

**VARIAÇÕES EM CARACTERÍSTICAS DO  
CRESCIMENTO E DA MADEIRA EM CLONES  
DE *Eucalyptus*.**

**MÁRCIA CRISTINA DE OLIVEIRA MOURA**

2000

49274

MFN 39569

**MÁRCIA CRISTINA DE OLIVEIRA MOURA**

**VARIAÇÕES EM CARACTERÍSTICAS DO CRESCIMENTO E DA  
MADEIRA EM CLONES DE *Eucalyptus* .**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Curso de Mestrado em Engenharia Florestal, área de concentração Produção Florestal, para obtenção do título de "Mestre".

**Orientador:**

Prof. Sebastião Carlos da Silva Rosado

LAVRAS  
MINAS GERAIS – BRASIL  
2000

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

Moura, Márcia Cristina de Oliveira

Variação em características do crescimento e da madeira em clones de  
*Eucalyptus* / Márcia Cristina de Oliveira Moura. -- Lavras : UFLA, 2000.  
63 p. : il.

Orientador: Sebastião Carlos da Silva Rosado.

Dissertação (Mestrado) – UFLA.

Bibliografia.

1. *Eucalyptus*. 2. Parâmetro genético. 3. Crescimento. 4. Densidade básica. 5.  
Retratibilidade. 6. Propriedade mecânica. I. Universidade Federal de Lavras. II.  
Título.

CDD-634.97342

**MÁRCIA CRISTINA DE OLIVEIRA MOURA**

**VARIAÇÕES EM CARACTERÍSTICAS DO CRESCIMENTO E DA  
MADEIRA EM CLONES DE *Eucalyptus*.**

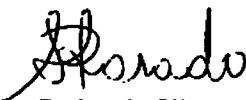
Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Curso de Mestrado em Engenharia Florestal, área de concentração Produção Florestal, para obtenção do título de "Mestre".

**APROVADA em**

**Prof. Paulo Fernando Trugilho** UFLA

**Prof. José Tarcisio Lima** UFLA

**Prof. Samuel Pereira de Carvalho** UFLA

  
**Prof. Sebastião Carlos da Silva Rosado**  
(Orientador)

**LAVRAS  
MINAS GERAIS - BRASIL**

## **DEDICATÓRIA**

**Aos meus amados pais, Djalma e Joana, pelos exemplos e valores deixados.**

**Aos meus queridos irmãos, Fernando, João Augusto e Marcelo.**

**Ao César pelo amor, paciência e companheirismo.**

**Ao Gabriel, pela sua existência.**

**DEDICO.**

## AGRADECIMENTOS

À Deus, presente em todos os momentos da minha vida;

Ao Celso e Eda, que ocupam de maneira única um espaço no meu coração;

À Universidade Federal de Lavras - UFLA;

À CAPES que, através do Programa Especial de Treinamento (PET), concedeu a bolsa de estudos;

À Companhia Mineira de Metais - Unidade Agroflorestal, pela oportunidade de realizar esse trabalho;

Ao professor Sebastião Carlos da Silva Rosado, pela orientação e companherismo ao longo desse trabalho;

Ao professor Paulo Fernando Trugilho, pela co-orientação e ajuda no decorrer do trabalho;

Ao professor Samuel Carvalho pela colaboração na etapa final e pelas diversas considerações ;

Ao professor José Tarcísio Lima, pelo auxílio e críticas oportunas, que muito contribuíram para a melhoria desse trabalho;

À professora Dulcinéia de Carvalho, pelo apoio, atenção e, sobretudo, pela amizade;

Ao professor José Roberto Scolforo, pela eterna dedicação e exemplo de disciplina;

À todos os professores e funcionários do Departamento de Ciências Florestais da UFLA, especialmente à Lillian, Terezinha, Gláucia, Chica, Vânia e Magali;

Ao Claret, Ernani, Gilson, Sr. Vico e Zé Fazenda pela preparação do material usado nesse trabalho;

Ao colega e amigo Ronaldo Caixeta, pelas idéias e participação no decorrer desse trabalho;

**Ao Juninho, Duracel, Renato, Gabriela e Breno que auxiliaram na coleta de dados;**

**Aos amigos e companheiros do curso de pós-graduação, Beth, Cubatão, Rubens, Karem, Samurai, Vivette, Anderson, Batman, Nilza, Tuca, Adriana, Andréia, Luciana Magda, Valter, Adelson, Anabel, Tião, Michelliny, João Ricardo e Carla;**

**Às minhas eternas amigas Silvia, Ana Paula, Milena e Alessandra;**

**Aos amigos Tê, Divino, Lurdinha, Luciana Heidi, Luciana Botezelli, Ary, Carneira, Cciulli, Victor e Rose;**

**À minha sobrinha Marcela, pela ajuda nas horas difíceis.**

## BIOGRAFIA

**MÁRCIA CRISTINA DE OLIVEIRA MOURA**, filha de Djalma Dias de Oliveira e Joana D'Arc Pedroso de Oliveira, nasceu em 23 de março de 1974, na cidade de Lavras, Minas Gerais.

Em junho de 1992, ingressou na Universidade Federal de Lavras - UFLA, no curso de Engenharia Florestal, graduando-se em julho de 1997.

Em agosto de 1997, iniciou o curso de mestrado em Engenharia Florestal, na mesma universidade, recebendo o título de "Mestre" em 25 de fevereiro de 2000.



## SUMÁRIO

RESUMO.....	i
ABSTRACT.....	ii
1 INTRODUÇÃO.....	1
2 REVISÃO DE LITERATURA.....	4
2.1 Considerações gerais sobre o gênero <i>Eucalyptus</i> .....	4
2.2 Melhoramento genético do <i>Eucalyptus</i> .....	5
2.3 Qualidade da madeira.....	8
2.3.1 Densidade da madeira.....	9
2.3.2 Retratibilidade da madeira.....	11
2.3.3 Propriedades mecânicas da madeira .....	14
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	18
3.1 Material genético.....	18
3.2 Local de experimentação.....	18
3.3 Delineamento experimental.....	19
3.3.1 Características de crescimento.....	19
3.3.2 Qualidade da madeira.....	19
3.4 Coleta dos dados.....	19
3.4.1 Características de crescimento.....	19
3.4.2 Qualidade da madeira.....	20
3.4.2.1 Densidade básica da madeira.....	21
3.4.2.2 Retratibilidade da madeira.....	21
3.4.2.3 Propriedades mecânicas.....	23
3.5 Análises estatísticas.....	24
3.5.1 Características de crescimento.....	25
3.5.2 Qualidade da madeira.....	27
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	30

<b>4.1 Características de crescimento.....</b>	<b>30</b>
<b>4.2 Qualidade da madeira.....</b>	<b>35</b>
<b>4.2.1 Densidade básica da madeira.....</b>	<b>35</b>
<b>4.2.2 Retratibilidade da madeira.....</b>	<b>40</b>
<b>4.2.3 Propriedades mecânicas.....</b>	<b>49</b>
<b>5 CONCLUSÕES.....</b>	<b>55</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>57</b>

## RESUMO

Moura, M.C. de O. **Variações em características do crescimento e da madeira em clones de *Eucalyptus***. Lavras: UFLA, 2000. 63p. (Dissertação - Mestrado em Engenharia Florestal)<sup>1</sup>

Para o desenvolvimento deste trabalho, utilizou-se dados médios de DAP, volume individual, densidade básica, contrações radial, tangencial e volumétrica, além de quatro propriedades mecânicas da madeira, resistência à compressão paralela às fibras, módulo de elasticidade à compressão paralela às fibras, módulo de ruptura e módulo de elasticidade à flexão estática, oriundos de 10 clones híbridos naturais de *Eucalyptus*, plantados na Fazenda Bom Sucesso, no município de Vazante-MG, com o objetivo de avaliar tais características e estimar os seus parâmetros genéticos e fenotípicos. O delineamento experimental utilizado, para avaliar as características de crescimento, foi inteiramente casualizado, com 10 repetições. Para a avaliação das características da madeira, utilizou-se um delineamento de parcelas subdivididas, com 5 repetições e em três posições (toras) diferentes ao longo do tronco, sendo as parcelas constituídas pelos 10 clones e as subparcelas pelas diferentes toras. Os parâmetros genéticos e fenotípicos foram estimados, a partir das estimativas de esperanças do quadrado médio, para todas as características estudadas. Os 10 clones apresentaram diferenças significativas para as 10 características. Tanto o DAP e volume individual, quanto as características da madeira, apresentaram altos valores de herdabilidade, o que denota um alto controle genético na expressão dessas características. A densidade básica não variou significativamente ao longo do tronco e não apresentou interação entre clone x tora. Na avaliação da retratibilidade da madeira, verificou-se que apenas a contração tangencial apresentou variação entre as toras e para todas as contrações ocorreram interações clone x tora significativas. Para as características mecânicas, foram observadas variações significativas entre as três toras, evidenciando uma variação longitudinal dessas propriedades, porém não foram verificadas interações clones x toras significativas.

---

<sup>1</sup> Comitê Orientador: Sebastião Carlos da Silva Rosado - UFLA (Orientador), Paulo Fernando Trugilho (Co-orientador) - UFLA, José Tarcísio Lima - UFLA

## ABSTRACT

Moura, M.C. de O. **Variations on growth and wood characteristics on *Eucalyptus* clones.** Lavras: UFLA, 2000. 63p. (Dissertation - Master in Forestry Engineering)<sup>1</sup>

For the development of this piece of research use was made of the average data on BHD (breast height diameter), individual volume, basic density, radial, tangential and volumetric contractions, plus four mechanical wood properties, resistance to parallel compression to the fibers, elasticity module to the parallel compression to the fibers, rupture module as well as elasticity module to static flexion, from 10 natural *Eucalyptus* hybrid clones, from the Bom Sucesso farm plantation located in the region of Vazante-MG, aiming at the evaluation of such characteristics as well as estimating its genetic and phenotypical parameters. The experimental design used for the evaluation of growth characteristics was the totally randomized one, featuring ten repetitions. For the wood characteristics a split plot factorial design was used, with five repetitions, in three different positions (logs) along the stem, the plots comprising the ten clones whereas the subplots comprised the different logs. The genetic and the phenotypical parameters were estimated, starting from the expected mean square, for all characteristics studied. The ten clones showed significant differences as for the ten characteristics. Both the BHD, the individual volume and the wood characteristics fared high herdability values, which attests for a high degree of genetic control on the expression of these characteristics. Basic density did not vary significantly along the stem, nor did it show any interaction between clone x log. As for the evaluation of wood contraction, it was verified that only the tangential contraction showed variation in the logs and, for all contractions significant clone x log interactions occurred. As for the mechanical characteristics, significant variations were observed among the three logs, evidencing evident a longitudinal variation of such properties, although no significant interactions among clones x logs were ever verified.

---

<sup>1</sup> Guidance Committee: Sebastião Carlos da Silva Rosado - UFLA (Major Professor), Paulo Fernando Trugilho - UFLA, José Tarcísio Lima - UFLA

## 1 INTRODUÇÃO

Nos últimos anos têm aumentado o interesse pela utilização de *Eucalyptus*, como fonte de matéria-prima, para a geração de produtos sólidos de madeira. As restrições impostas ao uso de madeiras provenientes de florestas tropicais, juntamente com a necessidade crescente de diversificação de atividades nas empresas florestais, são os fatores que mais tem contribuído para o aumento desse interesse.

O gênero *Eucalyptus* apresenta-se como uma opção potencial, não só pela sua capacidade produtiva e adaptativa a diversos ambientes, mas, principalmente, pela sua grande diversidade de espécies, o que torna possível atender aos requisitos tecnológicos dos diversos segmentos da indústria madeireira (Assis, 1999).

A madeira de *Eucalyptus*, que até então era considerada como secundária para serraria e basicamente utilizada para a produção de celulose, fins energéticos, chapas de fibras e aglomerados, vem assumindo um lugar de destaque no suprimento de madeira serrada no mercado. Se por um lado, as madeiras provenientes de florestas tropicais não são suficientes para suprir a demanda do mercado, por outro lado, extensas áreas têm sido reflorestadas com *Eucalyptus*. De acordo com a ABRACAVE (1998), a área plantada anualmente, no Brasil, com espécies deste gênero é de 150.000 ha.

A madeira de eucalipto tem sido usada para a produção de madeira serrada, em vários países como a África do Sul, Austrália, Nova Zelândia, Chile, Argentina e Uruguai, porém, no Brasil, o seu uso é muito incipiente. Um dos motivos dessa pequena utilização vem da falta de conhecimento tanto das características da madeira, quanto das inovações tecnológicas relacionadas ao seu processamento e uso.

Na verdade, a madeira do *Eucalyptus*, apesar de representar uma alternativa potencial, apresenta algumas restrições próprias e inerentes ao uso de florestas jovens, onde os níveis de tensões de crescimento se manifestam de forma mais proeminente do que em florestas maduras. Há, ainda, outros aspectos que constituem obstáculos adicionais ao seu uso como a ocorrência de colapso, nós, empenamentos, variação dimensional, entre outros.

Surge, então, a necessidade de implantação de programas de melhoramento, que visem solucionar ou, ao menos, minimizar esses entraves (Lelles e Silva, 1997; Vital e Trugilho, 1997). A existência de variabilidade fenotípica entre espécie, procedências, famílias e indivíduos para as características de interesse tecnológico (Malan, 1998), associado de um moderado a forte controle genético, envolvido na expressão do caráter (Zobel e Jett, 1995), podem possibilitar a obtenção de uma madeira de qualidade satisfatória, para atender vários usos da madeira.

Segundo Assis (1999), devido a possibilidade de se utilizar a clonagem em larga escala, as variações entre indivíduos são as que apresentam maior importância. Esse mesmo autor ressalta que as variações verificadas nos diferentes materiais genéticos ocorrem, em sua maioria, de forma diferenciada, fazendo com que, dificilmente, encontrem-se indivíduos dotados de todas as características desejadas.

Dessa maneira, o grande desafio dos programas de melhoramento genético do *Eucalyptus*, que visem a produção de madeira serrada, é a seleção de árvores, que possuam atributos tecnológicos na sua madeira, associados às características vantajosas de crescimento.

Nesse contexto, o presente trabalho teve como objetivos: a) avaliar características de crescimento (DAP e volume individual), propriedades físicas (densidade básica e retratibilidade) e propriedades mecânicas da madeira (resistência à compressão paralela às fibras, módulos de elasticidade à

compressão e à flexão estática, e módulo de ruptura) de 10 clones híbridos naturais do gênero *Eucalyptus*; b) verificar a influência da posição de amostragem, na avaliação das propriedades da madeira; c) estimar os parâmetros genéticos e fenotípicos associados às características de crescimento e da madeira.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 Considerações Gerais sobre o Gênero *Eucalyptus*

O gênero *Eucalyptus* engloba cerca de 500 espécies e sub-espécies, que habitam a Austrália e a Tasmânia, sendo poucas nativas nas ilhas ao norte (Pryor e Jonhson, 1971).

As diversas espécies desse gênero prosperam em diversas condições climatológicas e edáficas (Andrade, 1961), sendo, por isso, de grande capacidade de adaptação, razões pelas quais são encontradas, naturalmente, em várias regiões da Austrália ou introduzidas em diversas regiões do Brasil.

No Estado de Minas Gerais, os mais antigos plantios de eucalipto estão concentrados a leste de Belo Horizonte, na bacia do Rio Doce, compreendendo as espécies: *E. grandis*, *E. saligna*, e *E. urophylla* (Albino, 1983).

Na parte central do Estado, também, desenvolveram-se amplos plantios com eucaliptos. São áreas de cerrado, com relevo suavemente ondulado e altitude entre 500 e 800 m, compreendidos entre as regiões de Sete Lagoas, Paraopeba, Curvelo, Lassance, João Pinheiro, Paracatu, Vazante, Patos de Minas e Bom Despacho (Golfari, Caser e Moura, 1978).

