \quad (2)$$

Onde: V = volume da árvore em pé (m³); d = diâmetro ao nível do peito (m); h = altura total da árvore (m); f_{1,3} = fator de forma artificial.

O fator de forma artificial é obtido pela razão entre o volume rigoroso da árvore (total ou parcial, método de Smalian), tomando em relação ao volume de um cilindro, cuja altura e diâmetro sejam iguais ao da árvore considerada, expresso pela Equação 3:

$$f_{1,3} = \frac{V_r}{V_c} \quad (3)$$

Onde: $f_{1,3}$ = fator de forma artificial; V_r = volume rigoroso; V_c = volume do cilindro com diâmetro tomado a 1,30 m do nível do solo.

No caso desse estudo, o fator de forma do povoamento de *Eucalyptus* spp. já era conhecido, pois pertence a uma área experimental onde este foi determinado em estudos prévios, sendo de $f_{1,3} = 0,4153$.

3.4 Avaliação da deformação residual longitudinal (DRL)

As medições das deformações residuais longitudinais (DRL) foram realizadas em árvores vivas, com o auxílio do extensômetro (Growth Strain Gauge), pelo método CIRAD-Fôret, que forneceu os dados dessa deformação. Primeiramente, foi removida a casca do tronco das árvores na altura do DAP de modo a abrir uma janela no tronco. Em seguida foram introduzidos nesse local e na direção da grã dois pinos distantes entre si, em 45 mm, para a fixação do aparelho de medição dotado de um relógio digital. Posteriormente, com auxílio de uma furadeira manual foi realizado um furo de 20 mm de diâmetro, na posição mediana entre os pinos.

O rompimento dos tecidos do lenho resultante desta perfuração provoca a liberação das tensões de crescimento, registrada diretamente pelo relógio do aparelho (Figura 8).

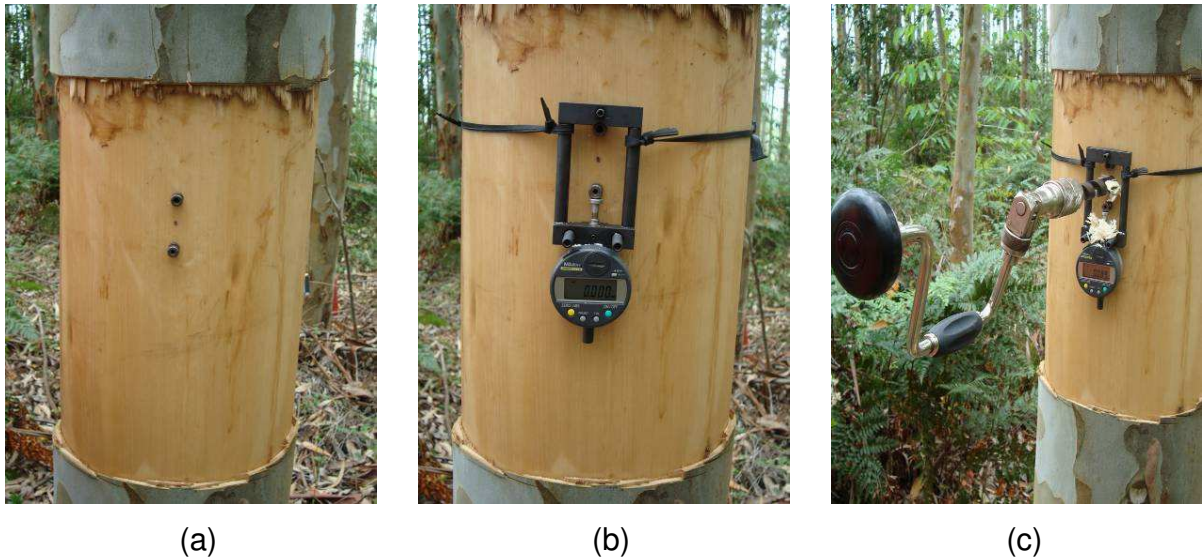


FIGURA 8 - Medição da deformação residual longitudinal (DRL: (a) fixação dos pinos; (b) fixação do extensômetro (c) perfuração do tronco com auxílio de uma furadeira manual.

As leituras das DRL foram realizadas em quatro posições ao redor do tronco de uma mesma árvore (MUNERI et al., 2000; 1999), seguindo a orientação do plantio, com o objetivo de padronizar as medições. As linhas e entre linhas estavam orientadas em relação aos pontos cardeais, sendo mais uma característica levada em consideração. A ordem das leituras ocorreu na seguinte sequência:

- 1º leitura: linha do plantio, referente à posição Leste,
- 2º Leitura: entre linha do plantio, referente à posição Norte,
- 3º Leitura: linha do plantio, referente à posição Oeste,
- 4º Leitura: entre linha do plantio, referente à posição Sul.

As medições das deformações foram realizadas na ausência de ventos, uma vez que o movimento da árvore faz com que as forças de sustentação oscilam dentro do tronco, alterando o valor registrado no aparelho.

3.5 Análises estatísticas

3.5.1 Análise de variância

Os valores das variáveis mensuradas para o estudo (DRL, DB, EC, DAP, H, VOL) e os valores referentes as quatro posições de leituras realizadas ao redor do tronco (linha (Leste), entre linha (Norte), linha (Oeste), entre linha (Sul)) foram submetidos a análises de variância, considerando o valor de $p= 0,05$, que corresponde ao nível de 95% de confiabilidade. Para tanto, foi utilizado o pacote estatístico “Statistical Analysis System” (SAS, 2004).

3.5.2 Análise de regressão

Para análise de regressão os valores das variáveis, foram processados pelo pacote estatístico já mencionado no item 3.6.1, através do procedimento de regressão.

Foram criados modelos de regressão para explicar a relação funcional existente entre a DRL e a DB, EC, DAP, H e VOL para os clones estudados. Após a seleção do melhor modelo com base na observação da significância da regressão, dos coeficientes de regressão, coeficiente de determinação ajustado (R^2_{aj}) e o erro padrão da estimativa (S_{yx}), coeficiente de variação (CV%), foram adicionadas variáveis Dummy, definidas pelos clones selecionados, sendo realizada pela rotina de regressão seqüencial do programa estatístico.

Dessa forma, a equação gerada foi ajustada, supondo que todos os parâmetros são fixos, utilizando análise de regressão com mínimos quadrados ordinários no procedimento PROC REG, utilizando a opção SELECTION=STEPWISE (inclui variáveis com Forward e elimina, quando necessário, com Backward), que consiste em formar um modelo de regressão.

As variáveis independentes somente foram consideradas se apresentassem valores significativos ($Pr<0,05$), evitando incluir variáveis não-significativas. Este procedimento foi realizado pelo teste de hipótese para os parâmetros estimados, utilizando a distribuição “t” de Student.

Durante a modelagem, verificou-se a necessidade de transformação da variável dependente, utilizando o método Box-Cox para estabilizar a variância por meio de uma potência lambda (λ) igual a - 0,7, estimada por máxima verossimilhança, conforme a Equação 4 (SCHNEIDER et al., 2009).

$$\lambda = x \longrightarrow DRL' = DRL^x \quad (4)$$

Sendo: λ = lambda a ser determinado; DRL^x = Deformação residual longitudinal transformada.

3.5.3 Variáveis utilizadas para descrever os modelos de regressão

Para estudo do comportamento DRL em função da DB, EC, DAP, H e VOL, foram criados modelos de regressão para cada variável mensurada, com a presença das variáveis Dummy, definidas por meio dos clones.

As Equações 5, 6, 7, 8 e 9 apresentam o modelo geral para cada variável, onde foram submetidas ao procedimento Stepwise para selecionar as variáveis independentes que apresentassem valores de significância de $Pr < 0,05$.

$$(DRL)^{-0,7} = f(DB, D1, D2, D3, D4, D5, D6, D7, D8, D9, D10, D11, D12, D1*DB, D2*DB, D3*DB, D4*DB, D5*DB, D6*DB, D7*DB, D8*DB, D9*DB, D10*DB, D11*DB, D12*DB) \quad (5)$$

Onde: DRL = deformação residual longitudinal (mm); DB = densidade básica medida por meio do Pilodyn (kg/m^3); D1 = clone 1, D2 = clone 2, D3 = clone 3, D4 = clone 4, D5 = clone 5, D6 = clone 6, D7 = clone 7, D8 = clone 8, D9 = clone 9, D10 = clone 10, D11 = clone 11, D12 = clone 12.

$$(DRL)^{-0,7} = f(EC, D1, D2, D3, D4, D5, D6, D7, D8, D9, D10, D11, D12, D1*EC, D2*EC, D3*EC, D4*EC, D5*EC, D6*EC, D7*EC, D8*EC, D9*EC, D10*EC, D11*EC, D12*EC) \quad (6)$$

Onde: DRL = deformação residual longitudinal (mm); EC = espessura de casca (mm); D1 = clone 1, D2 = clone 2, D3 = clone 3, D4 = clone 4, D5 = clone 5, D6 = clone 6, D7 = clone 7, D8 = clone 8, D9 = clone 9, D10 = clone 10, D11 = clone 11, D12 = clone 12.

$$(DRL)^{-0,7} = f (DAP, D_1, D_2, D_3, D_4, D_5, D_6, D_7, D_8, D_9, D_{10}, D_{11}, D_{12}, D_1*DAP, D_2*DAP, D_3*DAP, D_4*DAP, D_5*DAP, D_6*DAP, D_7*DAP, D_8*DAP, D_9*DAP, D_{10}*DAP, D_{11}*DAP, D_{12}*DAP)$$

(7)

Onde: DRL = deformação residual longitudinal (mm); DAP = diâmetro a altura do peito (cm); D1 = clone 1, D1 = clone 1, D2 = clone 2, D3 = clone 3, D4 = clone 4, D5 = clone 5, D6 = clone 6, D7 = clone 7, D8 = clone 8, D9 = clone 9, D10 = clone 10, D11 = clone 11, D12 = clone 12.

$$(DRL)^{-0,7} = f (H, D_1, D_2, D_3, D_4, D_5, D_6, D_7, D_8, D_9, D_{10}, D_{11}, D_{12}, D_1*H, D_2*H, D_3*H, D_4*H, D_5*H, D_6*H, D_7*H, D_8*H, D_9*H, D_{10}*H, D_{11}*H, D_{12}*H)$$

