

**Universidade de São Paulo**  
**Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”**

**Caracterização da madeira de três espécies de eucalipto  
para uso em movelaria**

**Camila Santos Doubek Lopes**

Dissertação apresentada para obtenção do título de  
Mestre em Recursos Florestais, com opção em  
Tecnologia de Produtos Florestais

**Piracicaba**

**2007**

Camila Santos Doubek Lopes  
Desenhista Industrial

**Caracterização da madeira de três espécies de eucalipto  
para uso em movelaria**

Orientador:  
**Prof . Dr. MÁRIO TOMAZELLO FILHO**

Dissertação apresentada para obtenção do título de  
Mestre em Recursos Florestais, com opção em  
Tecnologia de Produtos Florestais

Piracicaba  
2007

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)  
DIVISÃO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - ESALQ/USP**

Lopes, Camila Santos Doubek  
Caracterização da madeira de três espécies de eucalipto para uso em movelaria /  
Camila Santos Doubek Lopes. - - Piracicaba, 2007.  
88 p. : il.

Dissertação (Mestrado) - - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 2007.  
Bibliografia.

1. Eucalipto 2. Madeira – Propriedades físicas – Propriedades mecânicas 3. Mobiliário  
4. Usinagem I. Título

CDD 674.142

**“Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte – O autor”**

Dedico esse trabalho aos meus pais,  
que acreditaram em mais esse projeto.

## AGRADECIMENTOS

À Universidade de São Paulo pela oportunidade de realização desse curso e à Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, cuja beleza alimentou diariamente meus estudos.

A Prof<sup>ª</sup>. Adriana Maria Nolasco, pela orientação, apoio, paciência e amizade.

Ao Prof. Mário Tomazello Filho, pela orientação e amizade.

Aos meus amados pais pela força e ajuda nesse feliz período de mestrado.

Aos meus irmãos. À Vi pelo apoio, abrigo e amizade no exterior e ao Zé (Joelma) pelos momentos de distração...

Ao Prof. Marcos Tadeu Tiburcio, pela imensa ajuda em Bauru.

Ao Prof. Carlos Tadeu dos Santos Dias pela simpatia e análise estatística.

Ao Prof. José Nivaldo Garcia pela amizade e ajuda.

Ao Luiz Eduardo Facco, pela grande ajuda nos ensaios e amizade.

Ao Prof. Geraldo Bortoletto pelo apoio nos ensaios.

Ao Prof. Nilson Franco do IPT pela imensa ajuda e amizade.

Ao Prof. Marcio Nahuz pela amizade, generosidade e ajuda.

Aos Professores José de Castro Silva e José Tarcisio Oliveira, que eu não conheço, mas cujas pesquisas foram fundamentais para a minha pesquisa.

À Prof<sup>ª</sup>. Bárbara Ozarska, pela simpatia, amizade e apoio.

Aos amigos do DCF, Catarina, Marcelo, Maria, Eliezer e Zé Martins.

Aos estagiários Leandro (1000house) e Alexandre (Madruga) pela força!

À Biba e Vó (Patrícia), pela companhia, apurações, almoços e abrigo foram fundamentais para a realização deste trabalho.

À Tânia (Tchuca), pelo apoio, abrigo e momentos de alegria.

Aos amigos da pós Grelha, Renata, Michele, Bruninho, Gisele e Gui, pelos bons momentos e amizade.

Aos amigos da serraria: Juca, Magrão, Biro-Biro, Branquinho, Sidnei, Natal e Wilson.

Às queridas funcionárias do Rucas, que me alimentaram com o delicioso almoço todos os dias.

***“And in the end,  
The love you take  
Is equal to the  
Love you make.”***

The Beatles

## SUMÁRIO

RESUMO.....	8
ABSTRACT.....	9
1 INTRODUÇÃO.....	13
2 OBJETIVOS.....	15
2.1 Objetivo geral.....	15
2.2 Objetivos específicos.....	15
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	16
3.1 O gênero <i>Eucalyptus</i> .....	16
3.2 O uso da madeira de eucalipto em movelaria.....	17
3.3 Propriedades relevantes da madeira de eucalipto para o uso em movelaria	20
Cor da madeira.....	20
Idade de corte das árvores e madeira juvenil.....	20
Variação dimensional.....	22
Densidade básica e massa específica aparente da madeira.....	26
Resistência mecânica da madeira.....	29
Usinagem e qualidade da superfície usinada da madeira.....	30
3.4 As espécies de eucalipto selecionadas para esse estudo.....	37
<i>Eucalyptus grandis</i> .....	37
<i>Eucalyptus urophylla</i> .....	38
<i>Eucalyptus dunnii</i> .....	39
4 MATERIAL E MÉTODOS.....	40
4.1 Espécies de eucalipto e caracterização do local.....	40
4.2 Delineamento experimental.....	41
4.3 Amostragem da madeira.....	41
4.4 Cor da madeira.....	43
4.5 Ensaio físico-mecânicos e de qualidade da superfície usinada.....	44
Ensaio físicos da madeira.....	44
Ensaio mecânico da madeira.....	45

Qualidade da superfície usinada.....	46
4.6 Análises estatísticas.....	49
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	51
5.1 Cor da madeira.....	51
5.2 Ensaios físicos da madeira.....	52
Retratibilidade e fator anisotrópico da madeira.....	52
Massa específica aparente e densidade básica.....	65
5.3 Ensaio mecânico da madeira.....	70
5.4 Qualidade da superfície usinada.....	73
5.5 Correlação de Pearson entre os ensaios.....	75
5.6 Síntese dos resultados.....	78
6 CONCLUSÕES.....	80
REFERÊNCIAS.....	81
GLOSSÁRIO.....	87