Destacam-se, também, as áreas de cerrado, situadas no Triângulo Mineiro, localizadas entre Araxá, Uberaba, Uberlândia e Monte Alegre de Minas (Golfari, Caser e Moura, 1978), onde *E. grandis*, *E. pilularis*, *E. urophylla* e *E. dunnii* alcançaram maiores índices de crescimento, em regiões de maior altitude, enquanto que, em menor altitude, as espécies potencialmente mais promissoras são o *E. camaldulensis*, *E. tereticornis* e *E. pellita*.



## 2.2 Melhoramento Genético do *Eucalyptus*

O melhoramento genético de espécies florestais é uma ciência relativamente nova, que alcançou maior desenvolvimento a partir de 1950 (Wright, 1976; Zobel e Talbert, 1984). No Brasil, no entanto, o melhoramento florestal apresentou maiores desenvolvimentos a partir de 1967, com a implantação da lei dos incentivos fiscais ao reflorestamento (Ferreira, 1983).

O melhoramento pode ser conceituado como ciência e arte (Fehr, 1991). Do ponto de vista da ciência, ele é a aplicação de técnicas cientificamente testadas e comprovadas. Por outro lado, do ponto de vista da arte, é a percepção dos melhores fenótipos, dentro de uma população, supondo-se que estes representem um genótipo superior dentro dessa população.

Durante muito tempo, a seleção de árvores para um programa de melhoramento florestal, no Brasil, foi baseada em valores fenotípicos das características de crescimento, preocupando-se, basicamente, com a produção volumétrica (Trugilho, 1995). Entretanto, isso não assegura a qualidade da árvore selecionada para a sua melhor utilização.

De acordo com Assis (1996), a utilização da madeira de espécies do gênero *Eucalyptus*, nas indústrias de base florestal têm-se caracterizado pela falta de especialização de seus atributos em relação ao seu uso final. Ou seja, a madeira vem sendo utilizada para os mais diversos fins, sem considerar as aptidões de cada espécie ou procedência para usos específicos.

Apesar de já se ter o conhecimento de quais são os atributos da madeira importantes, para cada segmento industrial, na prática, pouco tem sido feito no sentido de produzir florestas, especialmente projetadas, para atender exigências específicas (Assis, 1996).

O direcionamento do melhoramento é um requisito essencial aos programas de melhoramento florestal. Uma estratégia de melhoramento sofisticada e bem planejada, torna-se sem importância se for embasada em um objetivo inadequado (Resende, 1999). Esse objetivo pode ser definido como o caráter econômico final sobre o qual se deseja o ganho genético, podendo ser um caráter único ou um conjunto de caracteres.

O gênero *Eucalyptus* se apresenta como uma opção potencial, para a produção de madeira, não apenas pela sua capacidade produtiva e alta adaptabilidade, mas, sobretudo, pela grande diversidade de espécies, o que torna possível atender aos requisitos tecnológicos dos mais diversos segmentos da produção industrial de madeira (Assis, 1999).

Entretanto, apesar da grande potencialidade desse gênero, para a produção de madeira serrada, o *Eucalyptus* apresenta níveis de tensões de crescimento mais elevados, característicos de florestas mais jovens. Segundo Jankowsky (1995), essas tensões, associadas às rachaduras e aos defeitos de secagem, resultam numa perda significativa de madeira.

Devido a esses problemas, aliados à presença de madeira juvenil, nós, empenamentos e colapsos, torna-se evidente a necessidade do desenvolvimento de programas de melhoramento florestal, que procurem solucionar ou ao menos minimizar tais inconvenientes. Para tanto, deve-se incluir índices de qualidade, com base nas características físicas, químicas, anatômicas e mecânicas da madeira, para a seleção de genótipos superiores, que irão compor o programa de melhoramento (Trugilho, 1995).

Um ponto de fundamental importância, no desenvolvimento de programas de melhoramento, é o conhecimento da existência de variabilidade nas características de interesse e o grau de controle genético, na expressão das mesmas (Zobel e Jett, 1995). De acordo com Assis (1999) se houver variabilidade e se a participação de componentes genéticos, na manifestação das

características for expressiva, pode-se prever ganhos quantitativos, nas características sob seleção. Para maior entendimento desse tipo de melhoramento, dois preceitos da seleção são extremamente importantes: o primeiro é que a seleção atua, efetivamente, se recair sobre diferenças herdáveis e, o segundo, é que a seleção não cria variabilidade, atuando apenas sobre a que já existe (Allard, 1971).

Portanto, estudos da variabilidade genética, das características de interesse, são de extrema importância e são possíveis, através do conhecimento de parâmetros genéticos, como: a variância genotípica e seus componentes aditivos e não-aditivos, a herdabilidade, as interações genótipo-ambiente e as correlações entre características (Robinson e Cockerham, 1965; Kageyama, 1980; Paula, 1995). Tais parâmetros permitem, ainda, entender a natureza da ação gênica, envolvida na herança das características em estudo, estabelecer as bases para definir programas de melhoramento, além de prever os ganhos genéticos, em função da estratégia de melhoramento genético (Robinson e Cockerham, 1965; Vencovsky, 1969; Kageyama, 1980 e Patiño-Valera, 1986).

O conhecimento da herdabilidade é um dos principais objetivos no estudo genético de um caráter e, sua magnitude, irá orientar as decisões a serem tomadas (Oliveira, 1998). A herdabilidade expressa a confiança no valor fenotípico, como guia para o valor genético (Falconer, 1987), já que ela descreve a relação entre a variação genética e a variação fenotípica para uma certa característica. Os valores da herdabilidade podem variar de 0 a 1. Se o valor é próximo de 1, a herdabilidade é alta, indicando um alto controle genético da característica em estudo. Por outro lado, um valor baixo indica que a característica é altamente influenciada pelo ambiente.

Segundo Falconer (1987), a herdabilidade é uma propriedade não só do caráter, mas também da população e das circunstâncias ambientais às quais estão sujeitos os indivíduos. Portanto, esse parâmetro depende de todos os

componentes de variância e, a alteração em qualquer um deles, afetará também o seu valor.

A herdabilidade possibilita uma indicação relativa do controle genético e não deve ser interpretada como um valor absoluto ou invariante (Paula, 1995).

### **2.3 Qualidade da Madeira**

A qualidade de uma madeira está diretamente relacionada às características físicas, químicas e anatômicas, já que a combinação de tais características irá definir a sua melhor forma de utilização. Para avaliar sua qualidade, é importante definir para qual uso a madeira será destinada, identificar os fatores que afetam essa madeira, quantificá-los, além de avaliar seus efeitos na qualidade do material.

Por muitos anos, a maior parte dos programas de melhoramento incluía taxa de crescimento, forma, adaptabilidade e resistência às doenças e pragas nas suas avaliações, entretanto, não incluía propriedades da madeira (Zobel e Jett, 1995). Segundo Freitas et al. (1986), não se deve objetivar apenas um alto volume de madeira, mas também um material adequado ao uso final, o que proporciona um maior retorno financeiro.

O uso de um critério, que avalia apenas uma única característica como, por exemplo, taxa de crescimento, tem seu valor limitado, resultando em plantios com árvores tortuosas, com fustes múltiplos e galhos grossos. Portanto, a seleção de um material genético não deve ser fundamentada apenas em crescimentos superiores, mas também na qualidade de fuste, adaptabilidade, sanidade e aptidão para o produto desejado (Cornacchia, 1994).

Algumas propriedades da madeira estão, normalmente, sob um forte controle genético, permitindo a obtenção de ganhos consideráveis com a seleção e melhoramento para tais propriedades (Zobel e Jett, 1995). Autores como

Harris (1970), Bannister (1970), Campinhos (1980), Trugilho (1995), Xavier (1996) e Garcia (1998) consideram que as características da madeira devem ser incluídas nos programas de melhoramento florestal.

### **2.3.1 Densidade da madeira**

A densidade é uma das características mais importantes entre as diversas propriedades físicas da madeira. Dentre todas as características que definem a qualidade de uma madeira a densidade é a mais amplamente usada, porque é considerada “de importância chave na fabricação de produtos florestais” (Zobel e Van Buijtenen, 1989). Tal importância vem do fato da densidade estar correlacionada a várias outras características, segundo diversos autores (Almeida, 1981; Rosado, 1982; Haygreen e Bowyer, 1982; Zobel e Jett, 1995; Oliveira, 1997; Rozenberg e Cahalan, 1997).

A densidade da madeira é o termo usado para expressar o quanto da substância madeira está presente num dado volume (Zobel e Van Buijtenen, 1989). Dentre as diferentes formas de densidade, do ponto de vista prático, a densidade básica predomina, visto a sua facilidade de determinação. A densidade básica representa a relação entre a massa absolutamente seca de madeira e, o seu volume numa condição verde. A densidade, entretanto, é um fator resultante, ou seja, é consequência e não a causa da distribuição, tipos e composição dos elementos anatômicos que compõem a madeira (Foelkel, Mora e Menochelli, 1992).

As variações da densidade são resultados das diferentes espessuras da parede celular, das dimensões das células, das inter-relações entre esses dois fatores, da quantidade de componentes extratáveis presentes por unidade de volume (Panshin e De Zeeuw, 1980) e, ainda, do arranjo e proporção dos tecidos.

A densidade pode variar em função da espécie, da procedência, do local de plantio, da idade do povoamento e também entre árvores (Almeida, 1981). Se ocorrem diferenças entre árvores numa mesma população e tais diferenças são maiores do que entre populações distintas, as diferenças individuais se tornam mais importantes para o melhoramento genético (Ferreira, Freitas e Ferreira, 1979). De acordo com Silveira (1999), a densidade básica é uma característica ideal para ser manipulada geneticamente, por causa da sua grande variação entre árvores, alta herdabilidade e sua baixa interação entre genótipos e ambientes, além de seus efeitos sobre a produção e qualidade da madeira.

A densidade também varia dentro de uma mesma árvore. Nesse caso ela pode ser representada por variações nos sentidos longitudinal e radial. A variação no sentido longitudinal da densidade básica da madeira de eucalipto, segundo Barrichelo, Brito e Migliorini (1983), apresentam vários tipos de tendência. Em alguns casos ela tende a ser decrescente da base para o topo, em outros, tende a ser crescente a partir do DAP e pode, ainda, apresentar valores alternados com tendência decrescente e crescente. Já a variação da densidade, no sentido radial, geralmente, é mais consistente do que no sentido longitudinal, aumentando, gradativamente, do cerne para o alburno (Foelkel, Mora e Menochelli, 1992). Esse aumento pode estar associado à espessura das paredes e ao comprimento de fibras, os quais aumentam nesse sentido (Brasil e Ferreira, 1972).

Lima (1999), avaliando 26 clones de *Eucalyptus*, em 4 locais diferentes de plantio, concluiu que a densidade básica aumentou tanto, no sentido base-topo, quanto no sentido medula-casca. Oliveira (1997) estudou o comportamento da densidade básica, em 7 espécies de *Eucalyptus*, observou que essa característica aumentou a partir da metade do tronco, havendo uma queda desse valor, no topo das árvores, exceto para o *E. grandis*, onde a densidade diminuiu até 25% do tronco e depois aumentou até o topo.



### 2.3.2 Retratibilidade da madeira

De acordo com Oliveira (1997), a retratibilidade da madeira pode ser definida como o fenômeno decorrente da variação dimensional, em função da troca de umidade do material com o meio que o envolve, até que seja atingida uma condição de equilíbrio.

Entre as várias características que justificam a grande utilização da madeira pela humanidade, tem-se sua fácil trabalhabilidade, beleza, excelente comportamento mecânico, além de ser um material renovável, o que, pelo menos hipoteticamente, possibilita tê-la sempre disponível.

Por outro lado, algumas características limitam sua utilização e podem, dependendo da solicitação, desqualificar a madeira, causando, em alguns casos, a sua substituição por outros materiais. Entre essas características, destaca-se a sua variação dimensional devido às alterações de umidade.

Como todo material higroscópico, a madeira, inicialmente em estado de completa saturação em água, contrai-se ao perder umidade, quando esta atinge valores inferiores ao ponto de saturação das fibras, que muitos autores consideram como sendo em torno de 30%. Essa contração pode ser acompanhada por empenamentos e rachaduras (Stamm, 1964).

A umidade responsável pela retratibilidade da madeira é aquela que está localizada nas paredes celulares, ou seja, adsorvida aos grupos hidroxílicos das microfibrilas de celulose, nas hemiceluloses e, também, em menor quantidade, ligada aos sítios existentes na lignina.

O princípio da retratibilidade, deve-se ao fato das moléculas de água estarem ligadas por pontes de hidrogênio, às microfibrilas de polissacarídeos, que formam a madeira e, quando estas são forçadas a saírem, deixam um espaço, fazendo com que as forças de coesão reaproximem as microfibrilas (IPT, 1985).

O fenômeno da expansão é inverso, ou seja, quando a água é absorvida pela madeira, ela tende a penetrar entre as microfibrilas, causando o seu afastamento, e, conseqüentemente, inchando a peça de madeira.

A magnitude da contração irá depender de inúmeros fatores (Skaar, 1972), tais como: o teor de umidade, a densidade da madeira, a temperatura, o grau de tensão de secagem causada pelo gradiente de umidade, da direção estrutural, ou seja, os sentidos radial, tangencial e longitudinal. Normalmente, a contração é maior para madeiras mais densas (Tsoumis, 1991), uma vez que tais madeiras, por terem uma maior concentração de células de paredes mais espessas, tendem a absorver mais água por unidade de volume, e conseqüentemente, tendem a contrair mais do que aquelas de menor densidade. Tal fato foi constatado por Oliveira et al. (1997), que verificou maiores valores de contração volumétrica, associados a madeiras de maior densidade. Entretanto, em madeiras densas, mas com elevados teores de extrativos hidrófobos, nas paredes celulares, as contrações volumétricas poderão não ser muito elevadas.

As variações dimensionais ocorrem de maneira diferente nas diferentes direções de crescimento da árvore. Por essa razão é que a madeira é considerada um material anisotrópico. Dessa forma, mais importante do que avaliar a retratibilidade volumétrica total, é ter o conhecimento das variações lineares das dimensões, nas direções tangencial, radial e longitudinal (Oliveira, 1997).

A variação dimensional, em qualquer das três direções estruturais da madeira, é calculada como porcentagem de variação, em relação à dimensão inicial. Assim, a retração dimensional é calculada em relação às dimensões verdes e o inchamento, com base nas dimensões secas (Galvão e Jankovsky, 1985).

A contração longitudinal ou axial é aquela que ocorre no sentido das fibras e, normalmente, a contração longitudinal total varia de 0,1% a 0,9%, dependendo da espécie. A contração radial, refere-se ao sentido dos raios da



madeira e seus valores totais variam de 2,0% a 8,0%. A contração tangencial é aquela que ocorre tangenciando os anéis de crescimento e, sua intensidade, varia de 4,0% a 18,0%. Segundo Panshin e De Zeeuw (1980), as contrações, no sentido tangencial, podem ser até duas vezes maior do que na direção dos raios. A razão básica desse efeito anisotrópico é a estrutura anatômica (Panshin e De Zeeuw, 1980; Tsoumis, 1991), principalmente, pela estrutura da parede celular e, também, pela presença de raios, que dificultam a variação no sentido radial.

A razão entre as contrações tangencial e radial (relação T/R) é comumente chamada de fator de anisotropia e, geralmente, varia de 1,5 a 2,5 (Stamm, 1964). Este índice é muito importante no estudo das contrações, pois, quanto maior é essa relação, maior é a tendência ao fendilhamento e empenamento da madeira (Lima, 1996).

De acordo com o IPT (1956) os coeficientes de contração das espécies do gênero *Eucalyptus* variam de 3,5 a 8,6% na direção radial, e de 7,8 a 21,9%, na direção tangencial, enquanto que a contração volumétrica atinge valores entre 13,2 a 35,7%. Nota-se, portanto, que nos eucaliptos há muita variação quanto às contrações e, de modo geral, que elas são de grande magnitude.