(8)

Onde: DRL = deformação residual longitudinal (mm); H = altura total (m); D1 = clone 1, D1 = clone 1, D1 = clone 1, D2 = clone 2, D3 = clone 3, D4 = clone 4, D5 = clone 5, D6 = clone 6, D7 = clone 7, D8 = clone 8, D9 = clone 9, D10 = clone 10, D11 = clone 11, D12 = clone 12.

$$(DRL)^{-0,7} = f (VOL, D_1, D_2, D_3, D_4, D_5, D_6, D_7, D_8, D_9, D_{10}, D_{11}, D_{12}, D_1*VOL, D_2*VOL, D_3*VOL, D_4*VOL, D_5*VOL, D_6*VOL, D_7*VOL, D_8*VOL, D_9*VOL, D_{10}*VOL, D_{11}*VOL, D_{12}*VOL)$$

(9)

Onde: DRL = deformação residual longitudinal (mm); VOL = volume da árvore em pé (m³); D1 = clone 1, D1 = clone 1, D1 = clone 1, D2 = clone 2, D3 = clone 3, D4 = clone 4, D5 = clone 5, D6 = clone 6, D7 = clone 7, D8 = clone 8, D9 = clone 9, D10 = clone 10, D11 = clone 11, D12 = clone 12.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Valores médios das variáveis

Os valores médios encontrados para a deformação residual longitudinal (DRL), densidade básica (DB), espessura de casca (EC), diâmetro a altura do peito (DAP), altura total (H) e volume da árvore em pé (VOL), para cada clone estudado, estão apresentados na Tabela 2.

TABELA 2 - Valores médios das variáveis mensuradas para cada clone.

Clone	DRL (mm)	DB (Kg/m ³)	EC (mm)	DAP (cm)	H (m)	VOL (m ³)
1	0,202	474,45	10,88	22,91	33,23	0,575
2	0,101	468,82	7,01	24,90	32,93	0,682
3	0,089	495,86	9,22	27,12	34,32	0,830
4	0,093	431,64	7,08	26,55	34,22	0,798
5	0,102	467,69	8,61	22,22	31,32	0,517
6	0,156	476,71	8,69	23,09	30,72	0,541
7	0,114	540,94	11,53	24,60	33,28	0,666
8	0,076	456,43	7,88	23,73	31,15	0,581
9	0,107	484,59	5,78	22,88	31,72	0,559
10	0,094	437,83	6,78	24,41	30,96	0,619
11	0,093	477,83	7,11	23,38	30,99	0,564
12	0,108	450,79	6,07	22,78	32,91	0,564
Média	0,111	471,96	8,05	24,05	32,31	0,625

Sendo: DRL = deformação residual longitudinal; DB = densidade básica; EC = espessura de casca; DAP = diâmetro a altura do peito; H = altura total; VOL = volume da árvore em pé.

Na Tabela 2, observa-se que a deformação residual longitudinal média (DRL) nas árvores vivas, decorrente das tensões de crescimento, apresentou valor médio de 0,111 mm para os clones estudados. Pelos resultados da DRL, verifica-se a existência de grande variação entre os clones avaliados, onde o clone 8 apresentou o menor valor (0,076 mm), enquanto que o clone 1 apresentou o maior valor (0,202 mm), indicando maior deformação.

Trugilho (2005) avaliando a intensidade das tensões de crescimento por meio das DRL em 11 clones de *Eucalyptus* spp., aos seis anos de idade, obteve resultados médios de 0,090 mm. Da mesma forma, Rodrigues (2007), encontrou valores médios de 0,081 mm de DRL para 13 clones de *Eucalyptus* spp., aos dez anos de idade. Para Lima et al. (2004), estudando as DRL em clones de *Eucalyptus* spp. em diferentes idades, encontrou valores médios de 0,071 mm, apresentando valores com menores deformação quando comparado com a média do estudo. Já Muneri et al. (2000), obteve valores médios de 0,077 mm para a DRL em *Eucalyptus cloeziana*, aos 4 anos de idade.

Comparando os valores médios das DRL dos autores citados, nota-se que os clones de *Eucalyptus* spp., do presente estudo, apresentam um elevado nível de tensões ou deformações. Deve ser ressaltado que as idades, os locais de avaliação e as espécies estudadas não são as mesmas, o que pode ter, contribuído para a ocorrência dessa diferença.

Avaliando os níveis da DRL, o clone 8 seria o escolhido para a seleção, caso a sua finalidade seja a produção de madeira com baixos níveis de tensão de crescimento, já que este apresentou o menor valor de deformação. Isso poderá propiciar uma 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 (GARCIA et al., 2001; CRÊSPO, 2000; GARCIA, 1992; NICHOLSON, 1973).

Assim, as reduções desses defeitos têm um resultado muito significativo na qualidade e no rendimento do produto final, proporcionando uma melhor aceitação da madeira no mercado (RODRIGUES, 2007).

Caso o interesse seja selecionar clones com altos níveis de DRL, ou seja, de tensão de crescimento, o clone 1 deve ser o escolhido, devido ao aumento nas deformações ser necessário em regiões predispostas aos ventos fortes, às quais necessitam do cultivo de árvores com maior estabilidade. Melo (2004) verificou que maiores níveis de tensões de crescimento nas árvores, resultam em maiores níveis de tolerância destas às tempestades.

Quando se trata da produção de madeira para usos múltiplos é importante que o clone não possua valores extremos de deformação (DRL). Esta característica da DRL é uma condição necessária para o material genético utilizado em reflorestamentos de regiões tradicionalmente produtoras de carvão vegetal, onde ocorrem grandes perdas de árvores pela ação de ventos fortes.

Outra variável, observada na Tabela 2, foi a densidade básica, determinada pelo método Pilodyn, que é considerada uma das propriedades da madeira mais estudadas, devido à facilidade de sua determinação, sua importância tecnológica, e sua relação com outras características da madeira. Para os clones de eucalipto estudados, a densidade básica média apresentou valores de 471,96 Kg/m³. Esse valor é semelhante aos encontrados por Cruz (2000), porém, inferior aos obtidos por Silveira (1999), que também trabalhou com clones de *Eucalyptus* spp.

Rodrigues (2007), analisando a densidade básica de 13 clones de *Eucalyptus* spp., aos dez anos de idade, encontrou valores médios de 506 Kg/m³. Como os valores de densidade básica encontrados na literatura para espécies de *Eucalyptus* variam de 340 (LIMA et al., 2007) a 730 Kg/m³ (CAIXETA, 2000), verifica-se, neste trabalho, que a densidade encontrada pode ser considerada como média para povoamentos jovens deste gênero.

As principais vantagens tecnológicas decorrentes do uso de clones com maior densidade da madeira estão relacionadas à produção de postes, artefatos esportivos, pisos e energia. Para o caso do uso de clones com madeira de baixa densidade, ressaltam-se aqueles que a produção de madeira serrada é destinada à produção de móveis e celulose.

Em relação às outras variáveis estudadas, espessura de casca, diâmetro altura do peito, altura total e volume, foram observados valores médios de 8,05 mm, 24,05 cm, 32,31 m e 0,625 m³, respectivamente (Tabela 2).

4.2 Variação da deformação residual longitudinal ao redor do tronco

Na Tabela 3, encontram-se os resultados da análise de variância dos dados da DRL, em função das quatro posições de leitura ao redor do tronco da árvore: linha (Leste), entre linha (Norte), linha (Oeste), entre linha (Sul).

TABELA 3 - Análise de variância para as DRL dos clones de *Eucalyptus* spp., em função das quatro posições de leitura ao redor do tronco da árvore.

FV	GL	SQ	QM	F	Prob.>F
Posições	3	0,23441	0,078136	23,22	< 0,0001
Erro	572	1,9249	0,003365	-	-
Total	575	2,15931	-	-	-

Sendo: 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.

Os resultados da Tabela 3 evidenciam a existência de diferença estatística entre as quatro posições de leitura da DRL. Dessa forma, verifica-se que os valores da DLR apresentaram variações ao redor do tronco. Estas variações nas intensidades das tensões de crescimento em volta do tronco já haviam sido detectadas por Melo (2004), o qual observou que estas podem variar entre espécies e dentro da mesma espécie.

Na Tabela 4, encontram-se os valores médios das quatro posições de leitura da DRL ao redor do tronco da árvore (linha (L), entre linha (N), linha (O) e entre linha (S) do plantio).

TABELA 4 - Comparação de médias da variável DRL, em função das quatro posições de leituras ao redor do tronco da árvore.

Tratamentos	DRL ¹ (mm)	LSD ²
Linha (Oeste)	0,083 A	A
Entre linha (Sul)	0,111B	B
Entre linha (Norte)	0,112 B	B
Linha (Leste)	0,140 C	C

¹ DRL = deformação residual longitudinal média, em mm; ² médias seguidas por letras iguais não diferem significativamente entre si a 5% de significância; LSD = Least Significant Difference.

Observa-se, através dos resultados apresentados na Tabela 4, que a leitura realizada na posição da linha do plantio referente ao Oeste apresentou a menor média para a DRL, indicando menor deformação. Já os valores médios da DRL, nas entre linhas do plantio referentes ao Norte e Sul, não se diferenciaram entre si. O valor médio encontrado na linha do plantio referente a posição Leste apresentou o maior valor de deformação. Essa alta deformação, na linha especificada, pode ter sido influenciada por algum fator ambiental.

Cardoso Júnior (2004), em estudo realizado com 70 árvores matrizes de *Eucalyptus* spp. em uma área remanescente de seleção, encontrou nas posições referentes as orientações leste e oeste as maiores variações da DRL, fato semelhante ao ocorrido no presente estudo.

Em contrapartida, Rodrigues (2007), em estudo com clones de *Eucalyptus* spp., encontrou valores médios de 0,81 e 0,82 mm para linha e entre linha, demonstrando não haver diferenças significativas na DRL ao longo da circunferência do tronco.

As diferenças nas posições de leitura da DRL encontradas nos presente estudo podem estar associadas a fatores ambientais predominantes, como a competição por luz ou pelo efeito de ventos, inclinação do fuste, pela variação do ângulo da grã na madeira, pelos fatores relacionados à presença de madeira de reação, ou mesmo pela tortuosidade (SCHACHT et al., 1998), especialmente, quando a curvatura ocorre em

dois planos perpendiculares. A variação pode estar associada, ainda, a fatores internos como a constituição do material do tronco, tal qual a proporção de lenho juvenil.