## RESUMO

### Caracterização da madeira de três espécies de eucalipto para uso em movelaria

Este estudo teve por objetivo analisar os aspectos estéticos, físicos, mecânicos e de qualidade da superfície usinada da madeira de árvores de *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus urophylla* e *Eucalyptus dunnii* aos 18 anos, tendo como objetivo a sua aplicação na indústria moveleira. Para tanto, foram coletadas três árvores de cada espécie da Estação Experimental de Ciências Florestais (EECF) da ESALQ/USP, localizada em Anhembi-SP. Os ensaios de massa específica aparente, densidade básica, variação dimensional e módulos de ruptura e elasticidade foram realizados de acordo com a NBR 7190/96. Para a análise de qualidade da superfície usinada foram avaliados 48 corpos de prova de cada espécie, aplainados em 7 diferentes velocidades de avanço. Em cada corpo de prova foram feitas 3 leituras, em diferentes posições, com rugosímetro. Foram realizadas análise de variância e testes de médias para cada parâmetro avaliado. Posteriormente, executaram-se as correlações de Pearson entre resultados dos diferentes ensaios. Com base nos resultados obtidos, concluiu-se que as três espécies estudadas apresentam características compatíveis para uso na indústria moveleira, com diferentes aplicações; a madeira de *Eucalyptus urophylla* apresentou o melhor desempenho em relação à maioria dos parâmetros analisados, o que indica a possibilidade de sua aplicação em grande parte dos componentes de um móvel; o *Eucalyptus grandis* foi a espécie que apresentou melhor desempenho nos ensaios de variação dimensional, porém apresentou restrições quanto ao uso estrutural e altos valores de coeficiente de variação nos resultados; o *Eucalyptus dunnii* apresentou maior retratibilidade e pior desempenho em relação à qualidade da superfície usinada, qualificando-se dentre as três espécies estudadas, como a menos indicada para uso em movelaria; as três espécies apresentaram importantes variações das características físicas ao longo do raio; os melhores resultados em relação à qualidade da superfície usinada foram obtidos com baixa velocidade de avanço; pela análise descritiva, os parâmetros de densidade e massa específica aparente são bons indicadores de estabilidade dimensional, desempenho mecânico e qualidade de superfície usinada; os resultados obtidos nas análises e os da bibliografia apontam uma alta variabilidade tecnológica da madeira das três espécies de eucalipto, recomendando a seleção e usos da madeira de clones.

Palavras-chave: Eucalipto, madeira, características físico-mecânicas, qualidade da superfície usinada, móveis, *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus dunnii* e *Eucalyptus urophylla*.

## ABSTRACT

### Wood characterization of three species of eucalypts for furniture production

The objective of this work was to analyze the aesthetics aspects, surface quality, physical and mechanical properties of *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus dunnii* and *Eucalyptus urophylla* wood with 18 years-old, aiming to give technical information its best application in furniture production. The material for the tests were three trees of each species, collected at Experimental Campus of Forestry Science from ESALQ/USP at Anhembi/SP. For the physical and mechanical tests the NBR 7190/96 was used. For the surface quality, 48 samples of each species were processed in 7 different forward velocities. In each sample, 3 tests in different positions were done using reliefmeter. Data were evaluated through analysis of variance, tests of comparison of means and Pearson correlation test between the different tests. It was concluded that the three studied species are suitable for furniture production, in different applications; the *Eucalyptus urophylla* had the best results for most of the realized tests, being suitable for most of the furniture components; the *Eucalyptus grandis* had the best results on shrinkage test, suitable for rigid joints or the ones with glued pieces and big dimension components, although it had the higher variation coefficient values and the species is not suitable for structure components, due to the low values on the mechanical tests; the *Eucalyptus dunnii* had the worst results for furniture production, comparing to the other studied, due to its low performance at the shrinkage tests and at the surface quality test; the three species had important variation trend of physical characteristics for the values on the radial direction, from the pith to the sapwood; the best results for the quality surface were due to the low forward velocity; the basic density and specific gravity parameters have good correlation with the studied characteristics: shrinkage, mechanical performance and surface quality; the results obtained on the analysis and the ones on the references show high technological variability on wood of the three species studied, so it is recommended the selection and use of wood from clones.

Key-words: Eucalyptus, physical characteristics, mechanical characteristics, machinability, superficial finishing and furniture.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1	Defeito em mesa de pinus.....	25
Figura 3.2	Defeito em banco de <i>E.grandis</i> .....	25
Figura 3.3	Defeito em banco de <i>E.dunnii</i> .....	25
Figura 3.4	Defeito em mesa de <i>E.grandis</i> .....	25
Figura 3.5	Sistemas de corte classificados por McKenzie (1960).....	32
Figura 3.6	Grandezas de corte em aplainamento cilíndrico tangencial na direção discordante.....	34
Figura 3.7	Exemplo de perfil de rugosidade superficial de MDF.....	35
Figura 4.1	Aspecto das árvores de eucalipto na Estação Experimental de Anhembi-SP.....	40
Figura 4.2	Plano amostral para caracterização estéticas, ensaios físicos, mecânicos e de qualidade da superfície usinada da madeira.....	42
Figura 4.3	Desdobro de prancha de madeira de eucalipto e aspecto geral da serra de engenho simples utilizada.....	42
Figura 4.4	Seção transversal do disco de lenho e demarcação dos corpos de prova radiais para os ensaios físicos da madeira .....	43
Figura 4.5	Dimensões dos corpos de prova de madeira das 3 espécies de eucalipto e balança de precisão utilizada.....	45
Figura 4.6	Máquina de ensaio com corpo de prova de madeira de eucalipto rompida.....	45
Figura 4.7	Aspecto geral da tupia moldureira utilizada na usinagem dos corpos de prova de madeira de eucalipto.....	46
Figura 4.8	Aspecto geral dos equipamentos controladores de avanço Invicta e tacômetro Microtest.....	47
Figura 4.9	Aspecto do rugosímetro em uso em metal, e visor e ponta do aparelho.....	47
Figura 5.1	Coloração da madeira de cerne das árvores de <i>E. urophylla</i> ; <i>E. dunnii</i> ; <i>E. grandis</i> .....	51
Figura 5.2	Retração tangencial da madeira de árvores de <i>E. dunnii</i> , <i>E. urophylla</i> e <i>E. grandis</i> nos sentidos radial e longitudinal.....	53

Figura 5.3	Retração radial da madeira nos sentidos radial e longitudinal do tronco de árvores de <i>E.dunni</i> , <i>E. urophylla</i> e <i>E. grandis</i> .....	55
Figura 5.4	Retração volumétrica da madeira de árvores de <i>E. dunnii</i> , <i>E. urophylla</i> e <i>E. grandis</i> nos sentidos radial e longitudinal.....	59
Figura 5.5	Fator anisotrópico da madeira nos sentidos radial e longitudinal do tronco de árvores de <i>E. dunni</i> , <i>E. urophylla</i> e <i>E. grandis</i> .....	63
Figura 5.6	Densidade básica da madeira nos sentidos radial e longitudinal do tronco de árvores de <i>E. dunni</i> , <i>E. urophylla</i> e <i>E. grandis</i> .....	67
Figura 5.7	Valores médios de <i>Ra</i> ( $\mu\text{m}$ ) para cada a velocidade de avanço e sua média geral para a madeira de <i>E. dunni</i> , <i>E. urophylla</i> e <i>E. Grandis</i> .....	74
Figura 5.8	Correlação entre as retrações volumétrica e tangencial e entre o fator anisotrópico e retração radial para as três espécies.....	77

## LISTA DE SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas.

CV – Coeficiente de variação.