Lelles e Silva (1997) ressaltam que, na prática, não existem madeiras totalmente estáveis, mas sim madeiras com boa e até excelente estabilidade. Quanto mais próximos forem os valores absolutos das contrações lineares, nos sentidos tangencial e radial, menores serão as tensões geradas pela diferença entre os dois planos. Um bom conhecimento dessas relações constitui a base para se definir a viabilidade ou não do uso de uma determinada madeira, em aplicações, cuja falta de estabilidade dimensional constitui um fator limitante.

Silveira (1999) indica a possibilidade de selecionar madeiras mais estáveis dimensionalmente. A seleção de genótipos, que possuem uma maior estabilidade dimensional, pode proporcionar uma madeira com qualidade adequada, para seu uso em diversos segmentos industriais.

Como requisitos, para a produção de uma madeira ou de um material “sólido” de madeira, livre do inconveniente, que representa a instabilidade dimensional, deve-se ter não somente a noção de sua existência, mas também o conhecimento de sua causa, de suas variações, de como quantificá-la seguramente e de como minimizá-la, quando possível (Assis, 1999), seja através de um programa de melhoramento genético ou de cuidados durante a secagem da madeira.

### **2.3.3 Propriedades Mecânicas da Madeira**

Segundo Tsoumis (1991), as propriedades mecânicas da madeira são medidas de sua resistência à ação de forças externas, as quais tendem a deformá-la. Essas propriedades são fundamentais para o uso da madeira como material de construção, principalmente, no atendimento das exigências relativas aos esforços na sua utilização estrutural. Lima (1999) considera, ainda, essas propriedades de grande importância para a definição de outros usos, como na fabricação de móveis, carros e implementos.

O termo resistência, é freqüentemente usado para se referir a todas as propriedades mecânicas. Porém, não é recomendado se referir dessa maneira, visto que há diversos tipos de propriedades de resistência e elástica. Como os valores característicos são diferentes entre si e entre as diversas espécies, não se deve afirmar que uma madeira é mais resistente do que a outra, sem especificar o tipo de resistência está sendo discutida (Haygreen e Bowyer, 1982).

De acordo com Haygreen e Bowyer (1982), as propriedades mecânicas da madeira podem ser agrupadas em propriedades de resistência e propriedades elásticas. As propriedades relacionadas à resistência da madeira são: resistência à flexão (também denominada módulo de ruptura), resistência à compressão (ou tração) paralela às fibras, resistência à compressão (ou tração) perpendicular as

fibras, cisalhamento, dureza, resiliência, entre outras, enquanto que aquelas relacionadas com a elasticidade da madeira são: o módulo de elasticidade à flexão e o módulo de elasticidade à compressão paralela às fibras (Young's modulus).

Alguns valores encontrados na literatura, para as diferentes propriedades mecânicas, para algumas espécies de *Eucalyptus*, podem ser vistos na Tabela 1.

TABELA 1. Propriedades mecânicas da madeira de *Eucalyptus*, encontradas na literatura.

Espécie	Propriedades Mecânicas (MPa)*				Referência
	C	E <sub>c</sub>	MDR	E <sub>f</sub>	
<i>E. citriodora</i>	49.0	-	96.0	12.511	Oliveira (1997)
<i>E. tereticornis</i>	42.0	-	79.0	11.104	Oliveira (1997)
<i>E. paniculata</i>	49.0	-	95.0	12.485	Oliveira (1997)
<i>E. pilularis</i>	36.0	-	67.0	9.968	Oliveira (1997)
<i>E. cloeziana</i>	46.0	-	90.0	12.017	Oliveira (1997)
<i>E. urophylla</i>	34.0	-	60.0	9.398	Oliveira (1997)
<i>E. grandis</i>	30.0	-	52.0	8.584	Oliveira (1997)
Clones de <i>Eucalyptus</i>	52.4	-	90.0	9950.0	Lima (1999)

C: resistência à compressão paralela às fibras, E<sub>c</sub>: módulo de elasticidade à compressão paralela às fibras, MDR: módulo de ruptura e E<sub>f</sub>: módulo de elasticidade à flexão estática.

As propriedades mecânicas variam com a estrutura anatômica, composição química e umidade da madeira (Rocha, 1994), entre outras. De acordo com Burger e Richter (1991), os vasos, devido a suas grandes dimensões e as suas paredes delgadas, são estruturas fracas. Dessa maneira, sua abundância, dimensão e distribuição influem na resistência mecânica da madeira. O lenho, com porosidade em anel (poros grandes acumulados no início do período vegetativo), é menos resistente a determinados esforços mecânicos do que o lenho com porosidade difusa (poros distribuídos uniformemente ao longo do

anel de crescimento). Além disso, o parênquima axial é um tecido fraco, cuja abundância e distribuição, principalmente, quando se apresenta formando amplas faixas contínuas, pode ocasionar um considerável decréscimo nas propriedades mecânicas da madeira.

Panshin e De Zeeuw (1964) ressaltam que a capacidade da madeira, em resistir a um determinado esforço, não concerne apenas à quantidade total do material presente na parede celular, mas também às proporções dos componentes da parede celular existentes em uma dada amostra de madeira, e ainda, da quantidade de extrativos no lúmen das células. Esses autores consideram que os extrativos contribuem para algumas propriedades da madeira, devido à sua presença estar diretamente relacionada com a permeabilidade, densidade, dureza e resistência à compressão. O USFPL (1974) verificou um pequeno acréscimo no módulo de ruptura à flexão estática e na resistência à compressão paralela às fibras em algumas amostras que continham mais extrativos.

A umidade também afeta as propriedades mecânicas, quando mudanças, no seu teor, ocorrem abaixo do ponto de saturação das fibras (Tsoumis, 1991). Quando a umidade diminui, a resistência e as propriedades da madeira aumentam. Esse aumento ocorre já que as paredes celulares se tornam mais compactas, pois as microfibrilas ficam mais intimamente ligadas e as forças de atração entre as moléculas de celulose se tornam mais fortes.

A magnitude da influência da umidade é diferente nas diversas propriedades. Lima (1983) verificou que a compressão paralela às fibras, cisalhamento paralelo às fibras, módulo de elasticidade à flexão estática, a tensão no limite de proporcionalidade à flexão estática e o trabalho até o limite de proporcionalidade relacionaram-se, exponencialmente, com o teor de umidade, aumentando os valores das propriedades com o decréscimo na umidade.

Dentre outras propriedades da madeira, a densidade é considerada o melhor e mais simples indicador da sua resistência. De modo geral, quando a densidade aumenta, a resistência também aumenta. Entretanto, essa relação pode variar entre as diferentes propriedades e espécies, devido às diferenças na composição celular e no teor de extrativos (Tsoumis, 1991). Por essa razão, a densidade não deve ser uma medida das propriedades mecânicas, mas apenas funcionar como um indicativo da resistência de uma madeira.

Lima (1999) concluiu que a densidade é um bom preditor da resistência à compressão paralela às fibras, módulo de ruptura e módulo de elasticidade à compressão paralela às fibras. E ainda, que sua influência é mais forte nas propriedades de resistência do que nas propriedades elásticas.

Há diversos outros fatores, que afetam as propriedades mecânicas da madeira, dos quais podem ser citados a temperatura, defeitos na madeira, velocidade e tempo de duração da carga (Tsoumis, 1991), ângulo da grã e ataques de organismos xilófagos (Lima, 1983).

## 3 MATERIAL E MÉTODOS

### 3.1 Material Genético

Para a realização do presente estudo, utilizou-se 10 clones híbridos naturais, do gênero *Eucalyptus*, aos 9 anos de idade. Tais clones foram provenientes de testes instalados pela Companhia Mineira de Metais (CMM – AGRO), em 1988, para selecionar materiais genéticos mais produtivos e adaptados às diferentes condições edafoclimáticas da região.

As estacas que deram origem aos clones em questão, foram obtidas de árvores superiores, de plantios comerciais da CMM, cultivadas a partir de sementes provenientes da Austrália, as quais não possuíram controle de polinização. Sendo assim, detectou-se apenas duas das espécies paternas, o *Eucalyptus camaldulensis* e o *Eucalyptus urophylla*.

O critério de seleção desses clones foram: volume de madeira para a produção de carvão vegetal, forma do fuste, ausência de bifurcação e boas condições fitossanitárias.

### 3.2 Local de Experimentação

O experimento foi instalado na fazenda Bom Sucesso, propriedade da Companhia Mineira de Metais (CMM – AGRO), pertencente ao grupo Votorantim. A fazenda Bom Sucesso está localizada no município de Vazante – MG. A latitude é de, aproximadamente, 17°36' Sul e a longitude 46°42' Oeste de Greenwich, a uma altitude de 550 m. O clima da área é do tipo Aw, tropical úmido, de savana, com inverno seco e verão chuvoso, segundo a classificação climática de Köppen. Apresenta uma temperatura média anual de 24° C e precipitação média anual de 1450 mm.

### **3.3 Delineamento Experimental**

#### **3.3.1 Características de crescimento**

Para a coleta dos dados referentes às características de crescimento, o delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado (DIC), com 10 repetições (ramets) e 10 tratamentos (clones). O espaçamento adotado no plantio foi 3 x 3 m.

#### **3.3.2 Qualidade da madeira**

O esquema experimental utilizado foi de parcelas subdivididas, considerando como parcelas, os 10 tratamentos (clones) com 5 repetições (ramets) e, como subparcelas, 3 toras retiradas ao longo do tronco das árvores (ramets), conforme esquematizado na Figura 1.

### **3.4 Coleta dos Dados**

Os experimentos foram avaliados em 1997, portanto aos 9 anos e idade.

#### **3.4.1 Características de crescimento**

Para a determinação do diâmetro, à altura do peito (DAP) das árvores, em centímetros, mensurou-se com uma fita diamétrica, os dez indivíduos selecionados dentro de cada tratamento (clone). O DAP médio para cada tratamento foi obtido a partir da média das dez repetições.

As alturas totais, em metros, foram determinadas com o auxílio do hipsômetro SUUNTO. A altura média para cada tratamento foi calculada a partir da média aritmética das alturas totais.

O volume individual (VI), em metros cúbicos, foi calculado utilizando-se a altura total, o DAP e o fator de forma de cada clone, obtido a partir da cubagem rigorosa de 5 árvores de cada clone, pelo método de Smalian. O

volume médio para cada tratamento foi obtido pela média aritmética dos volumes individuais.

### **3.4.2 Qualidade da madeira**

Para o estudo das características de qualidade da madeira foram estipuladas três diferentes posições ao longo do tronco. A primeira posição correspondeu à tora número 1, que media da base (0,30 cm do solo) até os 3 primeiros metros. A segunda posição correspondeu à tora número 2, retirada entre 3,30 e 6,30 m de altura e a terceira posição correspondeu à tora número 3, retirada entre 6,30 e 9,30 m de altura.

Padronizou-se a altura final em 9 metros, pois esta é a altura comercial e de poda adotada, para árvores destinadas à produção de madeira serrada pela CMM - Agro.

Portanto, foram obtidas 3 toras de cada árvore. De cada tora produzida foi retirada uma prancha diametral de 10 cm de espessura. As tábuas diametraes obtidas foram subdivididas em duas partes, que foram aplainadas e divididas em sarrafos, com as dimensões de 6,5 x 6,5 x 130,0 cm, os quais foram responsáveis pela produção das amostras destinadas à realização dos ensaios, para a determinação da densidade básica, da retratibilidade da madeira e de suas propriedades mecânicas. O esquema de amostragem pode ser visto na Figura 1.

As amostras foram conduzidas ao Laboratório de Usinagem da Madeira da UFLA, onde retiraram-se os corpos-de-prova necessários à execução dos ensaios.



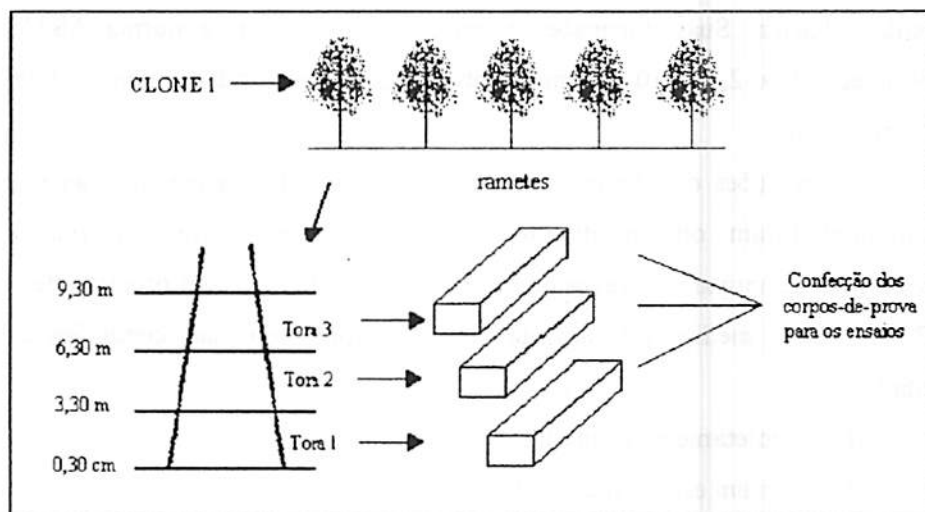


FIGURA 1. Amostragem dos 10 clones de *Eucalyptus* spp. aos 9 anos de idade.

#### 3.4.2.1 Densidade básica da madeira


Para a determinação da densidade básica da madeira (DB), utilizou-se corpo-de-prova com as dimensões de 2,5 x 2,5 x 10 cm. Os corpos-de-prova, após preparados, foram colocados em água e mantidos sob vácuo, em dissecadores, até atingirem completa saturação.

O método utilizado para determinar a densidade básica (peso seco/volume saturado) foi de acordo com Vital (1984).

O volume ( $\text{cm}^3$ ) foi determinado pela imersão em água e o peso seco (g) foi obtido, após as amostras terem sido secas, em uma estufa de circulação de ar, ajustada à temperatura de  $103 \pm 2^\circ\text{C}$ , por um período de 24 horas, utilizando-se uma balança digital, com precisão de uma casa decimal.

#### 3.4.2.2 Retratibilidade da madeira

Os corpos-de-prova, para a determinação das contrações tangencial, radial e volumétrica foram os mesmos utilizados para a determinação da



densidade básica. Suas dimensões foram, de acordo com a norma ASTM (1997), de 2,5 x 2,5 x 10 cm, nos sentidos tangencial, radial e longitudinal respectivamente.

As medições das dimensões lineares, nos sentidos tangencial, radial e longitudinal foram obtidas diretamente nos corpos-de-prova, em pontos previamente demarcados, através de um paquímetro digital, com precisão de  $\pm 0,02$  mm. Essas medições foram obtidas nos corpos, sob duas condições de umidade:

- a) completamente saturados;
- b) secos em estufa, até 0% de umidade.

Os volumes saturados dos corpos-de-prova foram determinados pelo método de imersão, baseado na variação do peso do líquido. Esse método baseia-se no princípio de Arquimedes, onde a perda aparente de peso de um corpo imerso em um líquido é igual ao produto de seu volume pela densidade do líquido. Admitindo-se para a água uma densidade igual a  $1,0 \text{ g/cm}^3$ , concluiu-se que a diferença de peso, indicada na balança, corresponde ao volume da amostra. Neste estudo, o volume saturado ou verde foi obtido pela variação do peso, ocasionada pela imersão da amostra em água. Os volumes dos corpos-de-prova, após secagem, também foram calculados por esse método, porém, o líquido utilizado foi o mercúrio. A utilização do mercúrio tem a vantagem de não ser absorvido pela madeira, o que proporciona um resultado mais confiável. Durante a sua utilização, teve-se o cuidado de monitorar, constantemente, sua temperatura, corrigindo o seu peso específico.

A contração total nos três planos estruturais e a volumétrica da madeira foi calculada como porcentagem da variação em relação à dimensão inicial, conforme demonstração por Galvão e Jankowsky (1985), a seguir:

$$\text{Contração Tangencial} = CT = \left( \frac{T_I - T_F}{T_I} \right) \times 100$$

onde:

$T_I$ : dimensão inicial no plano tangencial;

$T_F$ : dimensão final no plano tangencial.

$$\text{Contração Radial} = CR = \left( \frac{R_I - R_F}{R_I} \right) \times 100$$

onde:

$R_I$ : dimensão inicial no plano radial;

$R_F$ : dimensão final no plano radial.

$$\text{Contração Volumétrica} = CV = \left( \frac{V_I - V_F}{V_I} \right) \times 100$$

onde:

$V_I$ : volume inicial, na condição de saturação;

$V_F$ : volume final, da amostra totalmente seca.