Outra possível causa dessa diferença da DRL pode ser em decorrência de variações na madeira, que surgem em virtude da formação de madeira de reação que, para o caso de espécies do gênero *Eucalyptus*, é a de tração (ROGRIGUES, 2007).

Além disso, pode ocorrer uma maior insolação lateral nas árvores e/ou um crescimento desequilibrado da copa. Segundo Burguer e Richter (1991), esses fenômenos resultam na formação de madeira com propriedades desiguais em decorrência da presença de madeira de tração em um dos lados do tronco.

4.3 Correlações entre a DRL e demais variáveis

Na Tabela 5, são apresentadas as estimativas da correlação de Pearson estabelecidas entre a deformação residual longitudinal e as demais variáveis do estudo.

TABELA 5 – Correlação de Pearson entre a deformação residual longitudinal (DRL), densidade básica (DB), espessura de casca (EC), diâmetro a altura do peito (DAP), altura total (H) e volume da árvore em pé (VOL).

	DRL (mm)	DB (kg/m ³)	EC (cm)	DAP (cm)	H (m)	VOL (m ³)
DRL (mm)	1	0,126 ^{NS}	0,237 ^{**}	-0,266 ^{**}	-0,060 ^{NS}	-0,248 ^{**}
DB (kg/m ³)		1	0,461 ^{**}	0,122 ^{NS}	0,213 [*]	0,130 ^{NS}
EC (cm)			1	0,359 ^{**}	0,393 ^{**}	0,367 ^{**}
DAP (cm)				1	0,701 ^{**}	0,987 ^{**}
H (m)					1	0,769 ^{**}
VOL (m ³)						1

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

Observa-se na Tabela 5, que os valores da DRL foram significativos quando correlacionados com a EC, DAP e VOL. Já as variáveis DB e H não apresentaram correlação com a DRL, indicando baixa influência sobre essa variável. A EC foi a única variável que apresentou correlação positiva e significativa com todas as variáveis.

Segundo Muneri et al. (2000), existem correlações positivas e significativas da DRL com a altura e diâmetro das árvores de *Eucalyptus cloeziana*. Esse fato denota o quanto são diversificadas as interações das DRL com as características de crescimento de uma espécie para outra.

Pesquisas realizadas recentemente não encontraram correlações positivas entre a intensidade das tensões de crescimento e dimensões de árvore, idade, diâmetro do tronco ou taxa de crescimento. Entretanto, é geralmente reconhecido que, com o crescimento da tora em diâmetro, obtido por desbaste ou ampliação do prazo de rotação, os efeitos das tensões de crescimento são reduzidos (SHIELD, 1995).

Portanto, pode-se deduzir que as DRL são mais fortemente correlacionadas com as características de crescimento, de fácil medição, do que com as propriedades da madeira, que são mais difíceis de serem dimensionadas (LIMA et al. 2004). Porém, Lima et al. (2004), conseguiu encontrar uma correlação significativa e positiva entre a DRL e a densidade básica da madeira em híbridos naturais de *Eucalyptus*.

4.4 Análise de regressão utilizando variáveis Dummy

A modelagem da DRL foi realizada em função das variáveis mensuradas (DB, DAP, EC, H, VOL) juntamente com variáveis Dummy definidas pelos clones de *Eucalyptus* spp., a fim de determinar a existência de interação entre as mesmas.

Para a densidade básica (DB), o procedimento Stepwise não encontrou nenhuma variável significativa do modelo geral. Acredita-se que o método Pilodyn utilizado para mensuração dessa variável apresente baixa precisão e os dados coletados, pequena amplitude, com isso, interferindo na correlação da DRL com a DB.

4.4.1 Estimativa da deformação residual longitudinal em função da espessura de casca

Os valores dos coeficientes estatísticos do modelo, gerado através do procedimento Stepwise para estimar a DRL em função da EC, utilizando as variáveis Dummy e suas interações, decorrentes dos clones estudados, estão descritos na Tabela 6.

TABELA 6 – Modelo de regressão e coeficientes estatísticos obtidos pelo procedimento Stepwise, para descrever a DRL, em função da EC e das variáveis Dummy.

Modelo	Estatísticas			
	F'	Prob.>F	CV%	R ² _{aj.}
$DRL^{0,7} = b_0 + b_1*EC - b_2*D1 - b_3*D6 - b_4*(D7*EC) + b_5*(D8*EC)$	35,27	< 0,001	13,6	0,55

Sendo: DRL = deformação residual longitudinal; $b_0, b_1, b_2, b_3, b_4, b_5$ = coeficientes do modelo; EC = espessura de casca; D1, D6, D7, D8 = clones 1, 6, 7 e 8; F' = valor de F calculado para o modelo; Prob.>F = nível de probabilidade de erro; CV= coeficiente de variação; R²_{aj.} = coeficiente de determinação ajustado.

Na Tabela 6, verifica-se que o modelo de regressão selecionado para DRL em função da EC, através do procedimento Stepwise, apresentou valor significativo ao nível de 5% de probabilidade ao erro. Com isso, observa-se no modelo a inclusão das variáveis Dummy e suas interações, decorrentes dos clones.

Após a inclusão das variáveis Dummy, o modelo selecionado poder ser visto na Tabela 7, com seus respectivos parâmetros estatísticos.

Analisando os valores da Tabela 7, verifica-se que as variáveis incluídas no modelo mostraram-se significativas. Dessa forma, a DRL pode ser descrita através das Dummy D1, D6, D7 e D8, decorrentes dos clones 1, 6, 7 e 8.

TABELA 7 – Parâmetros estatísticos do modelo gerado para estimar a DRL, em função da EC e das variáveis Dummy.

Coeficientes do Modelo	Valores dos Coeficientes	Syx	t	Prob > t
b ₀	4,55120	0,23917	19,03	<0,0001
b ₁	0,08468	0,03192	2,65	0,0089
D1	-2,31521	0,23769	-9,74	<0,0001
D6	-1,48643	0,21185	-7,02	<0,0001
D7EC	-0,07223	0,02158	-3,35	0,0010
D8EC	0,11545	0,02598	4,44	<0,0001

Sendo: Syx = erro padrão da estimativa; t = valor de t calculado; Prob,> t = nível de probabilidade do erro.

Com os valores dos coeficientes de cada variável determinados, pode-se construir graficamente o comportamento da DRL para diferentes valores de EC. Após a determinação da DRL, por meio da EC, DAP, H e VOL os dados foram recalculados para a forma original, retirando a potência (-0,7), para assim melhor compreender o comportamento das variáveis, conforme na Figura 9.

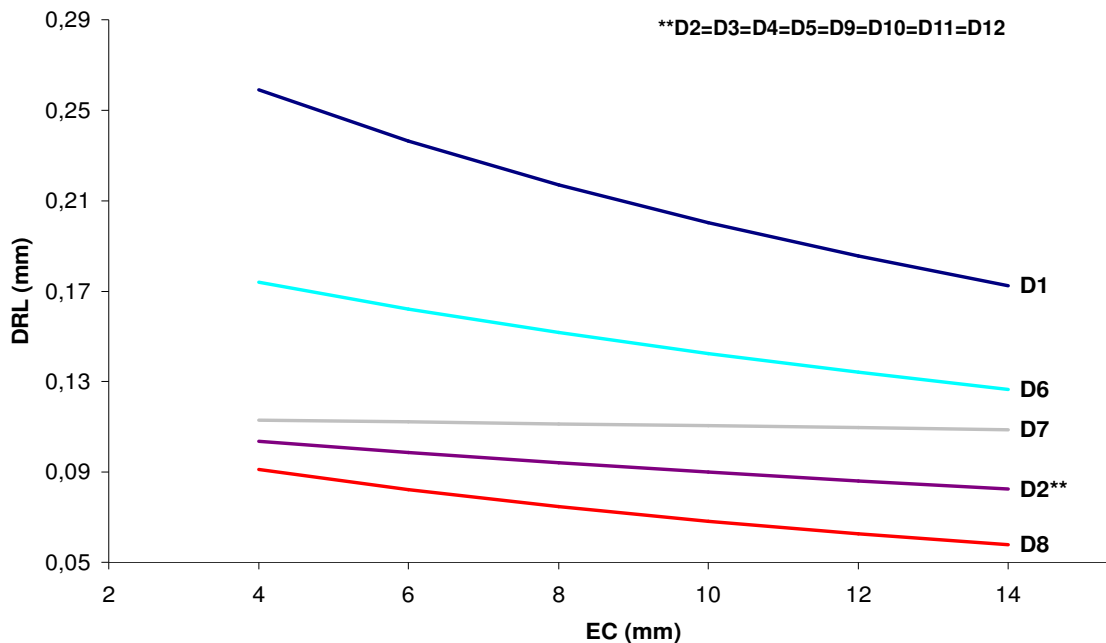


FIGURA 9 - Comportamento da deformação residual longitudinal (DRL), através da equação modelada, em função da espessura de casca (EC) e das variáveis Dummy, definidas pelos clones.

Na Figura 9, observa-se que os clones 1, 6, 7 e 8 apresentaram comportamentos diferenciados para as variáveis DRL e EC, variando o ângulo de inclinação de cada reta estimada. Já o clone 8, representado pela Dummy 8, apresentou um ótimo ajuste, pois este apresentou os menores níveis de tensões.

Entre os clones 2, 3, 4, 5, 9, 10, 11 e 12, não ocorreram diferenças significativas, sendo representados pela reta referente ao clone 2.

Em relação à disposição dos valores da DRL e EC, nota-se que os clones estudados apresentaram as mesmas tendências, em que à medida que aumenta a espessura de casca das árvores, diminui a deformação ou tensão encontrada dentro do tronco das mesmas. Dessa forma, verifica-se a influência dessa variável sobre a DRL, sendo mais uma característica utilizada para estimá-la.

Ao mesmo tempo, observa-se que a EC é uma variável que apresenta correlação com o DAP, apresentando uma proporcionalidade em relação ao crescimento, conforme a Figura 10.