CWA - Clima temperado úmido com Inverno seco e Verão quente.

DAP – Diâmetro à altura do peito.

DB – Densidade básica.

FA – Fator anisotrópico.

g/cm<sup>3</sup> - Gramas por centímetro cúbico.

IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas.

kgf/cm<sup>2</sup> - Quilogramas-força por centímetro quadrado.

ME – Massa específica aparente.

MOE – Módulo de elasticidade.

MOR – Módulo de ruptura.

MPa – Megapascal.

RL – Retração longitudinal.

RR – Retração radial.

RT – Retração tangencial.

RV – Retração volumétrica.

## 1 INTRODUÇÃO

A utilização da madeira de eucalipto pela indústria moveleira no Brasil ainda é incipiente. Isso é resultado, por um lado, da disponibilidade de uma grande diversidade de espécies nativas com excelentes características para produção de móveis e com um custo viável, por outro, de problemas técnicos inerentes ao gênero e outros ligados ao manejo e processamento.

A ampla utilização das madeiras das espécies do gênero *Eucalyptus* pode diminuir o consumo da madeira de espécies nativas, cada vez mais sujeitas às restrições de corte, comercialização e de uso face às crescentes pressões ecológicas de entidades ambientalistas, do governo e da sociedade (CAMPINHOS, 2001). Porém, para tanto, obstáculos técnicos e culturais têm de ser ultrapassados.

Tais obstáculos, assim como alta incidência de nós, rachaduras no desdobra primário e secagem, falta de retidão das toras, altos índices de variação dimensional linear e volumétrica e grande variabilidade tecnológica entre as espécies e mesmo dentro de um mesmo indivíduo, resultam em dificuldades para a produção de móveis de qualidade, e são fatores limitantes para o uso da madeira de eucalipto em movelaria (OLIVEIRA, 1997). Esses problemas estão, em grande parte, associados ao uso de madeira com idade inapropriada e provinda de plantação manejada para a produção de celulose, cujas características técnicas são diferentes daquelas necessárias para uso em móveis. Soma-se a isso o design inapropriado, a falta de conhecimento técnico sobre o gênero e a grande carência de fornecedores especializados em madeira maciça de eucalipto destinada à indústria moveleira, o que torna o seu fornecimento irregular e de baixa qualidade (GORINI, 1998).

Para esse trabalho foram selecionadas árvores de 18 anos de idade, pois segundo Silva et al. (2005), Oliveira (1997), Silva, J.C. (2002) e Lima (2005), o lenho das árvores a partir dos 17 anos apresenta maior porcentagem de madeira adulta, que em termos práticos significa maior densidade, resistência mecânica, menor tendência a empenamentos e fendilhamentos e melhor acabamento superficial.

Algumas empresas no Brasil produzem madeira de eucalipto de qualidade para a fabricação de produtos com valor agregado. Para tanto, é realizado adequado manejo florestal, ciclos mais longos de corte das árvores e secagem adequada da

madeira. Para que esse tipo de produção seja difundida, são necessárias políticas de estímulo aos produtores florestais para adequar a produção de madeira de eucalipto de qualidade para o segmento industrial, bem como a geração de informações técnicas sobre processamento, para a manufatura de móveis de qualidade, melhorando assim os móveis de madeira de eucalipto no mercado nacional.

Para este estudo foram selecionadas três espécies: (i) o *Eucalyptus dunnii*, que possui madeira com coloração clara, diferente das espécies de eucalipto convencionalmente encontradas no mercado, possui grande potencial de produção no sul do país devido à resistência a geadas; (ii) o *Eucalyptus urophylla*, espécie que possui grande potencial produtivo em função da tolerância ao fungo causador do cancro do eucalipto (*Cryphonectria cubensis*); (iii) o *Eucalyptus grandis*, que é considerado um referencial para esse estudo, pois se trata da espécie mais empregada no setor moveleiro, e já foi extensamente estudada no mundo e no Brasil, especialmente devido ao seu rápido crescimento e comprovado potencial para a fabricação de celulose e papel.

Pelo exposto, este trabalho procurou estudar as principais características técnicas da madeira de três espécies de eucalipto para a produção de componentes de móveis, com o objetivo de viabilizar a sua melhor utilização nesse segmento industrial. As características da madeira estudadas foram: as estéticas, físicas, mecânicas e de qualidade da superfície usinada.

## 2 OBJETIVOS

### 2.1 Objetivo geral

Analisar os aspectos estéticos, físicos, mecânicos e de qualidade da superfície usinada da madeira de árvores de *Eucalyptus grandis*, *E. urophylla* e *E. dunnii*, aos 18 anos, tendo como objetivo a sua aplicação na indústria moveleira.

### 2.2 Objetivos específicos

- (i) Avaliar a coloração da madeira das três espécies e distinção cerne/alburno.
- (ii) Avaliar o desempenho físico da madeira das três espécies, determinando a variação dimensional linear e volumétrica, o fator anisotrópico, a densidade básica e a massa específica aparente no sentido radial e longitudinal do tronco das árvores.
- (iii) Analisar o desempenho mecânico da madeira das três espécies, determinando os módulos de elasticidade e ruptura (MOE e MOR) através de ensaios de flexão estática.
- (iv) Avaliar a qualidade da superfície usinada da madeira das três espécies.

### 3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1 O gênero *Eucalyptus*

O gênero *Eucalyptus* pertence à família Myrtaceae, da classe das angiospermas dicotiledôneas, contando com cerca de 672 espécies, a maior parte originária da Austrália (ABRAF, 2007).

Sua introdução ocorreu no Brasil no início do século XIX, com as primeiras árvores plantadas no Jardim Botânico do Rio de Janeiro, com função decorativa.