### 3.4.2.3 Propriedades mecânicas

Os testes mecânicos realizados nesse estudo foram de flexão estática e de compressão paralela às fibras.

Com o teste de flexão estática determinou-se o módulo de ruptura (MDR), em Mega Pascal e o módulo de elasticidade ( $E_D$ ), também em Mega Pascal.

Com o teste de compressão paralela às fibras foi possível determinar a resistência à compressão (C), em Mega Pascal, e o módulo de elasticidade ( $E_C$ ), em Mega Pascal. Os testes foram realizados de acordo com as normas da ASTM

(1997), seguindo a padronização da norma D 143-94 (Standard Methods of Testing Small Clear Specimens of Timber). As condições do teste encontram-se resumidas na Tabela 2.

As amostras foram testadas numa umidade de, aproximadamente, 12%. Para obter essa condição, o material foi colocado em uma sala de climatização, sob temperatura ( $20 \pm 3^\circ\text{C}$ ) e umidade relativa(60 %) controladas, até o peso se tornar constante. A condição de umidade a 12% era verificada para todas as amostras antes do teste, através da relação entre o seu peso antes do teste (peso inicial) e o seu peso seco em estufa a  $103 \pm 2^\circ\text{C}$ , após o teste, por cerca de 24 horas (peso final).

TABELA 2. Resumo das condições dos ensaios (D 143 – 94, ASTM, 1997).

Ensaio	Tamanho da Amostra (mm)	Velocidade do Ensaio	Propriedade
Flexão Estática	410 x 25 x 25	1,3 mm/min	- módulo de ruptura (MDR) - módulo de elasticidade ( $E_F$ )
Compressão Paralela às Fibras	200 x 50 x 50	0,566 mm/min	- resistência à compressão paralela às fibras (C) - módulo de elasticidade ( $E_C$ )

### 3.5 Análises Estatísticas

As análises de variância, tanto para as características de crescimento, quanto para as de qualidade da madeira, assim como os testes de média, foram realizadas utilizando-se o software SUPERANOVA - para computadores Apple-Macintosh.

### 3.5.1 Características de crescimento

A análise de variância para as características de crescimento (DAP e volume individual) seguiu o delineamento inteiramente casualizado, conforme o seguinte modelo estatístico:

$$Y_{ij} = \mu + C_i + \epsilon_{ij}$$

em que:

$Y_{ij}$ : observação do  $i$ -ésimo clone na repetição  $j$ ;

$\mu$ : média geral;

$C_i$ : efeito do  $i$ -ésimo clone ( $i = 1, 2, \dots, 10$ ), efeito fixo;

$\epsilon_{ij}$ : erro experimental associado à observação  $Y_{ij}$ .

A estrutura de análise dos dados é apresentada na Tabela 3.

TABELA 3. Estrutura da análise de variância para as características de crescimento.

Fonte de Variância	Grau de Liberdade	E(Q.M.)	Q.M.	F
Clone	$(c - 1)$	$\delta_c^2 + r \phi_c^2$	$Q_1$	$Q_1 \div Q_2$
Erro	$(c - 1)r$	$\delta_c^2$	$Q_2$	

Pela esperança dos quadrados médios da análise de variância, foram estimados os seguintes parâmetros genéticos, fenotípicos e ambientais, conforme Cruz (1997).

a) Variância Fenotípica

$$\hat{\sigma}_f^2 = \frac{\text{Quadrado Médio do Clone (} Q_1 \text{)}}{\text{repetição (} r \text{)}}$$

b) **Variância Ambiental**

$$\hat{\sigma}_c^2 = Q_2$$

c) **Componente Quadrático Genotípico**

$$\phi_c^2 = \frac{Q_1 - Q_2}{r}$$

d) **Coefficiente de Determinação Genotípica**

$$h_c^2(\%) = \frac{\phi_c^2}{\hat{\sigma}_F^2} \times 100$$

e) **Coefficiente de Variação Genético**

$$CV_c\% = \frac{\sqrt{\phi_c^2}}{\text{média}} \times 100$$

f) **Coefficiente de Variação Fenotípico**

$$CV_F\% = \frac{\sqrt{\hat{\sigma}_F^2}}{\text{média}} \times 100$$

g) **Coefficiente de Variação Experimental**

$$CV_e\% = \frac{\sqrt{Q_2}}{\text{média}} \times 100$$

h) **Índice de Variação**

$$I_v = \text{Razão } CV_c / CV_e = \sqrt{\frac{\phi_c^2}{Q_2}}$$

i) **Ganho Esperado com a Seleção**

$$\text{Ganho (\%)} = \text{Diferencial de seleção} \times h_c^2 \times 100$$

### 3.5.2 Qualidade da madeira

As características avaliadas, procurando qualificar os clones estudados quanto às propriedades da sua madeira, foram:

- Densidade Básica (DB);
- Retratibilidade: Contrações lineares – contração tangencial total (CT) e contração radial total (CR); Contração Volumétrica Total (CV);
- Propriedades Mecânicas: Resistência à compressão paralela às fibras (C); Módulo de elasticidade à compressão paralela às fibras ( $E_C$ ); Módulo de ruptura (MDR); Módulo de elasticidade à flexão estática ( $E_F$ ).

A análise de variância, para essas características, seguiu o esquema de parcelas subdivididas, conforme o modelo estatístico abaixo:

$$Y_{ijk} = \mu + C_i + e_{ij} + T_k + CT_{ik} + e_{ijk}$$

em que:

$Y_{ijk}$ : observação do clone  $i$ , na tora  $k$ , na repetição  $j$ ;

$\mu$ : média geral;

$C_i$ : efeito do  $i$ -ésimo clone ( $i = 1, 2, \dots, 10$ ), efeito aleatório;

$e_{ij}$ : erro a;

$T_k$ : efeito da  $k$ -ésima tora ( $k = 1, 2, 3$ ), efeito fixo;

$CT_{ik}$ : efeito da interação do  $i$ -ésimo clone com a  $k$ -ésima tora;

$e_{ijk}$ : erro b (erro experimental).

O esquema da análise de variância, seguindo esse modelo estatístico, é apresentado na Tabela 4.

TABELA 4. Estrutura da análise de variância para as características de qualidade da madeira.

Fonte de Variação	GL	E(Q.M.)	Q.M.	F
Clone (C)	(c - 1)	$\sigma_c^2 + r\sigma_c^2 + t\sigma_a^2$	Q <sub>1</sub>	Q <sub>1</sub> ÷ Q <sub>2</sub>
erro a	(c-1)r	$\sigma_c^2 + t\sigma_a^2$	Q <sub>2</sub>	
Tora (T)	(t - 1)	$\sigma_e^2 + r\sigma_{CT}^2 + cr\phi_T$	Q <sub>3</sub>	Q <sub>3</sub> ÷ Q <sub>4</sub>
C x T	(c-1)(t-1)	$\sigma_e^2 + r\sigma_{CT}^2$	Q <sub>4</sub>	Q <sub>4</sub> ÷ Q <sub>5</sub>
erro b		$\sigma_e^2$	Q <sub>5</sub>	

c: número de clones

r: número de repetições

t: número de toras (média ponderada)

Pela esperança dos quadrados médios, da análise de variância, estimou-se os seguintes parâmetros genéticos, fenotípicos e ambientais:

a) Variância Fenotípica

$$\hat{\sigma}_r^2 = \frac{\text{Quadrado Médio do Clone (Q}_1\text{)}}{\text{repetição x tora (rt)}}$$

b) Variância Genotípica

$$\hat{\sigma}_c^2 = \frac{\text{Quadrado Médio do Clone} - \text{Quadrado Médio erro a}}{\text{repetição x tora (rt)}}$$

c) Variância Ambiental

$$\hat{\sigma}_{ca}^2 = Q_2$$

$$\hat{\sigma}_{cb}^2 = Q_4$$



d) Coeficiente de Herdabilidade

$$h_c^2(\%) = \frac{\hat{\sigma}_c^2}{\hat{\sigma}_r^2} \times 100$$

e) Coeficiente de Variação Genético

$$CV_c\% = \frac{\sqrt{\hat{\sigma}_c^2}}{\text{média}} \times 100$$

f) Coeficiente de Variação Fenotípico

$$CV_r\% = \frac{\sqrt{\hat{\sigma}_r^2}}{\text{média}} \times 100$$

g) Coeficiente de Variação Ambiental

$$CV_{ea}\% = \frac{\sqrt{Q_2}}{\text{média}} \times 100$$

$$CV_{eb}\% = \frac{\sqrt{Q_5}}{\text{média}} \times 100$$

h) Índice de Variância

$$IV = \text{Razão } CV_c / CV_e = \sqrt{\frac{\sigma_c^2}{Q_5}}$$

i) Ganho esperado com a seleção

$$G\% = (\text{diferencial de seleção}) \times h_c^2 \times 100$$

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 5 apresenta os resultados médios obtidos para cada característica estudada e para os clones avaliados.

TABELA 5. Resultados médios obtidos para as características avaliadas e clones de *Eucalyptus*, aos 9 anos de idade.

Clones	Características avaliadas*									
	DAP (cm)	VI (m <sup>3</sup> )	DB (g/cm <sup>3</sup> )	CR (%)	CT (%)	CV (%)	C (MPa)	E <sub>c</sub> (MPa)	MDR (MPa)	E <sub>f</sub> (MPa)
1	19,2	0,4188	0,474	5,54	9,40	14,61	48,62	7921	89,1	15491
2	23,3	0,5751	0,473	4,70	7,81	11,59	54,02	7436	93,4	15991
3	16,8	0,2763	0,591	7,15	13,66	20,03	54,07	8421	115,5	19324
4	23,9	0,5158	0,518	5,22	9,34	14,47	49,71	8027	115,9	18497
5	28,3	0,9001	0,582	4,68	7,97	12,99	60,67	10367	94,6	17016
6	24,4	0,6213	0,567	5,43	9,14	13,51	60,03	11943	112,2	19947
7	22,4	0,5782	0,504	4,58	8,18	12,36	52,43	8510	103,0	18723
8	29,2	0,9148	0,532	5,93	9,30	13,53	55,35	10913	97,4	15775
9	28,2	0,8757	0,515	5,14	8,46	12,23	59,26	11083	**	**
10	22,5	0,5363	0,447	4,77	8,22	12,28	50,60	6978	**	**
Média	24,0	0,6213	0,519	5,28	9,09	13,68	54,50	9159	102,6	17582

\*: Legendas descritas no item 3; \*\*: clones não avaliados.

### 4.1 Características de Crescimento

As características associadas ao crescimento, como o diâmetro à altura do peito (DAP) e volume individual de madeira são de grande importância num programa de melhoramento, uma vez que respondem pela produção de um povoamento florestal. No caso do DAP, dependendo de suas dimensões, ele é ainda responsável pela maximização da operação de desdobro das toras, permitindo uma maior diversificação no uso da madeira.

Na Tabela 6 são apresentados os resultados das análises de variância para diâmetro à altura do peito (DAP) e volume individual (VI), bem como as estimativas dos parâmetros genéticos e fenotípicos.

TABELA 6. Resumo das análises de variância, apresentando os valores dos quadrados médios para DAP, volume individual (VI), estimativas dos parâmetros genéticos e fenotípicos, para os 10 clones de *Eucalyptus* aos 9 anos de idade.

Fonte de Variação	G.L.	Quadrados Médios	
		DAP (cm)	VI (m <sup>3</sup> )
Clones	9	159,1067** <sup>1</sup>	0,4567**
Resíduo	90	6,1653	0,0172
Média		24,00	0,6213
CV <sub>e</sub> (%)		10,35	21,1100
$\sigma^2_f$		15,91	0,0457
$\sigma^2_e$		6,17	0,0172
$\phi^2_c$		15,29	0,0439
$h^2_c$		0,9613	0,9623
CV <sub>e</sub> (%)		16,2900	33,7400
CV <sub>f</sub> (%)		16,6200	34,4100
CV <sub>f</sub> /CV <sub>e</sub>		1,5739	1,5982
Ganho		4,1300	0,2683
Ganho (%)		17,2200	43,1800

<sup>1</sup>\*\*Significativo a 1% de probabilidade, pelo teste F.

$\sigma^2_f$ : variação fenotípica,  $\sigma^2_e$ : variação ambiental,  $\phi^2_c$ : componente quadrático genotípico,  $h^2_c$ : coeficiente de determinação genotípico, CV<sub>e</sub>: coeficiente de variação genética, CV<sub>f</sub>: coeficiente de variação fenotípica, CV<sub>e</sub>: coeficiente de variação experimental, CV<sub>f</sub>/CV<sub>e</sub>: índice de variação; Ganho(%): ganho genético esperado com a seleção do clone 5.

O coeficiente de variação experimental é uma medida de variabilidade bastante útil, que especifica, com eficiência, a exatidão dos resultados experimentais. No presente trabalho, as estimativas do coeficiente de variação

experimental (CVe) apresentaram valores médios, tanto para o DAP (CVe = 10,35%), quanto o volume individual (CVe = 21,11%). De acordo com a classificação proposta por Garcia (1989), na qual se considera, além da variável estudada, o tipo de experimentação aos quais os dados se referem, os valores encontrados refletem uma boa coleta de dados e alta eficiência do delineamento utilizado.

Para ambas as características avaliadas ocorreram diferenças significativas ( $P \leq 0,01$ ), pelo teste F, conforme pode ser visto na Tabela 6, entre os dez clones avaliados. Esta informação sugere a possibilidade de se obter ganhos genéticos, fazendo a seleção direta tanto para volume individual quanto para DAP.

Os estudos da variabilidade genética, das características de interesse do melhorista, são de extrema importância e são possíveis de serem realizados por meio do conhecimento dos parâmetros genéticos, como as variâncias genotípicas e fenotípicas e o coeficiente de herdabilidade (Kageyama, 1980).

Os parâmetros genéticos e fenotípicos, obtidos a partir das esperanças dos quadrados médios da análise de variância, são apresentados na Tabela 6. O conceito de herdabilidade é um dos mais importantes e mais usados em genética quantitativa, já que ela expressa a proporção da variação que é atribuída a diferenças genéticas entre a indivíduos (Zobel e Talbert, 1984). Neste trabalho, para a características estudadas, DAP e volume individual, os coeficientes de herdabilidade estimados foram, respectivamente, 96,13% e 96,23%. Estes valores indicam um forte controle genético dessas características.

A relação entre os coeficientes de variação genética e fenotípico (CVc/CVe) obtida para DAP e volume individual foram, respectivamente, 1,57 e 1,60. Segundo Vencovsky (1978), esta relação é um importante indicador das possibilidades de sucesso, na obtenção de ganhos genéticos, através da seleção, mostrando que a situação é favorável, quando os valores são maiores que 1,0.

Considerando os valores obtidos, pode-se dizer que tanto DAP quanto o volume individual, apresentam-se de maneira favorável à obtenção de ganhos genéticos com a seleção.

Os ganhos genéticos esperados, com a seleção de clones superiores, podem promover um aumento significativo no diâmetro e volume das árvores melhoradas, proporcionando madeiras de maiores dimensões, o que é desejado do ponto de vista da obtenção de madeira serrada, resultando em maior rendimento operacional, nas fases de desdobro e, por conseqüência, maior retorno econômico.

A Figura 2, mostra que os valores dos clones superiores 5,8 e 9, para o DAP foram, respectivamente, 28,3; 29,2; e 28,2 cm. Por outro lado, os clones 1 e 3 apresentaram valores inferiores, 19,2 e 16,8 cm respectivamente. Para o volume individual, o comportamento dos clones foi semelhante, pois os clones 5, 8 e 9 apresentaram valores superiores, 0,9001; 0,9148 e 0,8757 m<sup>3</sup>, respectivamente, enquanto que os clones 1 e 3 apresentaram valores de 0,4188 e 0,2763 m<sup>3</sup> respectivamente.