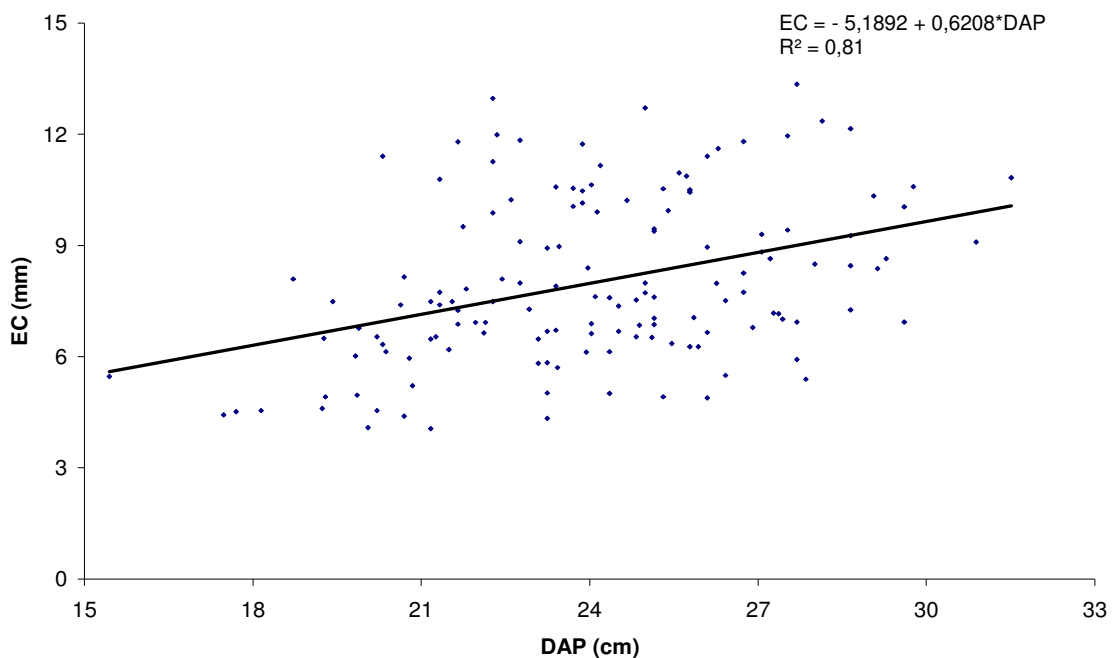


FIGURA 10 – Comportamento da espessura de casca (EC) em função do diâmetro a altura do peito (DAP).

Acredita-se que essas variáveis podem estar atuando da mesma forma sobre o comportamento da DRL, já que apresentam tendências semelhantes para os clones do estudo.

Para a EC, não foram encontrados trabalhos na literatura que pudessem compará-la com a DRL e outros materiais genéticos de eucalipto. Desse modo, verifica-se a necessidade de estudos mais específicos sobre essa variável, tentando correlacioná-la com outras características das árvores.

4.4.2 Estimativa da deformação residual longitudinal em função do diâmetro a altura do peito

Na Tabela 8, encontram-se os valores dos coeficientes estatísticos, determinados através do procedimento Stepwise para estimar a DRL, em função do DAP, incluindo à variável Dummy e suas interações.

TABELA 8 – Modelo de regressão e coeficientes estatísticos obtidos pelo procedimento Stepwise, para descrever a DRL, em função do DAP e das variáveis Dummy.

Modelo	Estatísticas			
	F'	Prob>F	CV%	R ² _{aj.}
$DRL^{-0,7} = b_0 + b_1*dap - b_2*D1 - b_3*D6 + b_4*D8 + b_5*D9 - b_6*(D7*dap) - b_7*(D9*dap)$	29,37	< 0,001	13,1	0,58

Sendo: DRL = deformação residual longitudinal; $b_0, b_1, b_2, b_3, b_4, b_5, b_6, b_7$ = coeficientes do modelo; DAP = diâmetro a altura do peito; D1, D6, D7, D8, D9 = clones 1, 6, 7, 8, 9; F' = valor de F calculado para o modelo; Prob.>F = nível de probabilidade de erro; CV= coeficiente de variação; R²_{aj.} = coeficiente de determinação ajustado.

O modelo obtido na Tabela 8, pelo procedimento Stepwise, apresentou-se significativo, com valor de F_{cal} de 29,37. O coeficiente de variação (CV%) apresentou um resultado considerado satisfatório para o ajuste do modelo.

Os valores dos parâmetros estatísticos do modelo testado para estimar a DRL, em função do DAP, incluindo variáveis Dummy e suas interações, estão descritos na Tabela 9.

TABELA 9 - Parâmetros estatísticos do modelo gerado para estimar a DRL, em função do DAP, utilizando a variável Dummy.

Coeficientes do Modelo	Valores dos Coeficientes	Syx	t	Prob > t
b ₀	3,34282	0,48332	6,92	<0,0001
b ₁	0,07573	0,01956	3,87	0,0002
D1	-1,92019	0,20170	-9,52	<0,0001
D6	-1,29025	0,20120	-6,41	<0,0001
D8	1,00372	0,19995	5,02	<0,0001
D9	4,76123	1,39823	3,41	0,0009
D7DAP	-0,02046	0,00807	-2,54	0,0124
D9DAP	-0,21585	0,06001	-3,60	0,0004

Sendo: Syx = erro padrão da estimativa; t = valor de t calculado; Prob,> t = nível de probabilidade do erro.

Conforme os valores dos parâmetros estatísticos apresentados na Tabela 9, verifica-se que as variáveis selecionadas pelo procedimento Stepwise são consideradas significativas ao nível de 5% de probabilidade de erro, sendo inclusas as Dummy D1, D6, D7, D8 e D9.

Na Figura 11, observa-se o comportamento da DRL, em função do DAP e das variáveis Dummy e suas interações, decorrentes dos clones estudados.

Analisando o comportamento dos clones (Figura 11), verifica-se que o DAP apresenta grande influência sobre as características da DRL. Dessa forma, pode-se observar que árvores com maiores DAP demonstram ter menores níveis de tensões de crescimento, que conseqüentemente resultarão em materiais genéticos com menores propensões a defeitos, e com isso, obtendo toras de melhor qualidade.

Gonçalves (2007), estudando a influência do DAP sobre a DRL para *Eucalyptus citriodora* e *Eucalyptus urophylla*, ambos com 15 anos de idade, observou a mesma tendência do comportamento dessas variáveis, em relação aos clones do presente estudo.

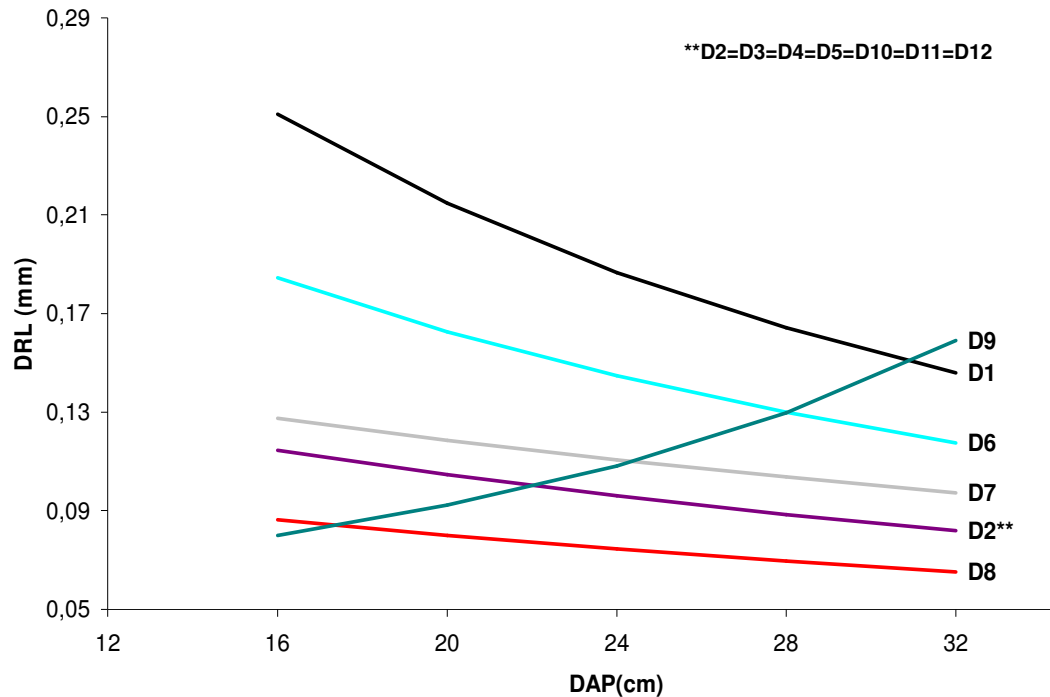


FIGURA 11 – Comportamento da deformação residual longitudinal (DRL), através da equação modelada, em função do diâmetro à altura do peito (DAP) e das variáveis Dummy, definidas pelos clones.

Esse comportamento da DRL, em função do DAP, está em conformidade com os resultados encontrados por Fernandes et al. (1982), em *Eucalyptus urophylla*, e Trugilho et al. (2004), em *Eucalyptus dunnii*. Entretanto, os resultados encontrados por Souza (2002), não mostraram uma correlação significativa entre a DRL e as características de crescimento.

Por outro lado, observa-se que o clone 9, mostrou um comportamento inverso do restante dos clones estudados, ou seja, árvores com maiores DAP apresentaram maiores valores de DRL. Acredita-se que esse comportamento pode ser explicado pela influência de alguns fatores que podem estar agindo somente sobre o determinado clone, podendo ser estes, fatores genéticos.

Essa tendência inversa, apresentada pelo clone 9, também foi encontrada por Trugilho (2005), em árvores de *Eucalyptus dunnii* com oito, 15 e 19 anos de idade. O autor encontrou esse comportamento através de modelos quadráticos de regressão, constando o aumento da DRL com o aumento do DAP. Já para *Eucalyptus dunnii* aos

13 anos de idade, o referido autor encontrou a mesma tendência apresentada pelos clones 1, 2, 6, 7 e 8.

No entanto, o material genético, representado pelo clone 9, necessita de um estudo mais aprofundado, realizando-se novas pesquisas para avaliar as causas desse comportamento oposto aos demais clones.

4.4.3 Estimativa da deformação residual longitudinal em função da altura total

Na Tabela 10, verifica-se o modelo de regressão selecionado através do procedimento Stepwise para estimar a DRL, em razão da H e das variáveis Dummy, decorrentes dos clones estudados.