Posteriormente, Edmundo Navarro de Andrade, da então Companhia Paulista de Estradas de Ferro, sucedida pela FEPASA, utilizou as espécies do gênero para a produção de lenha para as locomotivas. Com isso, deu início aos estudos comparativos entre as espécies de eucalipto e as nativas, mostrando as vantagens dos eucaliptos quanto ao crescimento, adaptação ao clima e aplicabilidade da madeira.

Atualmente, as árvores das espécies de eucalipto são cultivadas em mais de 100 países por possuírem habilidade de adaptação aos diferentes sítios, apresentando rápido crescimento e possibilidade de produzir madeira para diferentes usos, o que tem contribuído para a redução da intensidade de exploração das florestas naturais de cada país (CAMPINHOS, 2001).

Apesar do significativo número de espécies, as plantações são restritas a somente algumas, como o *Eucalyptus grandis*, *E. urophylla*, *E. saligna*, *E. camaldulensis*, *E. tereticornis*, *E. globulus*, *E. viminalis*, *E. deglupta*, *E. citriodora*, *E. exserta*, *E. paniculata* e *E. robusta*. No Brasil, as espécies mais plantadas são o *E. grandis* (55%), *E. saligna* (17%), *E. urophylla* (9%), *E. viminalis* (2%), híbridos de *E. grandis* x *E. urophylla* (11%) e outras espécies (6%) (ABRAF, 2007).

Assim, segundo dado da ABRAF (2007) tendo como base o ano de 2006 no Brasil, 38% da produção de madeira de eucalipto esteve comprometida com o setor de celulose e papel, 33% com carvão, 3,2% com serrados, 1,66% com painéis reconstituídos e 24,17% com outros. Essas porcentagens mostram que relativamente pouca madeira de eucalipto é usada para serraria tendo em vista o seu potencial.

Grande parcela das florestas plantadas de eucalipto no Brasil é originária de clones de alta produtividade, com adaptação e tolerância a fatores adversos de clima,

solo e água. Ao longo dos últimos 30 anos os ganhos em produtividade volumétrica, resultado dos trabalhos de pesquisa e melhoramento genético nas florestas de eucalipto quase que triplicaram (ABRAF, 2006). Entretanto, tais pesquisas de melhoramento, em sua grande maioria, foram desenvolvidas para atender aos parâmetros técnicos da fábrica de celulose e papel, resultado da maior demanda de madeira de eucalipto pelo setor. Porém, tais melhorias nada acrescentam para a qualidade da madeira serrada, que exige qualidades tecnológicas distintas.

Além do melhoramento genético, o sistema de manejo florestal (como o desbaste e a desrama), também precisa ser adequado à produção de madeira maciça.

### **3.2 O uso da madeira de eucaliptos em movelaria**

Segundo Oliveira (1999) a possibilidade de uso da madeira de eucalipto em marcenaria e movelaria existe há muito tempo em diferentes regiões do mundo. Depoimentos históricos de empresários da área moveleira dos Estados Unidos demonstram a aceitação da madeira de eucalipto no início do século XX para a produção de mobiliário devido às inúmeras vantagens da utilização do gênero.

No Brasil, as iniciativas de utilização da madeira de eucaliptos na fabricação de móveis são do início da década de 80, inicialmente na estrutura interna de estofados (ORTOLAN, 2003).

Os primeiros estudos relacionados à madeira de eucalipto para movelaria foram realizados pela Divisão de Produtos Florestais do IPT, no início da década de oitenta, que desenvolveu e construiu protótipos de móveis de escritório utilizando painéis de madeira de eucalipto. Todas as etapas de produção foram avaliadas: abate, desdobro, secagem, usinagem, colagem e acabamento. Para esse estudo foi utilizada madeira de *Eucalyptus spp* de pequenos diâmetros, desdobrada em sarrafos e coladas lateralmente, originando painéis de maiores dimensões. Foram confeccionadas grande número de peças, entre mesas, armários, estantes e gaveteiros, de várias dimensões. Posteriormente, os móveis foram distribuídos por todas as unidades técnicas do IPT, para serem usados e avaliados como protótipos. Os principais aspectos avaliados relacionaram-se à: (i) laminação, ou seja, a formação dos painéis por sarrafos de

comprimentos e larguras atípicas, consolidados por colagem; (ii) colagem e o desempenho do adesivo; (iii) dimensão e espessura das peças em função de sua posição relativa no móvel; (iv) estabilidade das unidades, ao acabamento superficial e aos conectores metálicos. A grande maioria dos móveis produzidos se encontram em uso permanente no IPT, comprovando o sucesso na seleção da matéria-prima, processamento e do próprio sistema (NAHUZ; MIRANDA; FRANCO, 1999).

Em 1988, o designer francês Michel Arnout (1922-2005), precursor do móvel desmontável e componível, e reconhecido pela dedicação ao desenho e fabricação de mobiliário de elevada qualidade e de baixo custo, se integrou à equipe do projeto do IPT. Procurou superar as limitações da madeira de eucalipto, observadas nos estudos iniciais, através do desenho dos produtos (BORGES, 1994).

Projetou, como designer autônomo, móveis de madeira de eucalipto de plantações de ciclo curto, utilizando peças de 5 x 2,2 cm de largura e espessura, que resultou em uma linha de produtos fabricados em larga escala para uma importante cadeia de lojas. O designer acreditava que a grande limitação para o uso da madeira de eucalipto em movelaria era a aceitação pelo consumidor que, habituado aos móveis de madeira nativa de lei, rejeitava outras matérias-primas não convencionais. Assim, segundo o designer, quando a madeira de eucalipto fosse aceita, o Brasil seria o principal fornecedor de móvel do mundo. (BORGES, 1994).

Quanto aos desafios para o amplo uso da madeira de eucalipto em movelaria, pode-se citar o preconceito dos produtores e consumidores devido ao comportamento unusual do gênero quando comparado às espécies nativas. Isso acontece, pois a maioria da madeira de eucalipto empregada na fabricação de móveis ainda é proveniente de plantações de ciclos curtos, produzidas para a indústria de celulose e carvão, que possui, características tecnológicas inapropriadas para uso na forma sólida (LIMA, 2005).

Yuba (2001) listou os problemas relacionados com a madeira de eucalipto para a produção de madeira serrada. Na plantação florestal indicou a baixa qualidade de mão-de-obra; na fase de desdobro o rendimento prejudicado pela presença de nós, rachaduras, equipamentos defasados e falta de retidão das toras; na etapa de secagem a falta de capacidade produtiva, perdas por defeitos de secagem não eficiente.