A capacidade de predição de ganhos genéticos, a partir de um processo seletivo, é considerada uma das grandes contribuições da genética quantitativa (Paula, 1995). Neste trabalho, para estimar o ganho genético, adotou-se a seleção do clone 5, que além de se apresentar superior para as características de crescimento, também produziu madeira de melhor qualidade conforme será descrito posteriormente. Considerando a seleção do clone 5, o valor estimado do ganho em DAP foi de 4,13 cm, o que representa um valor percentual de 17,22%. Já para o volume individual, o ganho estimado foi de 0,2683 m<sup>3</sup>, o que representa um aumento de 43,18%. Os valores de ganho genético estimados tanto para o DAP quanto para o volume individual, podem ser considerados elevados, apresentando-se mais altos do que os valores encontrados, para as mesmas características, por Silveira (1999). Essas estimativas elevadas são

função das altas herdabilidades encontradas para ambas características, bem como dos altos valores de variação fenotípica da população.

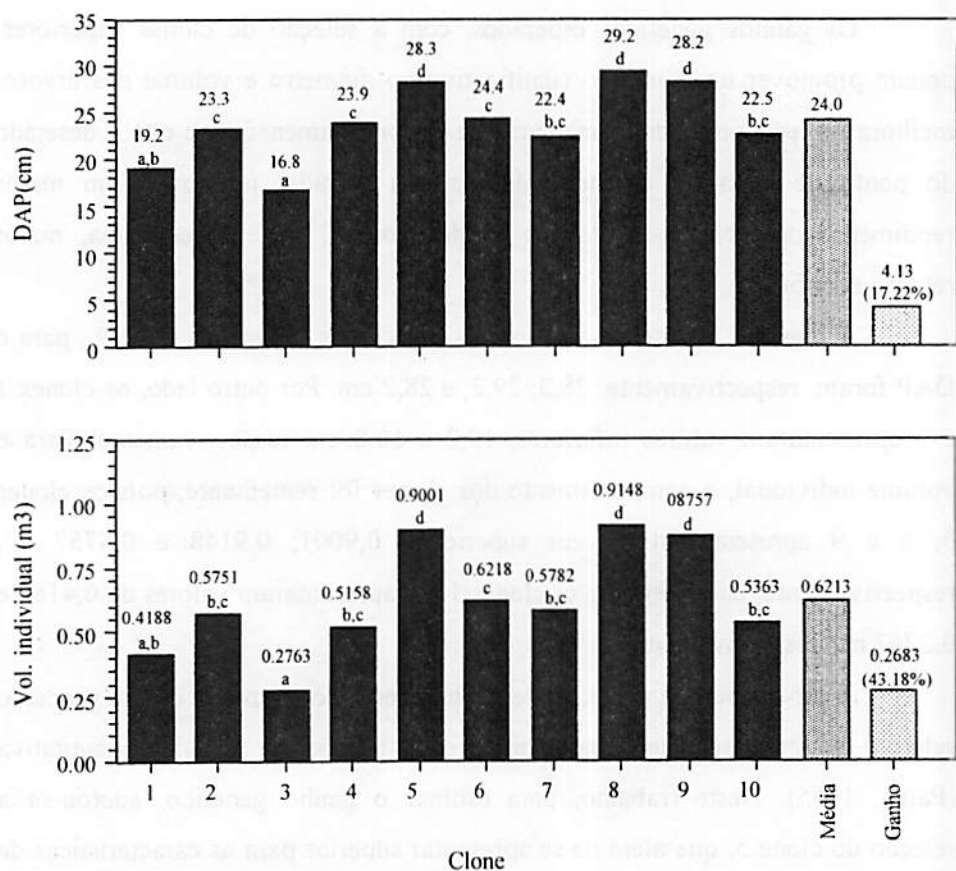


FIGURA 2. Valores médios de DAP (cm) e volume individual (m<sup>3</sup>) de 10 clones de *Eucalyptus*, aos 9 anos de idade. Ganho esperado com a seleção do clone 5. Clones seguidos pela mesma letra, não diferem entre si, pelo teste de Tukey – Kramer ( $p \leq 0,05$ ).

Ressalta-se que os ganhos para DAP e volume individual, foram estimados, respectivamente, em 17,22% e 43,18%, com relação à média dos 10 clones estudados, que foram da ordem de 24,0 cm e 0,6213 m<sup>3</sup>/árvore respectivamente. Se os ganhos fossem estimados com relação à população inicial geradora dos 10 clones, esses seriam ainda maiores.

## 4.2 Qualidade da madeira

### 4.2.1 Densidade básica da madeira

A densidade básica é a característica tecnológica, que mais tem sido estudada e difundida, pois seu valor é de grande importância na interpretação das demais propriedades da madeira. A densidade básica média dos 10 clones em estudo foi de 0,519 g/cm<sup>3</sup>. Este valor foi semelhante aos encontrados por Oliveira (1997), para sete espécies de *Eucalyptus*, cuja densidade básica variou de 0,49 g/cm<sup>3</sup> a 0,73 g/cm<sup>3</sup>.

A Tabela 7 apresenta os resultados das análises de variância para a densidade básica da madeira, assim como as estimativas dos seus parâmetros genéticos e fenotípicos.

A estimativa do coeficiente de variação experimental, foi de 4,31%. Este valor estimado é considerado baixo, de acordo com a classificação de Gomes (1990), o que indica uma boa precisão, na avaliação da densidade básica e um eficiente delineamento estatístico utilizado. Dessa forma, são geradas estimativas mais confiáveis dos parâmetros genéticos e fenotípicos, os quais serão utilizados, para estimar o ganho genético esperado com a seleção.

De acordo com a Tabela 7, verifica-se que ocorreram diferenças significativas entre os 10 clones avaliados, pelo teste F ( $p \leq 0,01$ ). Esse resultado mostra que esse material genético permite o melhoramento para a densidade básica da madeira, podendo-se obter ganhos com a seleção. A Figura 3 mostra a

variação entre os clones, indicados pelo teste de Tukey-Kramer; a 5% de probabilidade, que os clones 3, 5 e 6 apresentaram maiores valores para a densidade básica da madeira.

TABELA 7. Resumo da análise de variância, mostrando os valores dos quadrados médios, para a densidade básica da madeira dos 10 clones de *Eucalyptus*, avaliados aos 9 anos de idade e estimativas dos parâmetros genéticos e fenotípicos.

Fonte de Variação	G.L.	Quadrados Médios DB
Clone (C)	9	0,0327 <sup>1**</sup>
Erro a	40	0,0015
Tora (T)	2	0,0024 <sup>NS</sup>
C x T	18	0,0005 <sup>NS</sup>
Erro b	76	0,0005
Média (g/cm <sup>3</sup> )	0,5190	
CV <sub>ea</sub> (%)	7,4600	
CV <sub>eb</sub> (%)	4,3100	
$\sigma^2_f$	0,0022	
$\sigma^2_c$	0,0021	
$h_c^2$	0,9847	
CV <sub>c</sub> (%)	8,9300	
CV <sub>f</sub> (%)	9,0000	
CV <sub>f</sub> /CV <sub>eb</sub>	2,0720	
Ganho (g/cm <sup>3</sup> )	0,0620	
Ganho (%)	11,9531	

<sup>1\*\*</sup>Significativo a 1% de probabilidade, pelo teste F.

CV<sub>c</sub>: coeficiente de variação experimental,  $\sigma^2_f$ : variação fenotípica,  $\sigma^2_c$ : variação genotípica,  $h_c^2$ : coeficiente de herdabilidade, CV<sub>c</sub>: coeficiente de variação genética; CV<sub>f</sub>/CV<sub>eb</sub>: índice de variação; Ganho: ganho genético esperado com a seleção do clone 5.



Quanto à avaliação da densidade básica, no sentido longitudinal, pode-se observar pela Figura 3 que as toras 1, 2 e 3 não diferiram pelo teste de Tukey - Kramer ( $p \leq 0,05$ ), evidenciando que essa característica não variou ao longo do fuste. Esse resultado foi diferente do encontrado por Oliveira (1997), que detectou diferenças significativas, na densidade básica, ao longo da árvore de algumas espécies de *Eucalyptus*, exceto para o *Eucalyptus citriodora*.

A interação clone x tora não foi significativa, ou seja, a classificação dos clones não foi alterado pela posição no fuste. Isto indica que essa característica pode ser avaliada em qualquer uma das toras para os 10 clones estudados.

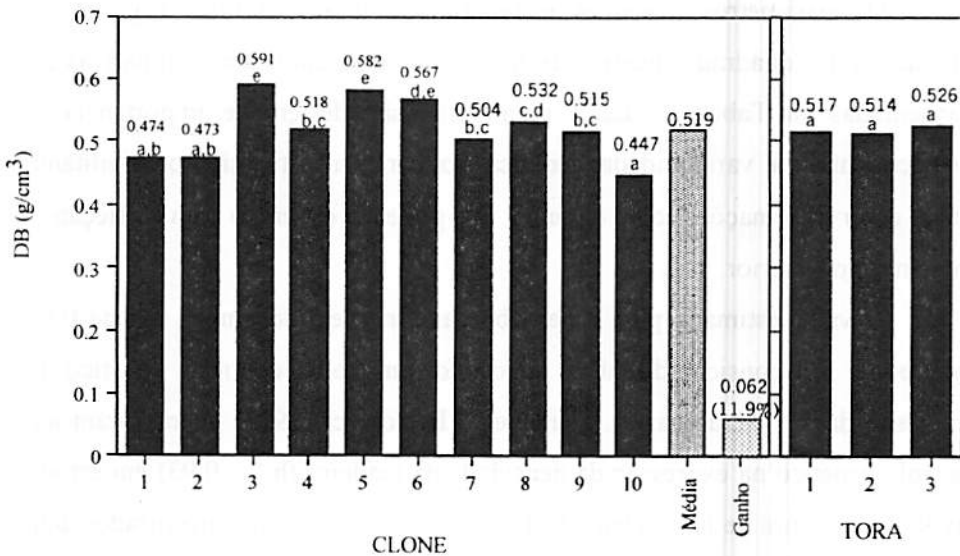


FIGURA 3. Valores médios de densidade básica ( $\text{g}/\text{cm}^3$ ) de 10 clones de *Eucalyptus*, aos 9 anos de idade. Ganho esperado com a seleção do clone 5. Efeito de toras na estimativa da densidade básica. Clones e toras, seguidos pela mesma letra, não diferem entre si, pelo teste de Tukey - Kramer ( $p \leq 0,05$ ).

Zobel e Talbert (1984) consideram a densidade básica da madeira, uma característica ideal, para ser manipulada geneticamente, devido à sua grande variação entre árvores, alta herdabilidade e sua baixa interação entre genótipos e ambientes, além de seus efeitos sobre a produção e qualidade de madeira. Apesar do material genético utilizado neste estudo não ter sido implantado também em outros ambientes, o que não permitiu verificar se há interação genótipo x ambiente, estudos realizados por Lima, Breese e Cahalan (2000), com cinco clones de *Eucalyptus* indicam que apesar da interação genótipo x ambiente da densidade básica ter sido significativa, ela representou menos que 4% da variância total dessa propriedade.

Os parâmetros genéticos e fenotípicos foram obtidos a partir das esperanças dos quadrados médios da análise de variância e suas estimativas são apresentadas na Tabela 7. Esses parâmetros são de grande importância no conhecimento da variabilidade genética do carácter estudado, possibilitando ainda, obter informações sobre o ganho, que pode ser esperado com a seleção de um genótipo superior.

O valor estimado para a herdabilidade, no sentido amplo, foi de 0,98. Este pode ser considerado alto, indicando um forte controle genético na expressão da densidade básica. Demuner e Bertolucci (1993) encontraram alto controle genético na expressão da densidade da madeira ( $h_c^2 = 0,93$ ) em estudo, envolvendo clones de *Eucalyptus*. Valores semelhantes foram encontrados, para a mesma característica, por Silveira (1999), estudando o comportamento de 12 clones de *Eucalyptus*, em diferentes sítios e espaçamentos. Lima (1999) obteve uma herdabilidade de 0,96, quando avaliou 5 clones de *Eucalyptus* em 2 sítios diferentes e na avaliação de 26 clones, em 4 sítios distintos, a herdabilidade estimada caiu para 0,64.

Quando à relação entre o coeficiente de variação genética ( $CV_g$ ) e o coeficiente de variação ambiental ( $CV_a$ ) tende a ser igual ou superior a 1,0, há

um indicativo de ser possível a obtenção de ganhos consideráveis com a seleção (Vencovsky, 1978). De acordo com a estimativa dessa relação, cujo valor obtido foi de 2,04, pode-se inferir na possibilidade de progresso genético. É importante ressaltar que, na seleção para a densidade básica, pode-se desejar tanto o seu aumento quanto a sua diminuição, dependendo do uso final ao qual será destinada a madeira. E ainda, deve-se considerar a relação da densidade com outras características importantes para tal uso, como por exemplo, a retratibilidade e a resistência da madeira.

No presente estudo, a seleção foi feita para um valor mais alto de densidade básica. Este aumento na densidade da madeira, implica em uma maior quantidade de biomassa na floresta, o que é desejado para a produção de carvão vegetal. Além disso, pode resultar na melhoria de algumas propriedades da madeira, com as quais a densidade esteja correlacionada. Para tal, o clone 5 foi selecionado, possibilitando, assim, a estimativa de ganho genético. O clone 3, mesmo apresentando um alto valor de densidade básica, não foi utilizado na estimativa do ganho genético, tendo-se em vista a sua baixa taxa de crescimento (Tópico 4.1), além de outras características desfavoráveis, que serão vistas adiante. O clone 5, por sua vez, apresentou uma taxa de crescimento elevado e boas propriedades em sua madeira, como será descrito posteriormente.

Dessa forma, o ganho estimado com a seleção do clone 5 foi de 0,062 g/cm<sup>3</sup>, o que representa um ganho de 11,95%. Esta estimativa é semelhante às encontradas por Silveira (1999). Portanto, para a densidade básica, é grande a possibilidade de se obter um bom ganho genético, já que esta característica apresentou uma alta herdabilidade e um bom diferencial de seleção.

#### **4.2.2 Retratibilidade da madeira**

A contração tem sido um dos principais problemas relacionados à utilização da madeira serrada. Dessa forma, deve-se avaliar sua magnitude e se possível minimizá-la.

A Tabela 8 apresenta os resultados das análises de variância para as características contração tangencial total, contração radial total e contração volumétrica total, bem como as estimativas de seus parâmetros genéticos e fenotípicos.

Os valores estimados para os coeficientes de variação experimental ( $CV_{eb}$ ), para as contrações totais, podem ser considerados baixos, pois de acordo com o USFPL (1987), baseado em um estudo de 50 espécies de folhosas, os coeficientes de variação, para as contrações lineares e volumétricas, estão em torno de 15%. Portanto, a coleta dos dados e o delineamento experimental utilizado podem ser considerados eficientes, propiciando estimativas confiáveis dos parâmetros genéticos e fenotípicos, os quais serão utilizados, para estimar o ganho genético esperado com a seleção.

A contração radial foi a característica que apresentou maior coeficiente de variação (10,32%), seguida pela volumétrica (8,95%) e tangencial (7,86%), como pode ser visto na Tabela 8. Resultados semelhantes foram observados por Silveira (1999). Os coeficientes de variação experimental estimados para as características avaliadas apresentam valores bem inferiores aos encontrados por Oliveira (1997), estudando sete espécies de *Eucalyptus*.

Para as contrações tangencial, radial e volumétrica, todos os 10 clones apresentaram diferenças significativas pelo teste F ( $p \leq 0,01$ ), como pode ser visto nas Figuras 4, 5 e 6. Esse fato indica a possibilidade de se realizar a seleção dos melhores genótipos, visando a redução da instabilidade dimensional da madeira. Os valores observados para a contração tangencial total foram

TABELA 8. Resumo da análise de variância, mostrando os valores dos quadrados médios, para as contrações tangencial, radial e volumétrica da madeira, dos 10 clones de *Eucalyptus*, avaliados aos 9 anos de idade e estimativas dos parâmetros genéticos e fenotípicos.