TABELA 10 - Modelo de regressão e coeficientes estatísticos obtidos pelo procedimento Stepwise, para descrever a DRL, em função da H e das variáveis Dummy.

Modelo	Estatísticas			
	F'	Prob>F	CV%	R ² _{aj.}
$\text{DRL}^{-0,7} = b_0 + b_1 \cdot H - b_2 \cdot \text{D1} - b_3 \cdot \text{D6} + b_4 \cdot \text{D9} + b_5 \cdot (\text{D6} \cdot \text{H}) - b_6 \cdot (\text{D7} \cdot \text{H})$ $+ b_7 \cdot (\text{D8} \cdot \text{H}) - b_8 \cdot (\text{D9} \cdot \text{H}) - b_9 \cdot (\text{D12} \cdot \text{H})$	23,60	< 0,001	13,0	0,59

Sendo: DRL = deformação residual longitudinal; $b_0, b_1, b_2, b_3, b_4, b_5, b_6, b_7, b_8, b_9$ = coeficientes do modelo; H = altura total; D1, D6, D7, D8, D9, D12 = clones 1, 6, 7, 8, 9, 12; F' = valor de F calculado para o modelo; Prob.>F = nível de probabilidade de erro; CV= coeficiente de variação; R²_{aj.} = coeficiente de determinação ajustado.

De acordo com a Tabela 10, o modelo selecionado apresentou um grande número de variáveis inclusas, sendo significativo ao limite proposto pelo estudo. O coeficiente de determinação ajustado (R²_{aj.}) do modelo indica que 59% da variância dos dados da DRL e H são explicados pelo modelo.

Os valores dos parâmetros estatísticos do modelo gerado para estimar a DRL, em função da H e das variáveis Dummy, podem ser vistos na Tabela 11.

TABELA 11 - Parâmetros estatísticos do modelo gerado para estimar a DRL, em função da H, utilizando à variável Dummy.

Coeficientes do Modelo	Valores dos Coeficientes	Syx	t	Prob > t
b ₀	2,46730	1,13098	2,18	0,0309
b ₁	0,08605	0,03478	2,47	0,0146
D1	-2,16971	0,20198	-10,74	<0,0001
D6	-10,85927	4,85101	-2,24	0,0268
D9	10,74699	3,30578	3,25	0,0015
D6H	0,31080	0,15731	1,98	0,0499
D7H	-0,01851	0,00608	-3,05	0,0028
D8H	0,03183	0,00657	4,85	<0,0001
D9H	-0,34824	0,10374	-3,36	0,0010
D12H	-0,01512	0,00610	-2,48	0,0144

Sendo: Syx = erro padrão da estimativa; t = valor de t calculado; Prob,> t = nível de probabilidade do erro.

Conforme os valores dos coeficientes apresentado na Tabela 11, observa-se que todas as variáveis encontradas no modelo são significativas. Com isso, pode-se calcular o valor da DRL, em função H, com o auxílio das variáveis Dummy e suas interações para os clones 1, 6, 9, 7, 8, 9 e 12.

Com a determinação do modelo, pode-se estimar a tendência dos valores da DRL, em razão da H, para os clones do estudo, conforme se observa na Figura12.

Em relação às outras variáveis do estudo, nota-se que o comportamento da DRL em função da H para os clones, apresentou uma pequena variação em relação aos ângulos das retas dos clones 2, 7, 8 e 12. Dessa forma, verifica-se que a variável H para este estudo, apresenta uma menor influência sobre a DRL entre os clones, representada pelo ângulo das retas dos clones 2, 7, 8 e 12.

Analisando a Figura 12, os clones 3, 4, 5, 10 e 11 estão representados pela reta referente ao clone 2, pois não apresentaram diferenças estatísticas entre si. Já a reta do clone 6, apresentou um elevado nível de deformação para as menores alturas, destacada pela parte pontilhada. Isso ocorreu, devido os valores de altura do clone terem sido estimados, através do modelo.

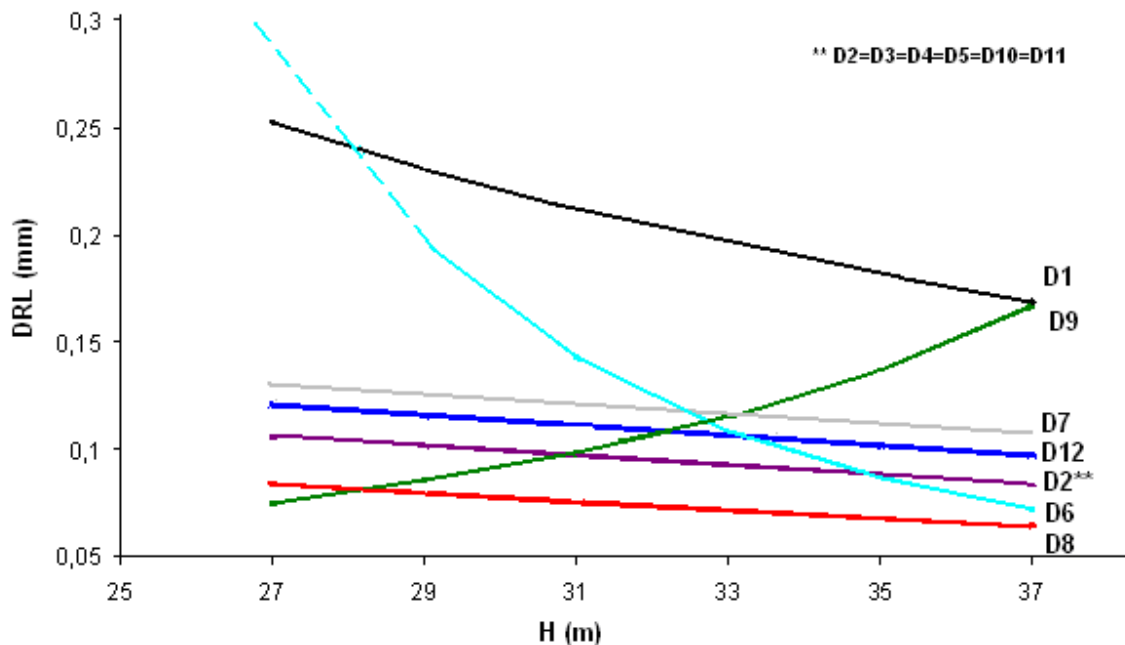


FIGURA 12- Comportamento da deformação residual longitudinal (DRL), através da equação modelada, em função da altura total (H) e das variáveis Dummy, definidas pelos clones.

Comparando o comportamento das variáveis DRL e H com o estudo de Gonçalves (2007) com *Eucalyptus urophylla*, observa-se que as variáveis apresentaram uma tendência semelhante. Por outro lado, o autor não encontrou qualquer tendência quando relacionadas às classes de altura com a DRL para *Eucalyptus citriodora*, constatando que esta característica de crescimento não se mostrou uma variável indicada para seleção de árvores com as tensões de crescimento desejadas.

Da mesma forma Trugilho (2004), analisando a relação da DRL e H para 11 clones naturais, do gênero *Eucalyptus*, com seis anos de idade, não encontrou uma tendência satisfatória para essas variáveis.

Resultados similares foram encontrados para híbridos de *Eucalyptus* por Lima et al. (2004), observando que a altura total da árvore não resultou em uma tendência significativa com a DRL.

Novamente, observou-se o comportamento contrário para o clone 9, em relação a variável H, ocorrendo o aumento dos níveis da DRL à medida que a H se eleva. Este mesmo comportamento foi observado anteriormente, para o DAP deste mesmo clone.

4.4.4 Estimativa da deformação residual longitudinal em função do volume da árvore em pé.

Na Tabela 12, pode-se observar o modelo selecionado, pelo procedimento Stepwise, para estimar a DRL, em função do VOL e das variáveis Dummy, decorrentes dos clones estudados.

TABELA 12 – Modelo de regressão e coeficientes estatísticos obtidos pelo procedimento Stepwise, para descrever a DRL, em função do VOL e das variáveis Dummy.

Modelo	Estatísticas			
	F'	Prob.>F	CV%	R ² _{aj.}
$DRL^{-0,7} = b_0 + b_1 \cdot VOL - b_2 \cdot D1 - b_3 \cdot D6 + b_4 \cdot D8 + b_5 \cdot D9 - b_6 \cdot (D7 \cdot VOL) - b_7 \cdot (D9 \cdot VOL)$	29,54	< 0,001	13,1	0,58

Sendo: DRL = deformação residual longitudinal; $b_0, b_1, b_2, b_3, b_4, b_5, b_6, b_7$ = coeficientes do modelo; VOL = volume da árvore em pé; D1, D6, D7, D8, D9 = clones 1, 6, 7, 8, 9,12; F' = valor de F calculado para o modelo; Prob.>F = nível de probabilidade de erro; CV= coeficiente de variação; R²_{aj.} = coeficiente de determinação ajustado.

O modelo apresentado na Tabela 12 para a característica da DRL e VOL apresentou um valor significativo ao nível de 5% de probabilidade do erro. O valor do coeficiente de variação gerado pelo modelo encontra-se de acordo com a classificação de Pimentel Gomes (1970), sendo situado entre a faixa de transição de baixo a médio, o que indica uma pequena variabilidade dos dados.

Esse modelo apresentou variáveis Dummy e interações semelhantes ao modelo selecionado para o DAP. Essa igualdade pode ser explicada pela relação existente entre o DAP e o VOL, apresentando uma proporcionalidade, quando aumenta o DAP, aumenta o VOL. Diante disso, o comportamento do DAP e VOL pode apresentar uma afinidade quando relacionados com a DRL.

Os valores dos parâmetros estatísticos do modelo selecionado para estimar a DRL, em razão do VOL e das variáveis Dummy, encontram-se na Tabela 14.

TABELA 13 - Parâmetros estatísticos do modelo gerado para estimar a DRL, em função do VOL, utilizando à variável Dummy.