Giustina (2001), estudando as indústrias de móveis de eucalipto, concluiu que as empresas no Rio Grande do Sul têm dificuldade na fase do processamento, devido às

máquinas estarem reguladas para a madeira de pinus. Tal dificuldade é conseqüência da diferença de densidade entre os dois gêneros, fator com alta correlação com a usinabilidade da madeira. As indústrias também encontram obstáculos no processo de padronização das tábuas e no tingimento, aspecto relacionado com a permeabilidade da madeira. Em São Paulo, os maiores problemas são a falta de fornecedores de madeira de qualidade e a secagem, que afeta o processo de colagem e acabamento. O pólo moveleiro de Ubá (MG) tem substituído o pinus pelo eucalipto na estrutura de móveis, com melhores resultados de resistência mecânica e aos cupins.

Segundo constatação de Silva (2004), Silva et al. (2005) e Silva, J.C. (2002), um dos principais fatores importantes para obtenção de madeira de eucalipto de melhor qualidade é a idade de colheita. A retirada de árvores em idade aproximada de 18 anos proporciona madeira com características mais apropriadas para a utilização da madeira em móveis, quando comparado à árvore de 7 anos, idade ideal para a indústria de celulose e papel. Dentre as vantagens da utilização de indivíduos em idade mais avançada, podem-se citar: valores mais adequados de módulos de flexão estática (MOE e MOR) para uso estrutural, menores valores de contração longitudinal, e menor incidência de empenamento e fendilhamento.

Atualmente, a madeira maciça é empregada em menor quantidade pela indústria moveleira quando comparada ao passado. Hoje é utilizada junto às chamadas madeiras engenheiradas, que substituíram com qualidade e economia a madeira macica para a grande maioria dos componetes da industria moveleira. (SIMULA; TISSARI, 1998).

Os principais requisitos tecnológicos para que a madeira maciça de eucalipto possa ser potencial matéria-prima para esse segmento industrial são: adequado processo de secagem objetivando a estabilidade da madeira e baixos valores de fator anisotrópico; boa resistência mecânica; usinabilidade e a qualidade da superfície usinada.

Hoje, no Brasil, encontram-se alguns poucos segmentos que produzem móveis constituídos em sua maioria de madeira maciça, com exceção daqueles produzidos para exportação no sul do país, que possuem tecnologia de ponta, os demais possuem algumas características em comum: baixa tecnologia de producao, producao semi-artesanal e artesanal com baixo numero de funcionarios e alto preco de venda.

### **3.3 Propriedades relevantes da madeira de eucalipto para o uso em movelaria**

#### **Cor da madeira**

O padrão de coloração das madeiras pode variar do bege claro ao marrom escuro, quase preto, incluindo as de cor amarela, avermelhada, roxo e alaranjado.

A cor da madeira pode variar entre as espécies, dentro da espécie e da árvore, com o teor de umidade, exposição ao sol ou a luz, contato com determinados metais, ataque de fungos e bactérias, tingimento artificial, etc.

O cerne possui variação de cor no sentido medula-casca, sendo que para a maioria das espécies é mais escuro que o alburno (MORI, 2003).

Os extrativos indutores da coloração da madeira são tóxicos para os fungos e insetos xilófagos, o que torna as madeiras de cerne escuro mais duráveis (PANSWIN; DE ZEEUW, 1980).

As variações de preferência, costumes e modismo induzem a produção de móveis de madeira de determinadas cores, sendo oportunidade de mercado para os eucaliptos, devido à grande variedade de coloração entre as espécies, árvores e mesmo dentro de uma árvore (ASSIS, 2001).

#### **Idade de corte das árvores e madeira juvenil**

No passado, a madeira utilizada nas indústrias de móveis provinha de árvores adultas de florestas nativas, sendo dada pouca importância à presença de madeira juvenil, presente em baixa porcentagem em volume de lenho do tronco. Com o decréscimo do suprimento de árvores longevas, incrementou-se o uso da madeira de árvores de ciclos curtos de reflorestamento, como os pinos e eucaliptos para serraria. Na idade de corte das árvores de eucalipto aos 5-7 anos (ideal para as indústrias de celulose e papel, carvão vegetal e chapas), a madeira apresenta características técnicas inadequadas para aplicações na forma sólida. Segundo Lima (2005), a madeira juvenil está presente em alta porcentagem no lenho de árvores jovens, envolvendo parte central do tronco, sendo formada pelo câmbio nos primeiros anos de crescimento. O período de sua formação varia de acordo com espécie, condições ambientais, manejo, etc.

As diferenças da madeira juvenil e adulta estão relacionadas às alterações anatômico-físicas que ocorrem no sentido da medula-casca do tronco das árvores. Em folhosas, estas alterações caracterizam a região juvenil como formada por elementos de vaso de menor dimensão, fibras de menor comprimento, menor largura, parede celular mais fina, maiores ângulos fibrilares, maior proporção de fibras e menor de vasos, maior teor percentual de holocelulose e menor de celulose, menor densidade, altos teores de madeira de reação, altos teores de lignina e anéis de crescimento mais espaçados. Quanto às propriedades físico-mecânicas inferiores, a madeira juvenil apresenta performance inferior à da madeira adulta, com os principais defeitos decorrentes da juvenil caracterizados pela excessiva contração longitudinal, elevado empenamento e diminuição da resistência mecânica (SILVA, J.C., 2002).

A passagem da madeira juvenil para a adulta é uma característica sob forte controle genético e indicativa de que a madeira juvenil pode ser reduzida através da seleção das árvores (LIMA, 2005). A taxa de crescimento das árvores tem pouca influência na formação de madeira juvenil, que ocupa igual porcentagem do lenho das espécies de crescimento rápido e lento (WILKES, 1984).

Silva et al. (2005) estudando a madeira de árvores de *E. grandis* do 10º ao 25º ano, encontraram ao 20º ano, os valores mais adequados de módulos de flexão estática (MOE e MOR) para uso estrutural e ao 10º ano os piores valores, explicando a inadequação da madeira de eucalipto aos 7-10 anos para serraria.

Oliveira (1997) constatou que as árvores de *E. grandis*, com DAP de até 20 cm formam madeira de baixas propriedades mecânicas, aumentando para as árvores de tronco com > 30 cm de DAP, correspondendo às árvores no 15º ano.