Fonte de Variação	G.L.	Quadrados Médios		
		CT	CR	CVT
Clone (C)	9	31,01**	7,29**	64,20** <sup>1</sup>
Erro a	40	0,41	0,36	1,76
Tora (T)	2	22,18*	0,45 <sup>NS</sup>	23,99 <sup>NS</sup>
C x T	18	3,82**	0,66*	7,30**
Erro b	76	0,51	0,28	1,50
Média		9,09	5,28	13,68
CV <sub>ea</sub> (%)		7,04	11,36	9,70
CV <sub>eb</sub> (%)		7,86	10,32	8,95
$\sigma_f^2$		2,07	0,49	4,28
$\sigma_{es}^2$		0,41	0,36	1,76
$\sigma_{eb}^2$		0,51	0,28	1,50
$\sigma_c^2$		2,03	0,47	4,18
$h_c^2$		0,98	0,96	0,98
CV <sub>c</sub> (%)		15,69	12,95	14,95
CV <sub>f</sub> (%)		15,82	13,20	15,12
CV <sub>f</sub> /CV <sub>eb</sub>		1,99	1,25	1,67
Ganho		-1,10	-0,58	-0,67
Ganho (%)		12,12	10,93	4,93

<sup>1</sup>\*\*Significativo a 1% de probabilidade, pelo Teste F.

CV<sub>e</sub>: coeficiente de variação experimental,  $\sigma_f^2$ : variação fenotípica,  $\sigma_c^2$ : variação genotípica,  $h_c^2$ : coeficiente de herdabilidade, CV<sub>c</sub>: coeficiente de variação genética; CV<sub>f</sub>/CV<sub>eb</sub>: índice de variação; Ganho (%): ganho genético esperado com a seleção do clone 5.

semelhantes aos encontrados por Silveira (1999), exceto para o clone 3, cujo valor médio foi de 13,66%. Resultados semelhantes foram obtidos para a contração radial total, onde novamente o clone 3 apresentou maior valor (7,15%). Para a contração volumétrica total os clones apresentaram valores

inferiores aos observados por Silveira (1999), exceto para o clone 3, cujo valor da contração volumétrica, como decorrência das contrações lineares, foi maior (20,03%).

Observando-se as médias das contrações para os 10 clones, verifica-se que, para a contração tangencial, o valor encontrado de 9,09 % foi inferior ao encontrado por Oliveira (1997), para o *Eucalyptus grandis*, considerada a espécie mais promissora para a produção de madeira serrada. No caso da contração radial, a média dos clones avaliados foi 5,28% e, também, foi inferior às médias encontradas para *E. paniculata*, *E. urophylla*, *E. tereticornis*, *E. pilularis*, *E. citriodora* e *E. cloeziana*, por Oliveira (1997). Para a contração volumétrica, a média dos clones, 13,68%, também foi inferior às médias, das espécies citadas acima inclusive o *E. grandis*. Para fins comparativos, com outras espécies produtoras de madeira, tem-se segundo Durlo e Marchiori (1992), os seguintes valores de contração volumétrica total, para madeiras de espécies tradicionais: cedro (15,7%), pinheiro brasileiro (17,6%), *Pinus echinata* (16,7%), peroba rosa (14,0%) e sucupira (22,4%).

Para o melhoramento da qualidade da madeira é desejável um baixo valor de contração. De fato, o ganho esperado pela seleção do clone 5, na Figura 4, representa uma redução de 1,11%, na contração tangencial e não um aumento, sendo esse, equivalente à uma redução de 12,12% em relação à média (9,09%).

Para a contração tangencial, as toras 1, 2 e 3 apresentaram diferenças significativas pelo teste F, ou seja, os valores obtidos para essa característica variou em função da posição ao longo do fuste, como pode ser observado na Figura 4. Esse fato indica a possibilidade de se obter uma tora, que ofereça uma melhor estimativa da contração que ocorre em todo o fuste.

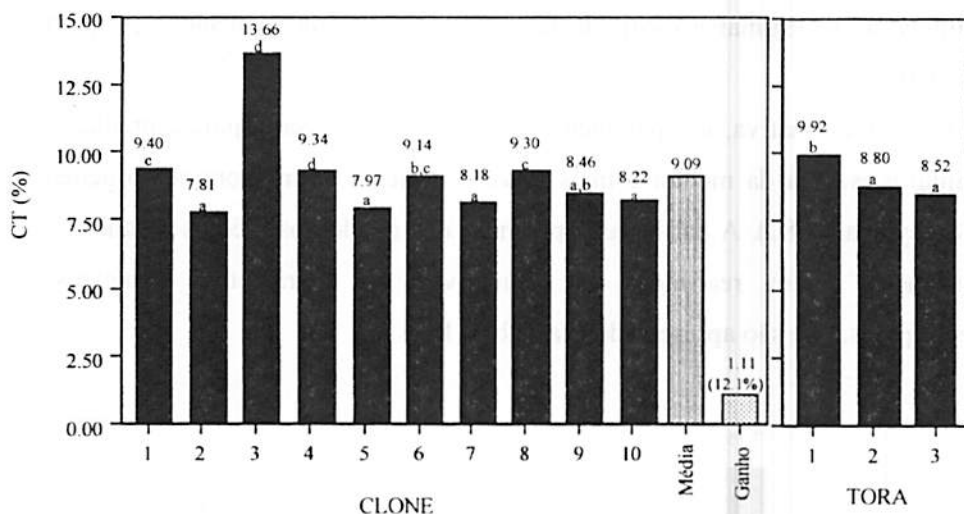


FIGURA 4. Valores médios da contração tangencial (%) de 10 clones de *Eucalyptus*, aos 9 anos de idade. Ganho esperado com a seleção do clone 5. Efeito de toras na estimativa da contração tangencial. Clones e toras, seguidos pela mesma letra, não diferem entre si, pelo teste de Tukey - Kramer ( $p \leq 0,05$ ).

As Figuras 5 e 6 mostram que, ao se avaliar os efeitos das toras nas contrações radial e volumétrica, não houve variação entre as toras 1, 2 e 3, ao contrário do que ocorreu para a contração tangencial. Portanto, para as contrações radial e volumétrica, a amostragem poderia ser feita em qualquer uma das 3 posições. Entretanto, deve-se lembrar que, normalmente, não se determina os diferentes tipos de contração, em diferentes posições na tora, devido à falta de praticidade, aumento dos custos e tempo.

A interação entre clone x tora foi significativa para os três tipos de contrações avaliadas, pelo teste F ( $p \leq 0,01$ ). Isso significa que, apesar de não ter ocorrido diferenças entre as toras, a posição de amostragem alterou o desempenho relativo dos clones, evidenciando assim a necessidade de se ter

cautela, ao se estimar a média do fuste, a partir de dados coletados em pontos específicos.

A estimativa, nos parâmetros genéticos, é necessária para a predição do ganho e escolha da melhor e mais viável estratégia de melhoramento genético (Kageyama, 1980). A partir das esperanças dos quadrados médios da análise de variância, foram realizadas as estimativas dos parâmetros genéticos e fenotípicos, que são apresentados na Tabela 8.

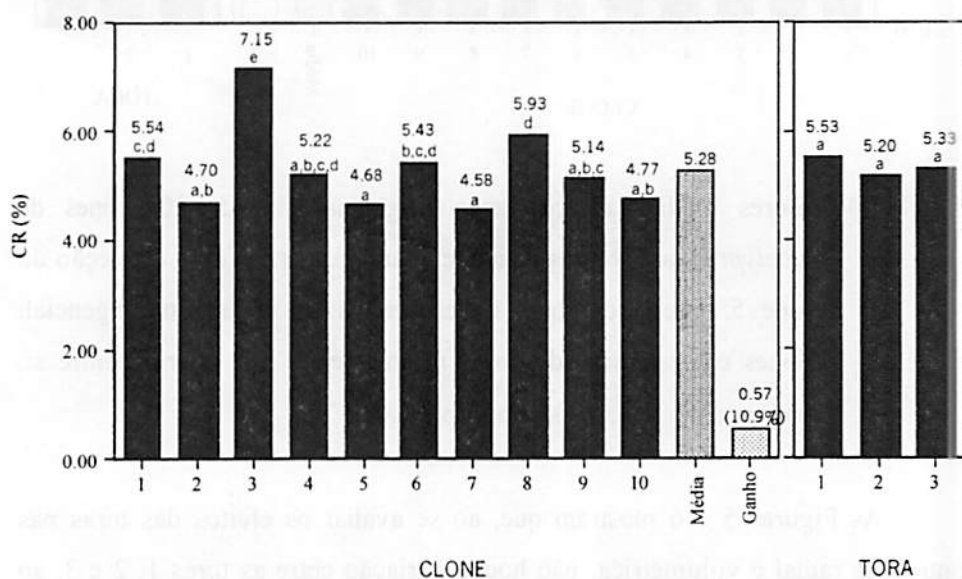


FIGURA 5. Valores médios da contração radial (%) de 10 clones de *Eucalyptus*, aos 9 anos de idade. Ganho esperado com a seleção do clone 5. Efeito de toras na estimativa da contração radial. Clones e toras, seguidos pela mesma letra, não diferem entre si, pelo teste de Tukey - Kramer ( $p \leq 0,05$ ).



Das contrações totais avaliadas, a contração tangencial foi a que apresentou maior coeficiente de variação genética (15,71%), seguida da contração volumétrica (14,91%) e da contração radial (12,87%). Essa mesma ordem foi verificada para a relação  $CV/CV_{eb}$ , e todas essas relações apresentaram valores superiores à unidade, indicando uma situação favorável à obtenção de ganhos genéticos através da seleção, conforme preconizado por Vencovsky (1978).

Como comentado anteriormente, quando se estuda os parâmetros genéticos, a estimativa da herdabilidade de um caráter é de extrema importância, pois ela expressa a confiança do valor fenotípico como guia para o valor genotípico. As herdabilidades estimadas, para todas as contrações da madeira, foram elevadas, sendo 0,96; 0,98 e 0,98 os valores obtidos para as contrações radial, tangencial e volumétrica respectivamente.

Os resultados obtidos estão de acordo com os encontrados por Silveira (1999), que para a contração radial total estimou uma herdabilidade de 0,74, para a contração tangencial total a herdabilidade estimada foi de 0,96 e para a contração volumétrica total esse valor foi de 0,99.

Tais valores indicam que essas características se encontram sob um forte controle genético, possibilitando o aumento da estabilidade dimensional da madeira, através de uma estratégia de seleção adequada.

É notável a possibilidade de melhoramento, que vise reduzir esse inconveniente, que representa a instabilidade dimensional. Em madeiras provenientes de espécies de rápido crescimento, como as do gênero *Eucalyptus*, as contrações tendem a ser excessivas, resultando no aparecimento de defeitos de secagem, como empenamentos e fendilamentos.

De acordo com Jankovsky (1995) as rachaduras associadas às tensões de crescimento e os defeitos, originados durante o processo de secagem, resultam numa perda significativa de madeira. Portanto, se a finalidade é a produção de

madeira serrada, torna-se de extrema importância um programa de melhoramento, que contribua para o aumento de sua estabilidade dimensional, proporcionando um maior rendimento em madeira serrada com possibilidades de maior retorno financeiro.

Assim, de acordo com os resultados obtidos, os clones 2, 4, 5, 7, 9 e 10 foram os que apresentaram menores valores de contração radial total e os clones 2, 5, 7, 9 e 10, os menores valores de contração tangencial total. Para a contração volumétrica total, os clones 2, 5, 7, 9 e 10 apresentaram valores menores, podendo, portanto, serem recomendados, em programas de melhoramento, que visem a diminuição da contração volumétrica.

Dos 10 clones avaliados, o clone 3 foi o que apresentou maior instabilidade dimensional, não devendo ser recomendado para um programa de melhoramento genético, que vise a obtenção de uma madeira de boa qualidade.

Tratando-se da variação dimensional, no plano transversal (tangencial e radial), há um desequilíbrio entre os valores de retratibilidade. Tal desbalanceamento entre as contrações é chamado de coeficiente anisotrópico. Os coeficientes de anisotropia para os 10 clones em estudo se encontram na Figura 7.

O coeficiente anisotrópico é a relação entre a contração tangencial e a radial. Uma situação ideal, porém hipotética, seria aquela na qual as tensões decorrentes da natureza anisotrópica se anulassem. A importância desse índice é que quanto maior for o seu distanciamento da unidade, mais propensa é a madeira em fendilhar e empenar, durante as alterações dimensionais provocadas pela variação higroscópica.

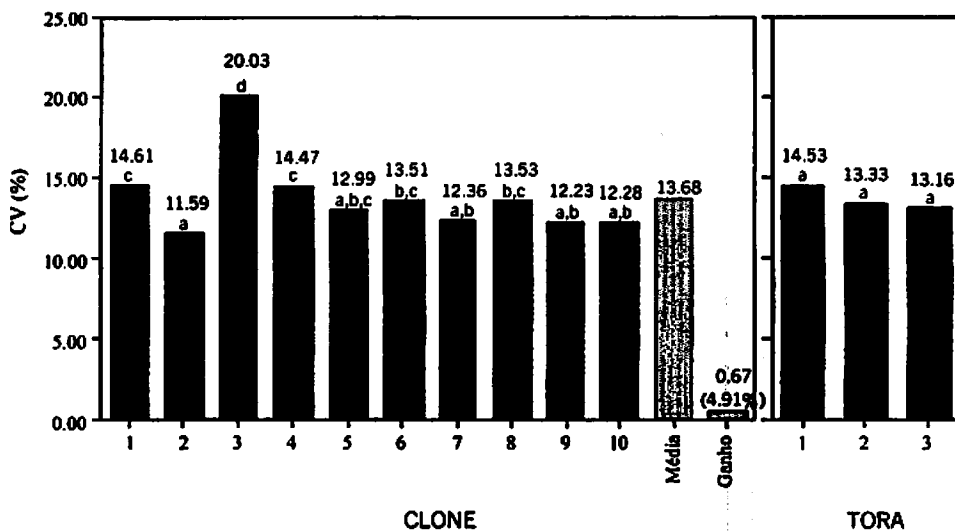


FIGURA 6. Valores médios da contração volumétrica (%) de 10 clones de *Eucalyptus*, aos 9 anos de idade. Ganho esperado com a seleção do clone 5. Efeito de toras na estimativa da contração volumétrica. Clones e toras, seguidos pela mesma letra, não diferem entre si, pelo teste de Tukey - Kramer ( $p \leq 0,05$ ).

Durlo e Marchiori (1992) apresentaram o seguinte critério de classificação da madeira quanto ao coeficiente de anisotropia:

- 1,2 a 1,5: considerado excelente, ocorrendo em madeira de cedro, sucupira, mogno, entre outras;

- 1,5 a 2,0: normal, exemplificados em ipê, *Pinus*, araucária, peroba rosa, teca;

- acima de 2,0: ruim, podendo ocorrer em madeiras como araucária, imbúia, álamo, jatobá.

De acordo com as classes acima mencionadas, a madeira dos clones avaliados no presente estudo, apresentaram um comportamento normal e não diferiram entre si estatisticamente (Figura 7).