Coeficientes do Modelo	Valores dos Coeficientes	Syx	t	Prob > t
b ₀	4,35344	0,22581	19,28	<0,0001
b ₁	1,29240	0,33050	3,91	<0,0001
D1	-1,93915	0,20054	-9,67	<0,0001
D6	-1,25231	0,20219	-6,19	<0,0001
D8	1,03745	0,20029	5,18	<0,0001
D9	2,06955	0,67105	3,08	0,0025
D7VOL	-0,78539	0,29174	-2,69	0,0080
D9VOL	-4,02115	1,12889	-3,56	0,0005

Sendo: Syx = erro padrão da estimativa; t = valor de t calculado; Prob,> t = nível de probabilidade do erro.

De acordo com o modelo, observa-se a presença dos clones 1, 6, 7, 8, 9 para estimar a relação da DRL com o VOL, apresentando valores significativos para as variáveis independentes.

O comportamento da DRL, em função do VOL, para os clones está apresentado na Figura 13.

Esse comportamento para o VOL já era esperado, visto que o modelo selecionado apresentou as mesmas variáveis que o DAP. Verifica-se que a tendência da DRL é diminuir com o acréscimo do VOL, sendo observado para todos os clones do estudo, exceto para o clone 9.

O clone 1 demonstrou, em todas as análises, uma tendência elevada para os níveis da DRL. Dessa forma, esse material genético deve ser desconsiderado quando o objetivo do estudo é escolher um clone que apresente tábuas ou toras sem a presença de defeitos.

Analisando o clone 9, constatou-se uma variação inversa para a maioria das variáveis (DAP, H e VOL). Apenas para a EC não se observou sua variação, pois o clone não apresentou significância para essa variável. Assim, pode-se verificar que esse clone (*Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus tereticornis*) apresentou comportamentos

em relação à DRL diferentes de todos os outros materiais estudados, provavelmente devido à características genéticas do material já que, somente esse híbrido foi resultante de um cruzamento com a espécie *Eucalyptus tereticornis*.

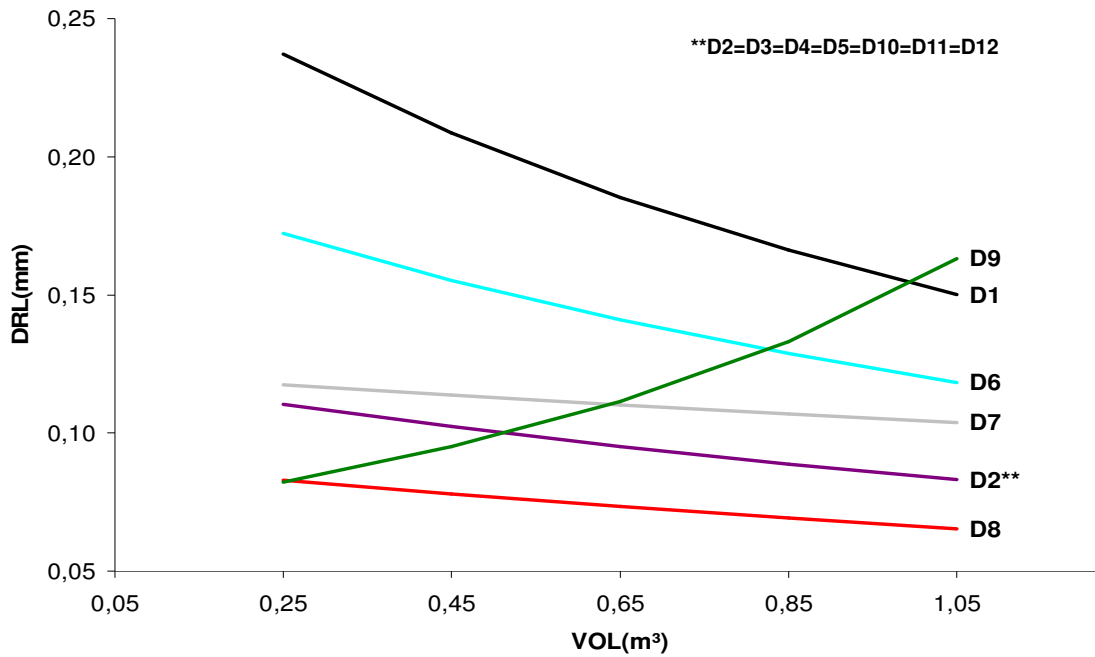


FIGURA 13 – Comportamento da deformação residual longitudinal (DRL), através da equação modelada, em função do volume da árvore em pé (VOL) e das variáveis Dummy, definidas pelos clones.

5 CONCLUSÕES

Os resultados obtidos no presente estudo permitem as seguintes conclusões:

- As deformações residuais longitudinais, decorrentes das tensões de crescimento para *Eucalyptus* spp., apresentaram variações entre os clones, se mostrando superior as médias verificadas para outras espécies do gênero. Os menores níveis de deformações foram encontrados no híbrido *Eucalyptus urophylla* 34058 x *Eucalyptus dunnii* 16 L, o que o recomenda para programas de melhoramento genético;

- O híbrido *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* possui o maior nível de deformação entre os materiais estudados;

- Ocorreram variações da deformação residual longitudinal, ao longo da circunferência do tronco das árvores, sendo mais acentuada na linha do plantio referente à posição Leste;

- As deformações residuais longitudinais apresentaram correlações significativas com a espessura de casca, diâmetro a altura do peito e volume da árvore em pé;

- Para a espessura de casca, do diâmetro a altura do peito, da altura total e do volume da árvore em pé, pode-se ajustar modelos de regressão que descrevem o comportamento das deformações residuais longitudinal para cada clone do estudo.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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.** Berlin: Springer-Verlag, 1986, 24 p.

ASSIS, T. F. Aspecto do melhoramento de *Eucalyptus* para obtenção de produtos sólidos de madeira. In: WORKSHOP. **Técnicas de abate, processamento e utilização da madeira de eucalipto.** 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”, Universidade de São Paulo, 1982.

BERGER, R. **Crescimento e qualidade da madeira de um clone de *Eucalyptus saligna* Smith sob o efeito do espaçamento e da fertilização.** 2000. 107 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2000.

BORGES, L. M.; QUIRINO, W. F. Higroscopicidade da madeira de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* tratado termicamente. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DE BIOENERGIA, 2004. Campo Grande, MT. **Anais...** Campo Grande; [s.n.], 2004. 1 CD-ROM.

BURGER, L. M.; RICHTER, H. G. **Anatomia da madeira.** São Paulo, 1991. 154 p.

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

CARDOSO JÚNIOR, A. A. **Tensões de crescimento em *Eucalyptus* e suas relações com espaçamento idade e material genético.** 2004. 85 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2004.

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, jul./set. 2005.

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.

_____. Growth stresses in trees. **Australian Forest Research**, Camberra, V. 9, p. 03 – 23, 1979.

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

CRESPO, 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.

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 “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 1999.

DEL MENEZZI, C. H. S.; NAHUZ, M. A. R.; SOUZA, M. R. de. Aspectos tecnológicos da produção de madeira serrada de *Eucalyptus cloeziana* F. Muell. **Brasil Florestal**, n. 70, p. 75-82, 2001.

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

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 Ciências Florestais) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” Piracicaba, 1982.

FERNANDES, P. S.; FERREIRA, 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.

FERRAND, J. C. Growth stresses and silviculture of eucalyptus. **Australian Forest Research**, v. 13, n. 1, p. 75 - 81, 1983.

GALVÃO, A. P. M. Aspecto da utilização da madeira de eucalipto no Brasil: seu aproveitamento em serraria. **Boletim Informativa**, Piracicaba, v. 4, n. 12, p. 1- 23, julho 1976.

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, 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.

GOOGLE EARTH. **Software licenciado pela Google**. EUA, 2009. v. 5.0.

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

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

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

_____. The growth stresses of wood stems. **Bulletim. Commonwealth Forestry Burean**, Canberra, v. 28, p. 1-67, 1945.

_____. Stresses and strains, in tree trunks as they growth in length and width. Leaflet. Commonwealth of Australian Departament of national Development. **Forestry and Rimber Bureau**, Canberra, n. 96, p. 1-15, 1965.

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.

KRILOV, A.; ADES, P. **Longitudinal growth stresses in a Eucalyptus grandis progeny trial**. For. Comm. of N.S.W, 1985. (Internal Report 1068).

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

_____. Silviculture control of mechanical stresses in trees. **Cannadian Journal of Forest Research**, v. 18, p. 1215-1225, 1988.

LIMA, L. 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 longitudinais decorrentes de tensões de crescimento em eucaliptos e suas associações com outras propriedades. **Revista Árvore**, v. 28, n. 1, p. 107-116, 2004.

LIMA, J.T. et al. Avaliação da madeira de clones *Eucalyptus spp* com o resistograph para a comparação de sua densidade básica. **Scientia Forestalis**, 2007. No prelo.

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.

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

_____. **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)**. Dissertation (PhD.) - University Stellenbosch, Stellenbosch, 1984.

_____. *Eucalyptus* improvent for lumber production. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL DE UTILIZAÇÃO DA MADEIRA DE EUCALIPTO PARA SERRARIA, 1995, São Paulo. **Anais...** Piracicaba: IPEF/IPT, 1995. p. 1 –19.

MARSH, E. K. Some preliminary results from O'Connor's correlated curve trend (CCT) experiments on thinnings and spacings and their practical significance. In: BRITISH COMMONWEALTH FORESTRY CONFERENCE, 1957, Australian. **Proceedings...**New Zealand, 1957. 21 p.

MARSH, E. K.; BURGERS, T. F. The relation between silvicultural treatment and timber quality in *Eucalyptus grandis* (Hill) Maiden. **Forestry in South Africa**, v. 8, p. 63-74, 1967.

MATTHECK, C.; KUBLER, H. **Wood - the internal optimization of trees**. Berlin: Springer, 1995. 129 p.

MELO, V. M. **Variações nas propriedades da madeira de clones de *Eucalyptus* cultivados em diferentes topografias e sujeitos a tempestades**. 2004. 166 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2004.

MUNERI, A.; LEGATE, W.; PALMER, G. Relationships between surface growth strain and some tree wood and sawn timber characteristics of *Eucalyptus cloeziana*. **Southern African Forestry Journal**, v. 187, p. 41-49, 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.

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.

_____. Growth stresses differences in *Eucalyptus*. **Forest science**, v. 19, n. 3, p. 169-174, 1973.

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 technology**. New York: McGraw-Hill, 1970, p. 293-300.

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).

PIMENTEL GOMES, F. **Curso de estatística experimental**. São Paulo: Nobel, 1970. 478 p.