As rachaduras da madeira são mais intensas nas árvores jovens, diminuindo com o seu amadurecimento e reforçando a tendência de uso de árvores mais velhas, para a produção de produtos de maior valor agregado. Assim, para os componentes aparentes e/ou estruturais de móveis a madeira juvenil deve ser preterida em relação à adulta (SILVA, 2004).

## **Variação dimensional**

A madeira se “movimenta” ou “trabalha”, indicando o comportamento de retração ou de inchamento, de acordo com a mudança da umidade relativa do ambiente. A variação dimensional, retratibilidade ou “trabalhabilidade” da madeira refere-se a sua movimentação pela perda ou ganho de umidade, abaixo do ponto de saturação das fibras (GALVÃO; JANKOWSKY, 1995).

Giustina (2001) enfatiza a força de inchamento das peças de madeira citando a prática dos antigos egípcios de introduzir e umedecer as cunhas de madeira em fendas de rochas, com o objetivo de parti-las.

A variação dimensional da madeira, devido à desorção (saída) e adsorção (entrada) de água, constitui-se em uma de suas propriedades mais importantes, afetando a sua aplicação industrial e formas de utilização (TRUGILHO et al., 2002b).

A retração e o inchamento da madeira, segundo Galvão e Jankovsky (1985), indicam variações dimensionais em função da umidade e são calculadas em percentuais de variação em relação à sua dimensão inicial, fornecendo valores diferentes: a retração é determinada em relação às dimensões saturadas ou verdes da peça de madeira e o inchamento em relação às suas dimensões secas.

A saída das moléculas de água da estrutura da parede celular da madeira gera espaço vazio, que pelas forças de coesão aproximam as microfibras, ocasionando a contração de uma peça de madeira. Na expansão da madeira o processo é inverso, com a água adsorvida penetrando e causando o afastamento das microfibrilas e, conseqüentemente, o inchamento da peça de madeira (OLIVEIRA, 1997).

Espécies florestais com madeiras de maior densidade ou com maior quantidade de “substância” madeira/unidade de volume apresentam maior magnitude de variação dimensional, além de maior quantidade de água na parede celular, para um mesmo teor de umidade (TRUGILHO et al., 2002b).

A madeira se caracteriza pelo comportamento anisotrópico, com a retração e o inchamento distintos nos seus três planos de estudo, com maiores valores no plano tangencial, seguido pelo radial e longitudinal, sendo considerado praticamente desprezível. Tomazello Filho (1994) apud Oliveira (1997), afirmou que a maior extensão das paredes tangenciais, menor ângulo de inclinação das microfibrilas, entre outros

fatores, justificam as maiores variações dimensionais na direção tangencial das peças de madeira, em relação à radial.

O fator anisotrópico da madeira indica a razão entre as retrações tangencial e radial, indicando a propensão da peça de madeira fendilhar e empenar durante as alterações dimensionais provocadas pelas variações higroscópicas: quanto maior for seu distanciamento de 1, a peça de madeira terá mais defeitos.

Durlo e Marquiori (1992) apud Silva et al. (2004) estabeleceram uma classificação de madeiras pelos coeficientes de anisotropia, sendo que de (i) 1,2 -1,5 são excelentes (cedro, sucupira, mogno, balsa, etc.), (ii) 1,5 a 2,0 são normais (ipê, pinos, peroba rosa, teca, etc.), (iii) >2,0 são ruins (imbuia, álamo, jatobá, etc.).

O fator anisotrópico da madeira não é suficiente para a caracterizá-la como estável ou não, sendo necessário avaliar as contrações tangencial e radial separadamente: coeficiente de anisotropia baixo pode ser resultado de contrações tangencial e radial elevadas, revelando madeira de alta instabilidade dimensional, como a do *E. grandis* com coeficiente de anisotropia muito baixo, inferior a do de espécies muito estáveis (mogno, cedro) (SILVA, 2004).

A madeira dos eucaliptos mostra muita variação nos valores de contrações sendo, de modo geral, altos (PONCE, 1995). Quanto mais alta a densidade da madeira maior serão as suas contrações e expansões sendo, porém, controverso para as espécies de eucalipto (OLIVEIRA, 1997; LIMA, 1996 apud OLIVEIRA 1997).

Oliveira e Silva (2003) determinaram baixos valores de retração da madeira de eucalipto na região próxima a medula, com maior contração longitudinal, pelo ângulo fibrilar mais aberto. Na região periférica os valores de retração da madeira foram mais altos nas orientações radial e tangencial.

Trugilho et al. (2002b), encontraram para a madeira de *Eucalyptus spp* os valores de 9,8, 6,4, 0,3 e 16,3% para as contrações tangencial, radial, longitudinal volumétrica, respectivamente, com o coeficiente de anisotropia de 1,58.

Scanavaca e Garcia (2004) obtiveram para a madeira de *E. urophylla* os valores de retração longitudinal, radial, tangencial e volumétrica de 0,1, 7,2, 12,5 e 19,7 %, respectivamente, e o fator anisotrópico de 1,8, classificando-a como de alta retratibilidade. Gonzalez et al. (2006) encontraram para a madeira de *E. grandis*, de 17

anos, os valores de retratibilidade radial, tangencial, volumétrica de 6,9, 10,9 e de 17,3 % e um fator de anisotropia de 1,58%, pela COPANT 462.

Para amostras de madeira em 3 diferentes posições longitudinais do tronco de *E. dunnii*, de 20 anos, Calori e Kikuti (1997) encontraram os seguintes valores:

Tabela 3.2 – Valores de retração da madeira de árvores de *E. dunnii*, aos 20 anos

Retrações (g/cm <sup>3</sup> )	Posição longitudinal no tronco			
	Base	Meio	Topo	Média geral
Radial	546	6,90	6,36	6,24
Tangencial	9,70	10,58	10,34	10,21
Longitudinal	0,25	0,27	0,22	0,25
Volumétrica	14,84	16,90	16,18	16,00

Fonte: Kalori e Kikuti, (1997).

Oliveira (1997) não obteve um perfil definido de variação no sentido radial da retratibilidade radial da madeira para espécies de eucalipto, ao contrário de outros autores. O índice de anisotropia da madeira foi considerado satisfatório, sendo excelente em *Corymbia citriodora*, normal em *E. urophylla* e ruim em *E. grandis*. No sentido medula-casca, para as 7 espécies de eucalipto, os valores de índice de anisotropia da madeira foram inferiores na região do alburno periférico.