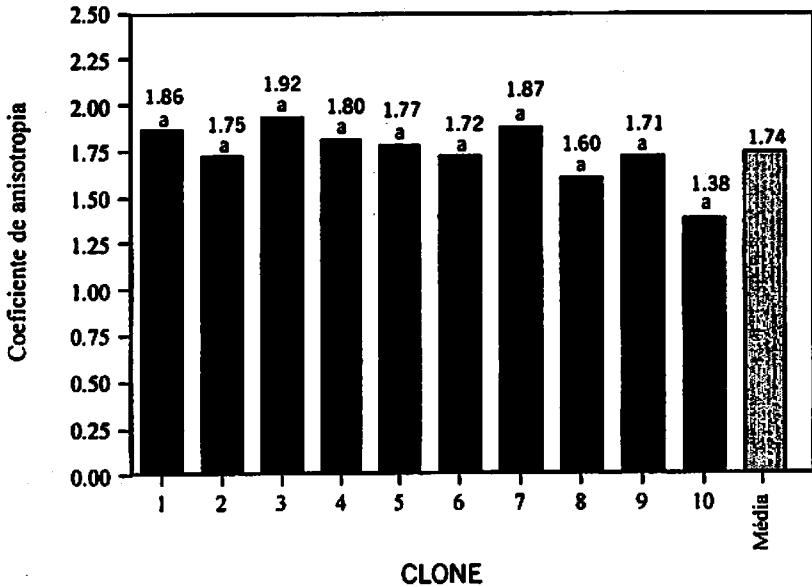


FIGURA 7. Valores médios dos 10 clones de *Eucalyptus*, para a densidade básica ( $\text{g/cm}^3$ ) aos 9 anos de idade. Efeito de toras na estimativa da densidade básica. Clones e toras, seguidos pela mesma letra, não diferem entre si, pelo teste de Tukey – Kramer ( $p < 0,05$ ).

Para a estimativa do ganho genético para a redução das contrações, selecionou-se o clone 5, que, como já foi dito anteriormente, apresentou boas qualidades silviculturais, alta taxa de produção e alta densidade, além de ter sido um dos clones, que apresentaram maior estabilidade dimensional. Os ganhos estimados representaram reduções de 10,93%, 12,12% e 4,93%, nas contrações radial, tangencial e volumétrica respectivamente (Tabela 8). Para o melhoramento da estabilidade dimensional da madeira de *Eucalyptus* é comum

ganhos superiores a 13%, para contração tangencial e 15%, para contrações radial e volumétrica (Silveira, 1999).

#### 4.2.3 Propriedades mecânicas

O valor médio para resistência à compressão paralela às fibras, obtido para os dez clones estudados, foi de 54,50 MPa. Para o módulo de elasticidade, obtido pelo ensaio de compressão paralela às fibras ( $E_c$ ), o valor médio foi de 9.159 MPa. O módulo de ruptura apresentou um valor médio de 102,61 MPa e o módulo de elasticidade, obtido pelo ensaio de flexão estática ( $E_f$ ), apresentou valor de 17.582 MPa. Esses valores estão de acordo com Lima (1999), que obteve as seguintes médias: 54,2 MPa, 9.950 MPa e 90,0 MPa, para resistência à compressão paralela às fibras, módulo de elasticidade ( $E_c$ ) e módulo de ruptura respectivamente.

Os resultados das análises de variância, para resistência à compressão, módulos de elasticidade ( $E_c$  e  $E_f$ ) e módulo de ruptura, assim como as estimativas dos parâmetros genéticos e fenotípicos são apresentados na Tabela 9.

Para resistência à compressão paralela às fibras ( $C$ ), o coeficiente de variação experimental observado foi de 6,64%. Essa taxa é inferior à encontrada por Bendtsen e Ethington (1975), baseada em 23 folhosas da América do Norte ( $CV = 18\%$ ). Lima (1999), observou valores, variando entre 10,6% a 11,8%, estudando 26 clones de *Eucalyptus* em quatro locais distintos. O módulo de elasticidade à compressão ( $E_c$ ) apresentou coeficiente de variação experimental de 12,39%. Embora esse tenha sido superior aos valores observados por Lima (1999), eles são menores do que aqueles encontrados por Bendtsen e Ethington (1975) ( $CV = 22\%$ ).

TABELA 9. Resumo da análise de variância e estimativas dos parâmetros genéticos e fenotípicos, em clones de *Eucalyptus*, aos 9 anos de idade para suas propriedades mecânicas.

FV	GL	Q.M.		GL	Q.M.	
		C	E <sub>c</sub>		MDR	E <sub>F</sub>
Clone (C)	9	239.2895**	3.8918 x 10 <sup>7</sup> **	7	1277.6579**	3,94x10 <sup>7</sup> **
Erro a	40	24.3072	2.5049 x 10 <sup>6</sup>	30	195.1157	2974864,34
Tora (T)	2	125.9125*	5602561,52*	2	354.8027*	1,7327 x 10 <sup>7</sup> ** <sup>1</sup>
C x T	18	14.1821 <sup>NS</sup>	1.6914 x 10 <sup>6</sup> <sup>NS</sup>	14	112.4133 <sup>NS</sup>	2,3363 x 10 <sup>6</sup> <sup>NS</sup>
Erro b	76	13,0767	1.2882 x 10 <sup>6</sup>	51	143.8033	2,7342 x 10 <sup>6</sup>
Média		54.50	9.159,07		102,61	17582,31
CV <sub>ea</sub> (%)		9,05	17,28		13,61	9,81
CV <sub>eb</sub> (%)		6,64	12,39		11,69	9,40
σ <sub>c</sub> <sup>2</sup>		15,08	2.508.653,33		75,79	2.447.186,67
σ <sub>f</sub> <sup>2</sup>		15,95	2.594.533,33		85,18	2.629.466,70
h <sub>c</sub> <sup>2</sup>		0,95	0,97		0,89	0,93
CV <sub>c</sub> (%)		7,13	17,29		8,47	8,90
CV <sub>f</sub> (%)		7,33	17,59		8,99	9,22
CV <sub>e</sub> /CV <sub>f</sub>		1,07	1,40		0,73	0,95
Ganho		5,83	1.168,75		11,42	1.621,85
Ganho (%)		10,70	12,76		11,13	9,22

<sup>1</sup>\*\*Significativo a 1% de probabilidade, pelo teste F.

CV<sub>e</sub>: coeficiente de variação experimental, σ<sub>f</sub><sup>2</sup>: variação fenotípica, σ<sub>c</sub><sup>2</sup>: variância genotípica, h<sub>c</sub><sup>2</sup>: coeficiente de herdabilidade, CV<sub>c</sub>: coeficiente de variação genética; CV<sub>e</sub>/CV<sub>f</sub>: índice de variação; Ganho (%): ganho genético esperado com a seleção do clone 5.

Para o módulo de ruptura (MDR), o valor de coeficiente de variação experimental verificado foi de 11,69%, semelhante aos observados por Lima (1999) e inferiores ao apresentado por Bendtsen e Ethington (1975). O coeficiente de variação experimental, para o módulo de elasticidade à flexão estática (CV = 9,40%), foi inferior ao observado por Oliveira (1997).

Portanto, tais valores de CV experimental, verificados para as características avaliadas, podem ser considerados baixos, o que indica uma boa eficiência do delineamento experimental utilizado e também uma boa coleta de

dados, resultando em estimativas confiáveis dos parâmetros genéticos e fenotípicos.

Pela Tabela 9, verifica-se que, tanto os dez clones avaliados pelo teste de compressão paralela às fibras, quanto os 8 clones avaliados pelo teste de flexão estática apresentaram diferenças significativas. Esse fato permite a seleção, visando uma maior resistência e capacidade elástica em um programa de melhoramento genético.

Da mesma maneira, ocorreram diferenças significativas entre as 3 toras avaliadas, para todas as características mecânicas estudadas, indicando um comportamento diferente dessas propriedades ao longo do fuste das árvores, ou seja: variando a posição de amostragem, os resultados obtidos podem ser alterados. Esses resultados diferem dos obtidos por Lima (1999), onde apenas o módulo de elasticidade ( $E_c$ ) apresentou variações significativas ao longo da árvore. Shukla, Rajput e Lal (1989) também observaram variações longitudinais do módulo de elasticidade à compressão paralela às fibras, para *E. tereticornis* e *E. camaldulensis*.

A interação clone x tora foi não significativa, ou seja, os resultados indicam que a classificação dos clones não é afetada pela posição de amostragem. Desta forma, qualquer um dos clones em estudo pode ser avaliado, para essas quatro propriedades mecânicas, por qualquer uma das três toras.

As Figuras 8, 9, 10 e 11 ilustram essas diferenças para as quatro propriedades em estudo.

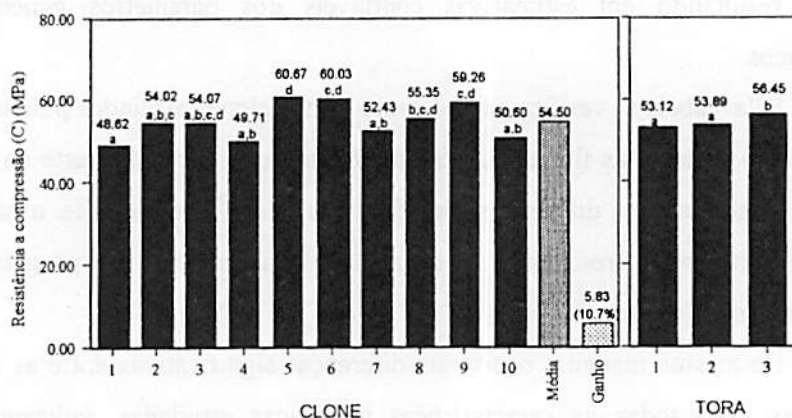


FIGURA 8. Valores médios da resistência à compressão paralela às fibras (MPa), de 10 clones de *Eucalyptus*, aos 9 anos de idade. Ganho esperado com a seleção do clone 5. Efeito de toras na estimativa da resistência à compressão paralela às fibras. Clones e toras, seguidos pela mesma letra, não diferem entre si, pelo teste de Tukey – Kramer ( $p \leq 0,05$ ).

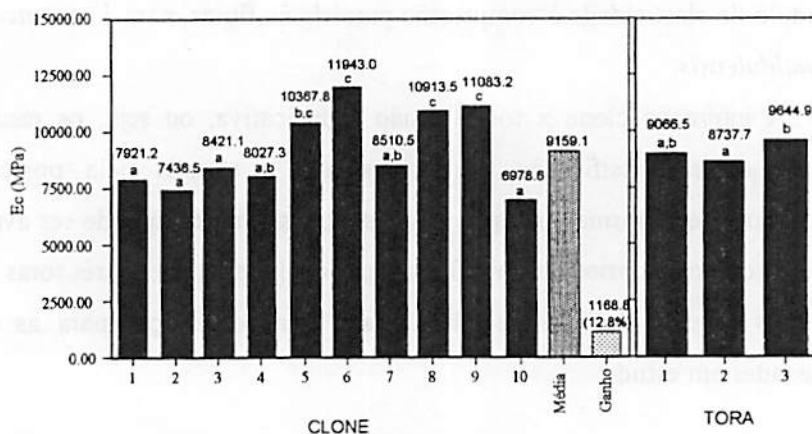


FIGURA 9. Valores médios do módulo de elasticidade à compressão (MPa), de 10 clones de *Eucalyptus*, aos 9 anos de idade. Ganho esperado com a seleção do clone 5. Efeito de toras na estimativa do módulo de elasticidade à compressão. Clones e toras, seguidos pela mesma letra, não diferem entre si, pelo teste de Tukey – Kramer ( $p \leq 0,05$ ).



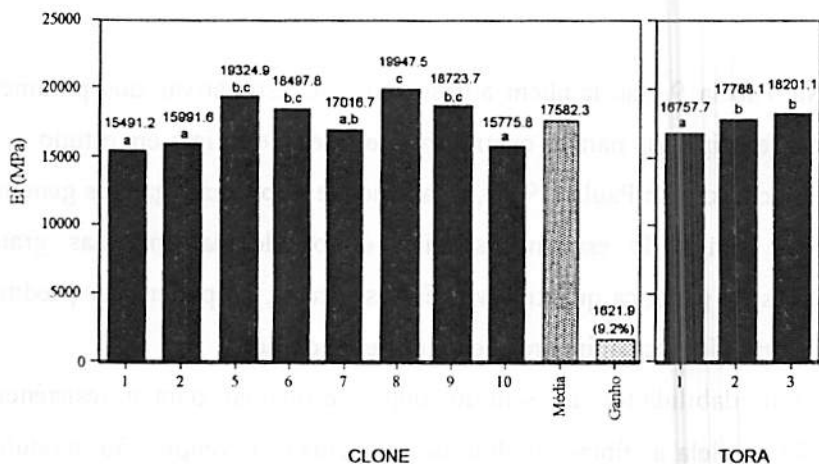


FIGURA 10. Valores médios do módulo de elasticidade à flexão (MPa), de 10 clones de *Eucalyptus*, aos 9 anos de idade. Ganho esperado com a seleção do clone 5. Efeito de toras na estimativa do módulo de elasticidade à flexão. Clones e toras, seguidos pela mesma letra, não diferem entre si, pelo teste de Tukey – Kramer ( $p \leq 0,05$ ).

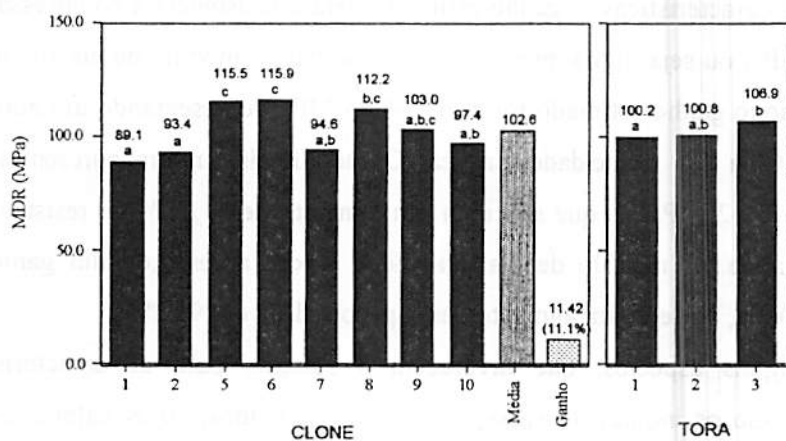


FIGURA 11. Valores médios do módulo de ruptura (MPa), de 10 clones de *Eucalyptus*, aos 9 anos de idade. Ganho esperado com a seleção do clone 5. Efeito de toras na estimativa do módulo de ruptura. Clones e toras, seguidos pela mesma letra, não diferem entre si, pelo teste de Tukey – Kramer ( $p \leq 0,05$ ).

Na Tabela 9, são também apresentados as estimativas dos parâmetros genéticos e fenotípicos, para as quatro propriedades mecânicas em estudo.

De acordo com Paula (1997), a capacidade de prever ganhos genéticos, advindos de um dado esquema seletivo é considerada uma das grandes contribuições da genética quantitativa. E, tais ganhos, só podem ser preditos a partir da estimação dos parâmetros genéticos e fenotípicos.

As herdabilidades, no sentido amplo, estimadas para a resistência à compressão paralela às fibras, módulo de elasticidade à compressão, módulo de ruptura e módulo de elasticidade à flexão estática, foram: 0,95; 0,97; 0,89 e 0,93 respectivamente. Esses valores são considerados altos e indicam que ganhos podem ser conseguidos através da seleção, demonstrando uma alta contribuição genética na expressão dessas quatro propriedades.

A partir dessas herdabilidades e selecionando o clone 5, devido às suas excelentes características, o ganho estimado para a resistência à compressão foi de 5,83 MPa, ou seja, um aumento de 10,70%. Para o módulo de elasticidade à compressão, o ganho estimado foi de 1.168,75 MPa, representando um aumento de 12,76% na sua capacidade elástica. O módulo de ruptura apresentou um ganho de 11,42 MPa, o que significa um aumento de 11,13% na resistência à flexão estática. O módulo de elasticidade à flexão apresentou um ganho de 1.621,85 MPa, ou seja, um aumento dessa propriedade em 9,22%.

Alguns aspectos, que favorecem a seleção, para as características avaliadas, são os índices de variação ( $CV_g/CV_e$ ) obtidos, cujos valores para a resistência à compressão ( $I_v = 1,07$ ), módulos de elasticidade à compressão ( $I_v = 1,40$ ) e à flexão ( $I_v = 0,95$ ), são bons indicadores de obtenção de ganho genético. Apenas o módulo de ruptura apresentou um baixo índice de variação ( $I_v = 0,73$ ), denotando um menor coeficiente de variação genética em relação ao coeficiente de variação ambiental.