PONCE, R. H. Madeira serrada de eucalipto: Desafios e perspectivas. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL DE UTILIZAÇÃO DA MADEIRA DE EUCALIPTO PARA SERRARIA, 1995, São Paulo. **Anais...** Piracicaba: IPEF: IPT, 1995. p. 50-58.

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.

ROSADO, S. C. S.; TRUGILHO, P. F.; LIMA, J. T. Avanços genéticos na obtenção de sólidos de *Eucalyptus* de qualidade superior. In: SEMINÁRIO SÓLIDOS DE EUCALIPTO: avanços científicos e tecnológicos, 1., 2002, Lavras. **Anais...** Lavras, MG: UFLA: Centro de Estudos em Recursos Naturais Renováveis, 2002. p.114-125.

SAS/STAT. **User's guide** – release 9.1.3 edition. Cary N. C.: SAS Institute Inc., 2004.

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

SCHNEIDER, P. R. et al. **Análise de regressão aplicada à Engenharia Florestal**, 2. ed. Santa Maria: UFSM: CEPEF, 2009. 236 p.

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

SEVERO, E. T. D. Avanço no desdobro e secagem da madeira de eucaliptos. In: SÓLIDOS DE EUCALIPTO: Avanços Científicos e Tecnológicos, 2002, Lavras. **Anais...** Lavras: UFLA, 2002. p. 188-196.

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.

SILVEIRA, V. et al. Variação dimensional da madeira de clones de *Eucalyptus* cultivados em diferentes espaçamentos. **Revista Cerne**, v. 5, n. 2, p. 105-124, 1999.

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 et al. Deformação residual longitudinal e sua relação com algumas características de crescimento e da madeira em clones de *Eucalyptus*. Curitiba, **Revista Floresta**, v. 33, n. 3, p. 275-284, 2004.

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. Avaliação da tensão de crescimento em clones de *Eucalyptus*. **Floresta e Ambiente**, v. 9, n. 1, p. 38-44, 2002 a.

TRUGILHO, P. F. et al. Tensões de crescimento: Recentes experiências com medições não destrutivas. In: SÓLIDOS DE EUCALIPTO: avanços científicos e tecnológicos, 2002, Lavras. **Anais...** Lavras: Centro de Estudos em Recursos Naturais Renováveis - CERNE, 2002 b. p. 125-134.

TRUGILHO, P. F. et al. Relação entre as rachaduras de toras e tábuas com a tensão de crescimento. In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 8., 2003, São Paulo. **Anais...** São Paulo: Sociedade Brasileira de Engenheiros Florestais e Sociedade Brasileira de Silvicultura, 2003.1 CD-ROM.

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

TRUGILHO, P. F. et al. Deformação residual longitudinal e propriedades da madeira em clones de *Eucalyptus*. In: IX ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA. 2004, Cuiabá. **Anais...** Cuiabá – MT : EDUFMT, 2004. 1 CD-ROM.

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, jul./set. 2006.

WALKER, J. C. F. Characteristics of stem wood and their manipulation. In: WALKER, J.C. F. et al. **Primary wood processing: principles and practice.** London: Chapman & Hall, 1993. p. 153-196.

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

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.

7 APÊNDICES



APÊNDICE 1 – Croqui da área do experimento.

APÊNDICE 2 – Planilha de campo.

Nº Parcela	Nº clone	Árvores	DRL				DB (Kg/m ³)	DAP (cm)	EC (mm)	H (m)	VOL (m ³)
			L	E.L	L	E.L					
		1									
		2									
		3									
		4									
		5									
		6									
		7									
		8									
		9									
		10									
		11									
		12									

DRL = Deformação residual Longitudinal; L = linha do plantio; E.L = entre linha do plantio; DB = densidade básica (kg/m³); DAP = diâmetro a altura do peito (cm); EC = espessura de casca (mm); H = altura total (m); VOL = volume da árvore em pé (m³).

APÊNDICE 3 - Valores médios para as DRL dos clones de Eucalipto em função das quatro posições de leituras ao redor do tronco da árvore.

Deformação residual Longitudinal (mm)				
Clones	Linha (L)	Entre Linha (N)	Linha (O)	Entre Linha (S)
1	0,300	0,192	0,113	0,202
2	0,096	0,125	0,099	0,086
3	0,105	0,094	0,075	0,084
4	0,125	0,085	0,071	0,093
5	0,115	0,110	0,090	0,096
6	0,248	0,164	0,078	0,136
7	0,137	0,118	0,088	0,113
8	0,094	0,062	0,057	0,093
9	0,115	0,116	0,088	0,110
10	0,100	0,096	0,074	0,107
11	0,108	0,085	0,080	0,103
12	0,139	0,101	0,084	0,111
Média	0,140	0,112	0,083	0,111
CV%	35,82	39,70	39,99	42,24

APÊNDICE 4 – Análise de variância da deformação residual longitudinal (DRL) em função da Espessura de casca (EC) e das variáveis Dummy, para o modelo selecionado através do procedimento Stepwise.

FV	GL	SQ	QM	F	Prob,>F
Modelo	5	80,05060	16,01012	35,27	<0,0001
Erro	138	62,63374	0,45387	-	-
Total	143	142,68435	-	-	-

Sendo: 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.

PÊNDICE 5 – Análise de variância da deformação residual longitudinal (DRL) em função do diâmetro a altura do peito (DAP) e das variáveis Dummy, para o modelo selecionado através do procedimento Stepwise.

FV	GL	SQ	QM	F	Prob,>F
Modelo	7	85,87227	12,26747	29,37	< 0,0001
Erro	136	56,81208	0,41774	-	-
Total	143	142,68435	-	-	-

Sendo: 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,

APÊNDICE 6 - Análise de variância da deformação residual longitudinal (DRL) em função da altura total (H) e das variáveis Dummy, para o modelo selecionado através do procedimento Stepwise.

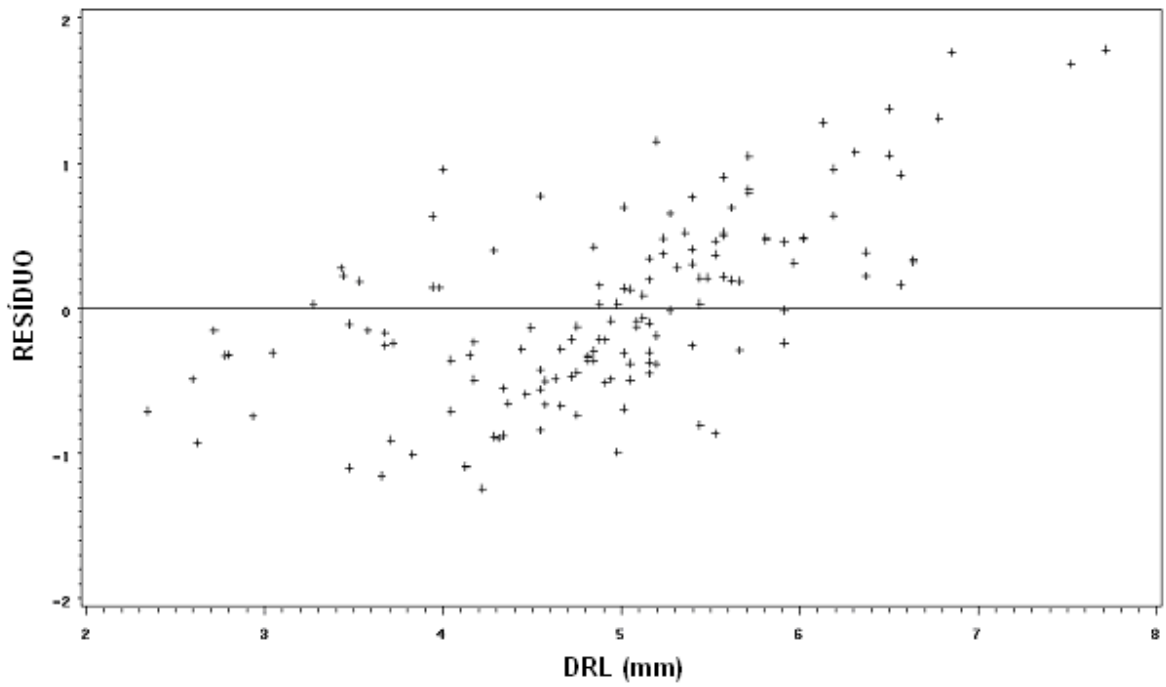
FV	GL	SQ	QM	F	Prob,>F
Modelo	9	87,48381	9,72042	23,60	<0,0001
Erro	134	55,20054	0,41194	-	-
Total	143	142,68435	-	-	-

Sendo: 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.

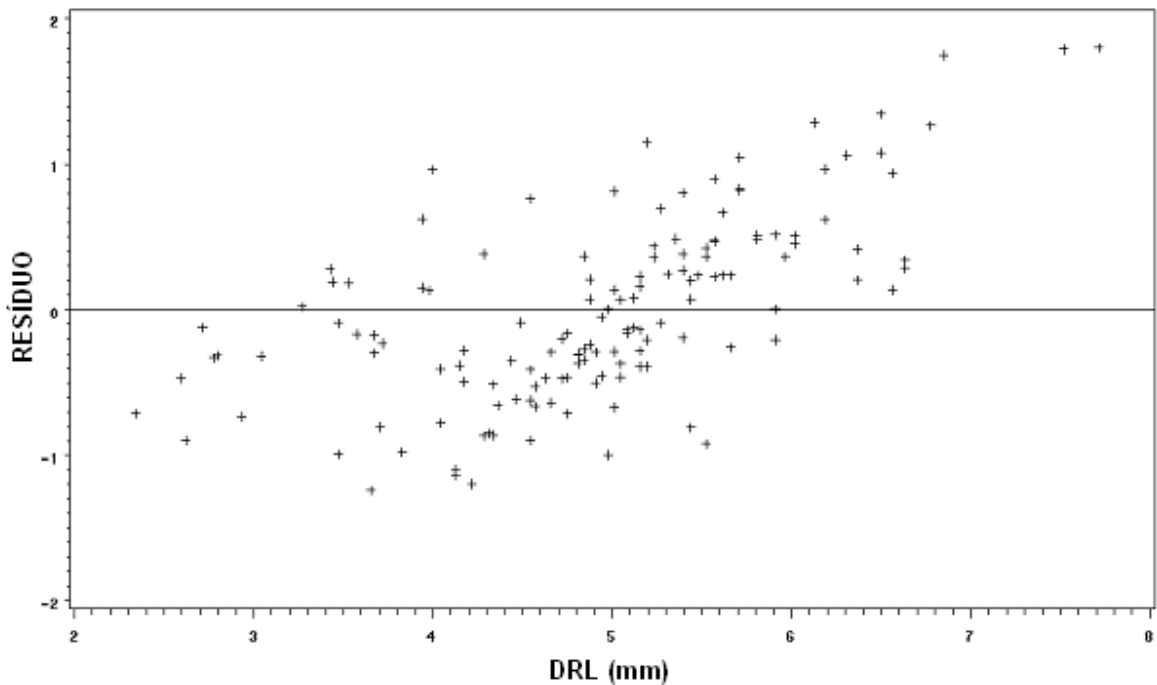
APÊNDICE 7 – Análise de variância da deformação residual longitudinal (DRL) em função do volume da árvore em pé (VOL) e das variáveis Dummy, para o modelo selecionado através do procedimento Stepwise.