No contexto moveleiro, o fator anisotrópico é importante indicador da qualidade da madeira, pois a variação dimensional da madeira do móvel tem de ser a menor e a mais homogênea possível, para não afetar as ligações, os encaixes e a própria estrutura do móvel. Segundo Galvão e Jankowsky (1995), o emprego da madeira maciça sem a secagem completa na fabricação de móveis resultará variação da sua massa, volume e propriedades mecânicas pela perda da água higroscópica.

Segundo Nahuz; Miranda; Franco (1999) os móveis estão sujeitos a esforços externos e internos. Os internos são gerados devido às alterações dimensionais de contração e inchamento, provocado pela variação da umidade. Levando em conta esses esforços, determinados componentes precisam ser constituídos de madeira de elevada estabilidade dimensional, como aqueles que compõem ligações coladas como em cadeiras e mesas. Nestes casos as ligações são rígidas, e deformações altas podem causar rupturas nas linhas de colagem enfraquecer a ligação. Uma possível solução

para evitar as rupturas em linhas de cola é a utilização de ligações flutuantes. No caso do uso de peças com grandes superfícies, a escolha de espécies com baixos índices de variação dimensional objetiva minimizar a deformação por contração ou inchamento, evitando o aparecimento de tensões de tração ou compressão perpendicular às fibras que provoca folgas, empenamentos ou trincas de topo. Tais defeitos podem, entre outras conseqüências, provocar a ruptura do filme mecânico, verniz com camada espessa.

Na Figura 3.1, observa-se a ruptura da linha de cola com desprendimento da peça em mesa de pinus. Na Figura 3.2, um banco de *E. grandis* apresentou pequenos “degraus” entre os componentes. Nas Figuras 3.3 e 3.4, observa-se fenda aberta em pé de banco e moldura de mesa de *E. dunnii* e *E. grandis*. Os defeitos ilustrados são conseqüência da variação dimensional dos componentes.



Figuras 3.1 e 3.2 - Defeitos em mesa de pinus, banco de *E. grandis*



Figuras 3.3 e 3.4 - Defeitos em banco de *E. dunnii* e mesa de *E. grandis*

Segundo Oliveira (1997) a instabilidade dimensional da madeira pode ser amenizada, com a proteção da superfície com ceras, vernizes, lacas, tintas, etc., aplicadas com a madeira na umidade final de utilização ou de equilíbrio local. Os produtos dificultam a sorção de umidade, minorando a variação dimensional, devendo ser considerados protetores superficiais, de caráter paliativo na proteção da movimentação de umidade da madeira. Já Nahuz; Miranda; Franco (1999) afirmam que o melhor modo de obter madeira estável é a aplicação do correto plano de secagem e a escolha de peças com corte radial sempre que possível.

### **Densidade básica e massa específica aparente da madeira**

A densidade básica e a massa específica aparente são duas formas de representação da densidade da madeira (quantidade de substância madeira por unidade de volume), com diferenças no teor de umidade da madeira no ensaio. São importantes na sua caracterização tecnológica e auxiliam na sua qualificação na atividade industrial, devido a alta correlação com propriedades como a resistência mecânica e a estabilidade dimensional da madeira (TRUGILHO; LIMA; MENDES, 2005). São influenciadas pela variação da largura, espessura da parede e diâmetro do lume das fibras e traqueídeos (SCANAVACA; GARCIA, 2004).

A densidade da madeira de eucalipto, segundo Hillis e Brown (1984), é um parâmetro de qualidade complexo e resultado da variação do diâmetro, largura da parede e do comprimento das células e além do teor de extrativos. A variação da densidade depende da espécie florestal e da interação com o ambiente.

Das propriedades de qualidade da madeira a massa específica é a mais usada, sendo considerada de importância chave na confecção de produtos florestais, representando as suas características anatômica-química (SILVA, J.C., 2002).

Em função da natureza orgânica, heterogênea, porosa e higroscópica da madeira, as propriedades de densidade são fortemente influenciadas pelo teor de umidade. A densidade básica considera a relação entre a massa da madeira absolutamente seca e o volume verde ou saturado da peça. A massa específica aparente relaciona massa e volume a um determinado teor de umidade (0, 15 e, com mais freqüência, a 12%) (KOLLMANN; CÔTÉ, 1968).

A densidade da madeira tende a aumentar com a idade das árvores pelo aumento da espessura da parede e diminuição do lume das células, indicativos da redução da madeira juvenil no tronco da árvore (LIMA, 2005).

Quanto maior o índice dessas propriedades, maior é a retratibilidade e a dificuldade de secagem da madeira, sendo correlacionadas de forma positiva com as propriedades mecânicas, qualidade do acabamento superficial, durabilidade natural e impregnabilidade (OLIVEIRA, 1997; CHIMELO, 1980).

As propriedades da madeira variam no sentido radial em maior ou menor magnitude, dependendo da espécie, idade e posição longitudinal no tronco. A otimização do aproveitamento da madeira sólida ocorrerá com o conhecimento da sua variação radial no lenho das árvores de eucalipto (SILVA, 2005b).

Segundo Trugilho, Lima e Mendes (2005), a variação longitudinal da densidade básica da madeira de eucalipto mostra diferentes tendências. A densidade pode ser (i) decrescente no sentido base-topo, (ii) crescente a partir do DAP ou (iii) apresentar valores alternados decrescentes e crescentes. A proporção de madeira juvenil na direção longitudinal do caule tende a aumentar, diminuindo a densidade, como resultado imediato. As variações dessa propriedades ao longo do tronco são menos consistentes do que as da direção radial.

Calori e Kikuti (1997) e Cruz et al. (2003) apud Lima (2005) estudaram a variação longitudinal da densidade da madeira de 5 árvores de *E. dunnii*, de 20 anos, sem encontrar diferenças significativas. Santos, Garcia e Geraldi (2004) constataram maiores valores de densidade básica da madeira na base do tronco, decrescendo à medida que aumenta a altura da árvore.

Oliveira (1997), estudando a densidade da madeira de 6 espécies de eucalipto aos 16 anos, encontrou uma variação longitudinal, menor e altamente significativa, em relação à radial em *E. grandis*, *E. cloeziana*, *E. pilularis*, *E. urophylla*, *E. paniculata* e *E. tereticornis*. Em *Corymbia citriodora* a variação não foi significativa. À exceção da madeira de *E. grandis*, que apresenta aumento da densidade básica na porção média para o topo do tronco, na das demais espécies há uma queda nesse sentido.