## 5 CONCLUSÕES

Com base nos resultados apresentados e discutidos neste trabalho, conclui-se que:

a) Para todas as características avaliadas, os clones de *Eucalyptus* apresentaram variações significativas, o que possibilita a utilização desses, em um amplo programa de melhoramento florestal, buscando a melhoria tanto das características de crescimento quanto da qualidade da madeira.

b) Das características avaliadas, verificou-se que, apenas aquelas relacionadas à retratibilidade da madeira, ou seja, contrações tangencial, radial e volumétrica totais, foram as que apresentaram interação entre clone x tora. Portanto, deve-se ter cautela na amostragem e seleção dos clones.

c) Todas as características apresentaram altos coeficientes de determinação genotípico e de herdabilidade, o que indica um forte controle genético, nas suas expressões, possibilitando a obtenção de ganho consideráveis com a seleção.

d) Os ganhos genéticos previstos para as características de crescimento, DAP e volume individual, foram da ordem de 17,22% e 43,18% respectivamente. Para a densidade básica da madeira, o ganho previsto foi da ordem de 11,58%. Para as contrações totais radial, tangencial e volumétrica, a seleção prevê uma redução de 10,93%; 12,12% e 4,93% respectivamente. Para as características mecânicas, os ganhos previstos foram de 10,70%, 12,76%, 11,13% e 9,22%, para a resistência à compressão paralela às fibras, módulo de

**elasticidade à compressão paralela às fibras, módulo de ruptura e módulo de elasticidade à flexão estática respectivamente.**

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALBINO, J.C. **Características de crescimento e variação da densidade básica da madeira em 12 espécies de *Eucalyptus* em 3 regiões do estado de Minas Gerais.** Piracicaba: ESALQ, 1983. 90p. (Dissertação – Mestrado em Engenharia Florestal)
- ALLARD, R.W. **Princípios do melhoramento genético das plantas.** São Paulo: Edgard Blucher, 1971. 381p.
- ALMEIDA, C.M.V.C. de. **Estimativas de herdabilidades e correlações em progênies jovens de *Eucalyptus citriodora* Hook.** Viçosa: UFV, 1981. 62p. (Dissertação – Mestrado em Genética e Melhoramento).
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS - ASTM. **Annual book of ASTM standards.** Denvers, 1997. 679p. D143/94: standard methods of testing small clear specimens of timber, p. 23-53.
- ANDRADE, E.N. **O eucalipto.** 2.ed. Jundiaí: CPEF, 1961. 667p.
- ASSIS, T.F. **Aspectos do melhoramento de *Eucalyptus* para a obtenção de produtos sólidos da madeira.** In: WORKSHOP "TÉCNICAS DE ABATE, PROCESSAMENTO E UTILIZAÇÃO DA MADEIRA EUCALIPTO, 1999, Viçosa. Anais... Viçosa: UFV, 1999. p.61-72.
- ASSIS, T.F. de. **Melhoramento genético do eucalipto.** Informe Agropecuário, Belo Horizonte, v. 19, n. 185, p. 32-51, 1996.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CARVÃO VEGETAL **Anuário estatístico da ABRACAVE.** Belo Horizonte, 1998. 4p.
- BANNISTER, M.H. ***P. radiata* progeny trial Pegeon Vally Nelson.** Report Forest Research Institute, Rotowa, v.1, p. 22-23, 1970.
- BARRICHELO, L.E.G.; BRITO, J.O.; MIGLIORINI, A .J. **Estudo da variação longitudinal da densidade básica de *Eucalyptus* spp.** In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 4, **Silvicultura**, São Paulo, 8 (28): 726-731, 1983.

- BENDTSEN, B.A.; ETHINGTON, R.L. **Mechanical properties of 23 species of eastern hardwoods.** Madison: USDA Forest Service, 1975. 12p. (USDA Forest Service, Research note, 0230).
- BRASIL, M.A.M.; FERREIRA, M. **Variação da densidade básica e das características das fibras em *Eucalyptus grandis* ex. Maiden ao nível do DAP: análise preliminar.** IPEF, Piracicaba, v.5, p. 81-90, 1972.
- BURGER, L.M.; RICHTER, H.G. **Anatomia da madeira.** São Paulo: Nobel, 1991. 154p.
- CAMPINHOS, E. **More wood of better quality through intensive silviculture with rapid growth improved Brazilian *Eucalyptus*.** *Tappi Journal*, Atlanta, v.63, p. 145-147, 1980.
- CORNACCHIA, G. **Variabilidade genética em procedências de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* BARR & GOLF, *Pinus oocarpa* SCHIEDE e *Pinus tecunumanii* (SCHW) EGUILUZ & PERRY na região Oeste do Estado da Bahia.** Viçosa: UFV, 1994. 115p. (Dissertação – Mestrado em Ciências Florestais).
- CRUZ, C.D. **Programa genes: aplicativo computacional em genética e estatística.** Viçosa: UFV, 1997. 442p.
- DEMUNER, B.J.; BERTOLUCCI, F.L.G. **Seleção florestal: uma nova abordagem a partir de estimativas de parâmetros genéticos e fenotípicos para características de madeira e polpa de eucalipto.** In: CONGRESSO ANUAL DE CELULOSE E PAPEL DA ABICP, 26., 1993, São Paulo. *Anais...* São Paulo: ABICP, 1993. p. 411.
- DURLO, M.A.; MARCHIORI, J.N.C. **Tecnologia da madeira: retratibilidade.** Santa Maria: UFSM/CEPEF, 1992. 33p. (Série Técnica; 10).
- ✓ FALCONER, D.S. **Introdução à genética quantitativa.** Tradução de M.A. SILVA; J.C. SILVA, Viçosa: UFV, 1987. 279p. Tradução de: Introduction to quantitative genetics.
- ✓ FEHR, W.R. **Principles of cultivar development. Theory and technique.** Iowa: Iowa State University, 1991. v.1, 536p.

- FERREIRA, C.A.; FREITAS, M.; FERREIRA, M. Densidade básica da madeira de plantações comerciais de eucaliptos na região de Mogi Guaçu (S). **IPEF**, Piracicaba, v.18, p.106-117, jun. 1979.
- ✓ FERREIRA, M. Melhoramento florestal e silvicultura intensiva com eucalipto. **Silvicultura**, São Paulo, v.31, p. 5-11, jul./ago. 1983.
- FOELKEL, C.; MORA, E.; MENOCELLI, S. Densidade básica: sua verdadeira utilidade como índice de qualidade da madeira de eucalipto para a produção de celulose. **O Papel**, São Paulo, v.53, p. 35-40, maio 1992.
- FREITAS, A.I.P.de; GONZAGA, I.V.; FRANÇA, F.W.S.; RECH, B. Influência do espaçamento na produção de madeira de *Eucalyptus saligna*. In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 5., 1986, Olinda. **Anais..**: Olinda: SBS, 1986. p.1-26.
- GALVÃO, A.P.M.; JANKOWSKY, I.P. Secagem racional da madeira. São Paulo: Nobel, 1985. 111p.
- GARCIA, C.H. Tabelas para classificação do coeficiente de variação. **Circular Técnica/IPEF**, Piracicaba, n.171, p.1-12, nov. 1989.
- GARCIA, S.L.R. Importância de características de crescimento, de qualidade da madeira e da polpa na diversidade genética de clones de Eucalipto. Viçosa: UFV, 1998. 103p. (Dissertação – Mestrado em Ciência Florestal).
- ✓ GOLFARI, L.; CASER, R.L.; MOURA, V.P.G. Zoneamento ecológico esquemático para reflorestamento no Brasil: 2ª aproximação. **PRODEPEF**, Brasília, v.11, p. 1-66, 1978.
- GOMES, F.P. **Curso de estatística experimental**. 13.ed. Piracicaba: USP, 1990. 466p.
- HARRIS, J.M. Breeding to improve wood quality. **Unasyuva**, Rome, v.24, n.23, p.32-36, 1970.
- HAYGREEN, J.G.; BOWYER, J.L. **Forest products and wood science: an introduction**. Ames: Iowa State University, 1982. 495p.

- INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS. **Madeira: o que é, e como pode ser processada e utilizada.** São Paulo, 1985. 189p. (Boletim ABPM, 36).
- INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS. **Tabelas de resultados obtidos para madeiras nacionais.** 2.ed. São Paulo, 1956. 62p. (Boletim Técnico, 31).
- JANKOWSKY, I.P. Equipamentos e processos para secagem de madeiras. 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. 109-118.
- KAGEYAMA, P.Y. **Variação genética em procedências de uma população de *Eucalyptus grandis* (Hill) ex Maiden.** Piracicaba, ESALQ, 1980. 125p. (Tese – Doutorado em Genética e Melhoramento de Plantas).
- LELLES, J.G. de; SILVA, J.C. Problemas e soluções sobre rachaduras de topo de madeira de *Eucalyptus* spp. nas fases de desdobro e secagem. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 18, n. 186, p. 62-69, 1997.
- LIMA, J.T. **Clonal variation in the solid wood properties of *Eucalyptus*.** Bangor: University of Wales, 1999. 276p. (Tese – Doutorado em Ciência e Tecnologia da Madeira).
- LIMA, J.T. **Influência do teor da umidade nas propriedades mecânicas de *Eucalyptus saligna* Smith.** Viçosa: UFV, 1983. 58p. (Dissertação – Mestrado em Ciência Florestal).
- LIMA, J.T.; BREESE, M.C.; CAHALAN, C.M.. Genotype environment interaction in wood basic density of *Eucalyptus* clones. **Wood Science and Technology**, Berlin, v.34, p. 1-10, 2000. No prelo.
- LIMA, T.G. **Variações nos sentidos radial e longitudinal de algumas propriedades das madeiras de *Eucalyptus microcorys* F. Muell e *Eucalyptus pilularis* Sm.** Viçosa: UFV, 1996. 106p. (Dissertação – Mestrado em Ciência Florestal).
- MALAN, F.S. Properties, processing and utilization of eucalypts: the South African experience. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL SOBRE PRODUTOS SÓLIDOS DE MADEIRA DE ALTA TECNOLOGIA, 1.; ENCONTRO SOBRE TECNOLOGIAS APROPRIADAS DE DESDOBRIO,



SECAGEM E UTILIZAÇÃO DA MADEIRA DE EUCALIPTO, 1., 1998, Belo Horizonte. Anais... Viçosa: SIF/UFV/DEF, 1998. p. 134-143.

- ✓ OLIVEIRA, A.N. de. **Variação genética entre e dentro de procedências de baru (*Dipteryx alata* Vog.).** Lavras: UFLA, 1998. 80p. (Dissertação – Mestrado em Produção Florestal).
- OLIVEIRA, J.T. da S. **Caracterização da madeira de eucalipto para a construção civil.** São Paulo: Escola Politécnica/USP, 1997. 2v. (Tese – Doutorado em Engenharia de Construção Civil e Urbana).
- PANSHIN, A.I.; DE ZEEUW, C. **Textbook of wood technology.** 3.ed. New York: McGraw-Hill, 1980. 722p.
- ✓ PATIÑO-VALERA, F. **Variação genética em progênies de *Eucalyptus saligna* Smith e sua interação com o espaçamento.** Piracicaba: ESALQ, 1986. 192p. (Dissertação – Mestrado em Engenharia Florestal).
- PAULA, R.C. de. **Avaliação de diferentes critérios de seleção aplicados em melhoramento florestal.** Viçosa: UFV, 1997. 78 p. (Tese – Doutorado em Ciência Florestal).
- ✓ PAULA, R.C. de. **Variabilidade genética para densidade básica da madeira e para características de crescimento e de eficiência nutricional em famílias de meio-irmãos de *Eucalyptus camaldulensis* Dehn.** Viçosa: UFV, 1995. 126 p. (Dissertação – Mestrado em Ciência Florestal).
- ✓ PRYOR, L.D.; JONHSON, L.A.S. **A classification of *Eucalyptus*.** Camberra: Aust. Nat. University Press, 1971. 478p.
- ✓ RESENDE, M.D.V. de. **Melhoramento de essências florestais.** In: BORÉM, A. (ed.). **Melhoramento de espécies cultivadas.** Viçosa: [s.n.], 1999. p. 589-647.
- ✓ ROBINSON, H.F.; COCKERHAM, C.C. **Estimación y significación de los parámetros genéticos.** *Fitotecnia Latinoamericana*, Costa Rica, v.2, n.1/2, p. 23-38, ene./jun. 1965.

- ROCHA, J.S. **A segurança de estruturas de madeira determinada a partir da variabilidade da densidade básica e de propriedades mecânicas de madeiras amazônicas.** Piracicaba: ESALQ, 1994. 141p. (Dissertação – Mestrado em Ciência e Tecnologia de Madeiras).
- ROSADO, S.C. da S. **Avaliação da densidade básica da madeira com um novo aparelho e correlações entre caracteres, em diferentes idades, em *Eucalyptus* spp.** Viçosa: UFV, 1982. 79p. (Dissertação – Mestrado em Ciência Florestal).
- ROZENBERG, P.; CAHALAN, C. **Spruce and wood quality: genetic aspects: a review.** *Silvae Genetica*, Frankfurt, v.46, n.5, p. 270-279, Mar. 1997.
- SILVEIRA, V. **Comportamento de clones de *Eucalyptus* em diversos ambientes definidos pela qualidade de sítio e espaçamento.** Lavras: UFLA, 1999. 124p. (Dissertação – Mestrado em Produção Florestal).
- SHUKLA, N.K.; RAJPUT, S.S.; LAL, M. **Some studies on the variation of strength along tree height in *Eucalyptus*.** *Journal of the Indian Academy of Wood Sciences*, v.20, n.1, p. 31-36, 1989.
- SKAAR, C. **Water in wood.** Syracuse: Syracuse University Press, 1972. 218p.
  - STAMM, A.T. **Wood and cellulose science.** New York: The Ronald Press, 1964. 269p.
- ✓ TRUGILHO, P.F. **Aplicação de algumas técnicas multivariadas na avaliação da qualidade da madeira e do carvão vegetal de *Eucalyptus*.** Viçosa: UFV, 1995. 160p. (Tese – Doutorado em Ciência Florestal).
- TSOUNIS, G. **Science and technology of wood: structure, properties, utilization.** New York: Van Nostrand Runold, 1991. 494p.
- U. S. FOREST PRODUCTS LABORATORY – USFPL. **Wood handbook.** Madison, 1987. p. 12-15. (USDA For. Ser. Agric. Handb., 72).
- U. S. FOREST PRODUCTS LABORATORY - USFPL. **Wood handbook: wood as an engeneering material.** Madison, 1974. 1v.
- ✓ VENCOVSKY, R. **Genética quantitativa.** In: KUR, W.E., (coord.) **Melhoramento e genética.** São Paulo: Melhoramentos, 1969. p. 17-38.

- VENCOVSKY, R. Herança quantitativa. In: Patuniani, E. (coord.) **Melhoramento de milho no Brasil**. Piracicaba: Fundação Cargill, 1978. p. 122-199.
- VITAL, B.R. **Métodos de determinação da densidade da madeira**. Viçosa: Sociedade de Investigações Florestais, 1984. 21p. (Boletim Técnico, 1).
- VITAL, B.R.; TRUGILHO, P.F. Variação dimensional e uso da madeira de *Eucalyptus*. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 18, n. 186, p. 57-61, 1997.
- WRIGHT, J.W. **Introduction to forest genetics**. New York: Academic Press, 1976. 463p.
- XAVIER, A. **Aplicação da análise multivariada da divergência genética no melhoramento de *Eucalyptus* spp.** Viçosa: UFV, 1996. 126p. (Tese - Doutorado em Ciência Florestal).
- ZOBEL, B.J.; JETT, J.B. **Genetics of wood production**. Berlin: Springer-Verlag, 1995. 337p.
- ZOBEL, B.J.; TALBERT, J. **Applied forest tree improvement**. New York: John Wiley & Sons, 1984. 505p.
- ZOBEL, B.J.; VAN BUIJTENEN, H. **Wood variation, its causes and control**. Berlin: Springer-Verlag, 1989. 363p.