FV	GL	SQ	QM	F	Prob,>F
Modelo	7	86,07101	12,29586	29,54	<0,0001
Erro	136	56,61334	0,41627	-	-
Total	143	142,68435	-	-	-

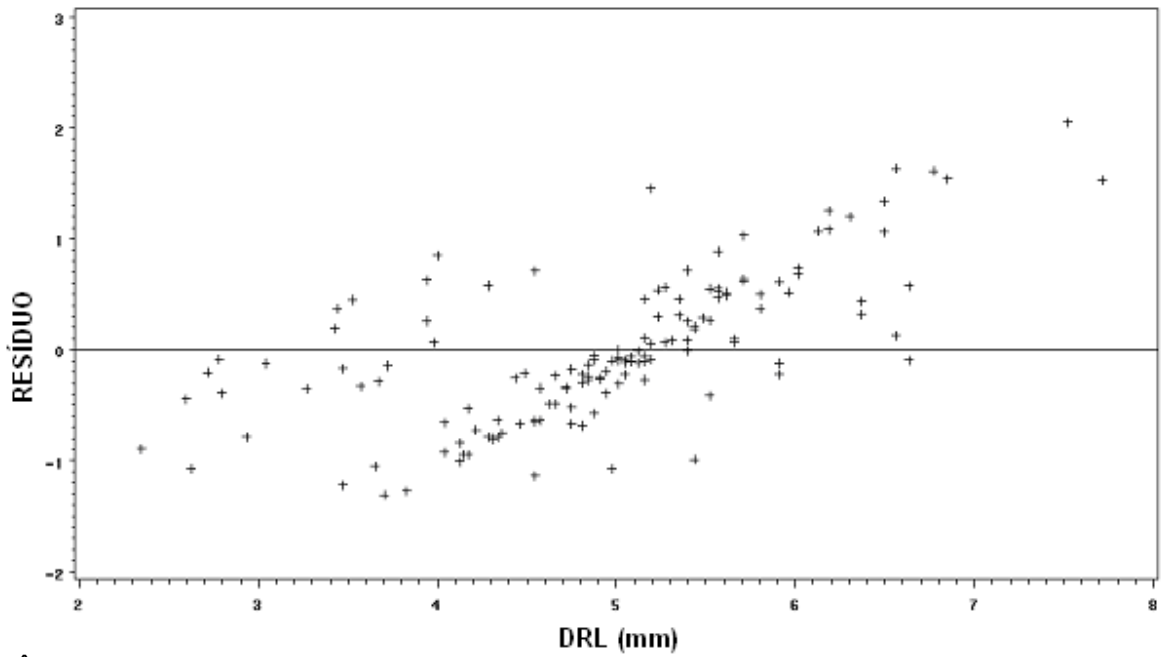
Sendo: FV = fonte de variação; GL = graus de liberdade; SQ = soma dos quadrados; QM = quadrado médio; F = valor de F calculado; Prob,>F = nível de probabilidade de erro.



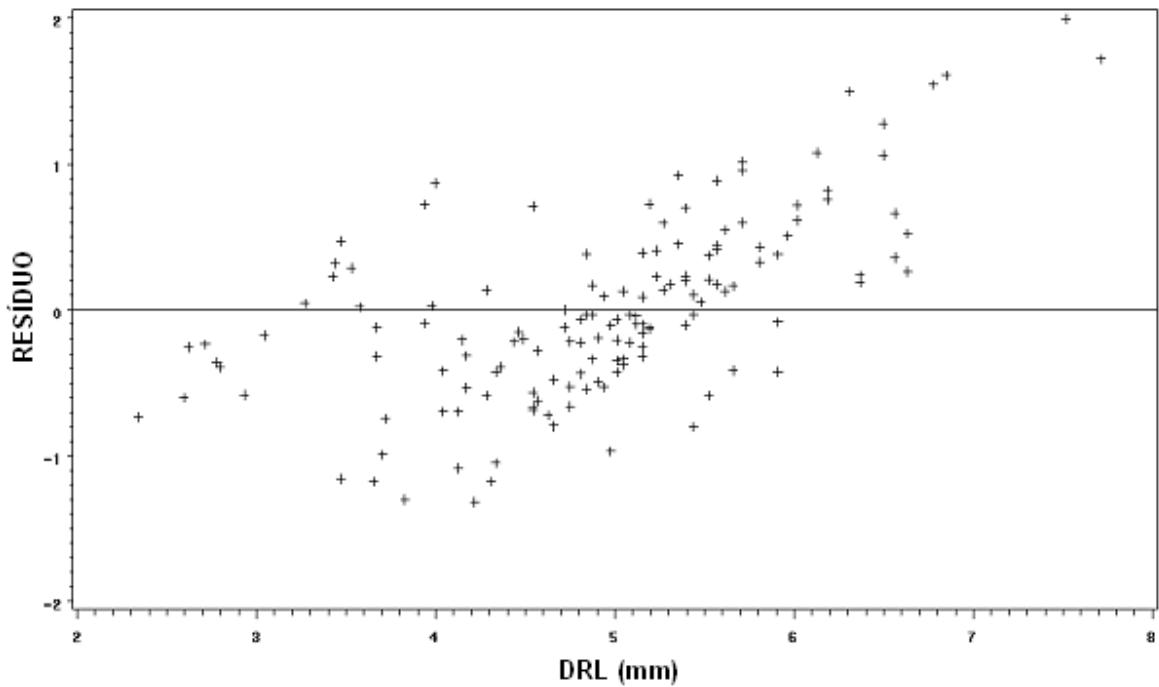
APÊNDICE 8 – Dispersão dos resíduos da DRL da equação modelada em função do volume e das variáveis Dummy, definidas pelos clones.



APÊNDICE 9 – Dispersão dos resíduos da DRL da equação modelada em função do diâmetro à altura do peito e das variáveis Dummy, definidas pelos clones.



APÊNDICE 10 – Dispersão dos resíduos da DRL da equação modelada em função da espessura de casca e das variáveis Dummy, definidas pelos clones.



APÊNDICE 11 – Dispersão dos resíduos da DRL da equação modelada em função da altura e das variáveis Dummy, definidas pelos clones.

APÊNDICE 12 – Valores estimados através do modelo de regressão da DRL em função da EC e das variáveis Dummy, para os clones estudados.

EC	D1	D2	D6	D7	D8
4	0,259	0,104	0,174	0,113	0,091
6	0,236	0,099	0,162	0,112	0,082
8	0,217	0,094	0,152	0,111	0,075
10	0,200	0,090	0,142	0,110	0,068
12	0,185	0,086	0,134	0,110	0,063
14	0,173	0,082	0,127	0,109	0,058

Sendo: EC = espessura de casca (mm); D1, D2, D6, D7 e D8 = clone 1, 2, 6, 7 e 8; D2*=D3=D4=D5=D9=D10=D11=D12 (mm).

APÊNDICE 13 – Valores estimados através do modelo de regressão da DRL em função do DAP e das variáveis Dummy, para os clones estudados.

DAP	D1	D2	D6	D7	D8	D9
16	0,251	0,115	0,185	0,128	0,086	0,080
20	0,215	0,105	0,163	0,119	0,080	0,092
24	0,187	0,096	0,145	0,111	0,074	0,108
28	0,164	0,088	0,130	0,104	0,069	0,130
32	0,146	0,082	0,118	0,097	0,065	0,159

Sendo: DAP = diâmetro a altura do peito (cm); D1, D2, D6, D7, D8 e D9 = clone 1, 2, 6, 7, 8, e 9; D2*=D3=D4=D5=D10=D11=D12 (mm).

APÊNDICE 14 – Valores estimados através do modelo de regressão da DRL em função da H e das variáveis Dummy, para os clones estudados.

H	D1	D2	D6	D7	D8	D9	D12
27	0,252	0,107	0,297	0,124	0,084	0,075	0,121
29	0,231	0,101	0,197	0,119	0,079	0,085	0,116
31	0,212	0,097	0,143	0,114	0,075	0,098	0,111
33	0,195	0,092	0,109	0,109	0,071	0,114	0,106
35	0,181	0,088	0,088	0,105	0,068	0,136	0,102
37	0,168	0,084	0,072	0,101	0,064	0,166	0,098

Sendo: H = altura total (m); D1, D2, D6, D7, D8, D9 e D12 = clone 1, 2, 6, 7, 8, 9 e 12; D2*=D3=D4=D5=D10=D11 (mm).

APÊNDICE 15 – Valores estimados através do modelo de regressão da DRL em função do VOL e das variáveis Dummy, para os clones estudados.

VOL	D1	D2	D6	D7	D8	D9
0,25	0,237	0,110	0,172	0,117	0,083	0,082
0,45	0,209	0,102	0,155	0,114	0,078	0,095
0,65	0,185	0,095	0,141	0,110	0,073	0,111
0,85	0,166	0,089	0,129	0,107	0,069	0,133
1,05	0,150	0,083	0,118	0,104	0,065	0,163

Sendo: VOL = volume da árvore em pe' (m³); D1, D2, D6, D7, D8 e D9 = clone 1, 2, 6, 7, 8, e 9; D2*=D3=D4=D5=D10=D11=D12 (mm).