Trugilho et al. (2002b) estudando as propriedades físicas da madeira de eucalipto constataram que as toras de diferentes alturas do tronco de uma mesma árvore possuem comportamento semelhante, com tendência das toras de melhor qualidade da

madeira ocorrerem nas posições mais altas. O resultado pode estar relacionado a maior conicidade e desvio da grã da tora basal, demonstrando que a variação longitudinal apesar de existir é menos expressiva que a variação radial. Esta importante variação no sentido radial é determinada pela proporção de madeira juvenil e suas características anatômico-físico-química ao longo do tronco.

Oliveira (1997); Wilkes (1984); Tomazello Filho (1985); Shimoyama e Barrichello (1991); Lima (1996); Carmo (1996); Rezende e Ferraz (1985); Cruz et al. (2003) apud Lima (2005) e Silva (2005b), constataram variação radial da densidade da madeira altamente significativa para *Eucalyptus spp.* Houve tendência de densidade básica da madeira mais baixa na região da medula com aumento acentuado até a região do alburno, com nova tendência de queda.

Hillis (2000) apud Silva, J.C. (2002) afirmou que o limite de densidade básica da madeira dos eucaliptos fica entre 0,4-0,8 e 0,6-0,9 g/cm<sup>3</sup> na madeira juvenil e adulta, respectivamente, conseqüência da estrutura anatômica, quantidade de extrativos, genótipo, sítio, localização geográfica e tratos silviculturais.

A densidade da madeira de árvores de *E. grandis*, aos 7,5 anos, de 3 localidades do estado de Minas Gerais variou de 0,54 a 0,46 g/cm<sup>3</sup> (ARANGO, 2004).

Eucaliptos de madeira de coloração mais escura, como *E. terticornis* e *E. camaldulensis* têm densidade consideradas “pesadas”, de 0,75 a 1 g/cm<sup>3</sup>; espécies de densidade da madeira “medianas” como *E. viminalis*, *E. globulus* e *E. dunnii*, têm 0,5-0,75 g/cm<sup>3</sup>; espécies de densidade da madeira “leves”, como o *E. grandis* têm 0,35-0,5 g/cm<sup>3</sup>. A densidade da madeira ideal varia conforme o seu uso e, de modo geral, a mais densa é a mais resistente e adequada para uso estrutural (ACOSTA, 1995).

Gonzalez et al. (2006) estudando árvores de *E. grandis* aos 17 anos, obtiveram densidade básica da madeira de 0,59 g/cm<sup>3</sup> utilizando a COPANT 461. Lopes e Tomazello Filho (2006), constataram aumento radial da densidade do lenho de *E. dunnii*, aos 18 anos, com 3 regiões típicas de árvores adultas caracterizadas como (i) madeira juvenil (medula-10 cm do raio, de 0,4-0,7 a 0,75-0,85 g/cm<sup>3</sup>), (ii) de transição (10-15 cm do raio, de 0,7-0,85 a 0,8-1 g/cm<sup>3</sup>) e (iii) madeira adulta (15-25 cm do raio, de 0,8-1 ou 0,9-1,0 g/cm<sup>3</sup> e redução no alburno).

Oliveira (1997) estudando a variação radial da densidade básica da madeira em 7 espécies de eucalipto, obteve valores de *E. urophylla* (0,65) > *E. grandis* (0,57) > *E.*

*pilularis* (0,53) > *E. tereticornis* (0,48) > *E. cloeziana* (0,43) > *E. citriodora* (0,35) > *E. paniculata* (0,28). As espécies de lenho mais uniforme, com menor variação radial de umidade foram *E. citriodora* e *E. paniculata* e as heterogêneas foram *E. urophylla* e *E. grandis*. A densidade da madeira aumentou da metade do tronco para o topo, a exceção do *E. grandis* com acréscimo de densidade da metade para o topo.

Calori e Kikuti (1997) estudando árvores de *E. dunnii* aos 20 anos, encontraram densidade da madeira de 0,52, 0,55 e 0,57 g/cm<sup>3</sup> na base, no meio e no topo, respectivamente, com média de 0,55 g/cm<sup>3</sup>.

### **Resistência mecânica da madeira**

Os módulos de ruptura (MOR) e o módulo de elasticidade (MOE) da madeira, determinados nos testes de flexão estática, objetivam determinar a resistência e rigidez da madeira à flexão, e são de grande importância na sua caracterização tecnológica. Avaliam a resistência da madeira, sendo requisito básico para a sua utilização sólida, atendendo as exigências do esforço estrutural (SILVA et al., 2005). Segundo Silva, J.C. (2002) dentre os diversos parâmetros mecânicos, a determinação da resistência aos esforços de flexão estática (MOE e MOR) são os mais importantes para o uso estrutural da madeira.

A rigidez da madeira, ou MOE, é medida de sua aptidão para resistir à deformação de determinada carga. O MOR representa a resistência da madeira submetida à flexão expressa em termos de esforços por unidade de área, utilizado na obtenção de tensões admissíveis para a sua utilização (SILVA, J.C., 2002).

Embora o MOE não ofereça informações completas sobre o comportamento da madeira, pode-se concluir que valores altos deste módulo indicam alta resistência e baixa capacidade de deformação, qualificando-a para uso estrutural (KLOCK, 2000 apud SILVA et al., 2005).

Apesar da associação entre a densidade e propriedades mecânicas da madeira é conhecida a existência de espécies de igual densidade média com propriedades de resistência distintas. A madeira de peroba-rosa utilizada na construção civil com alta densidade e baixo módulo de elasticidade é considerada como exemplo, (OLIVEIRA, 1997).

Oliveira (1997) constatou que a madeira de elevada densidade possui elevados valores de MOE e MOR (Tabela 3.2). Na avaliação radial das propriedades da madeira dessas espécies de eucalipto, obteve valores menores próximos a medula, pela formação de madeira juvenil na região central das amostras, aumentando em direção a casca com ligeira queda na região do alburno. A madeira do *E. grandis* a partir da medula apresenta valores bastante baixos do módulo de elasticidade. Silva et al. (2005) encontraram valores de MOE e MOR de 129.230 e 854 kgf/cm<sup>2</sup>, respectivamente, para a madeira de *E. grandis*.

Tabela 3.2 - Densidade básica, módulos de elasticidade e ruptura da madeira de eucaliptos aos 16 anos de idade.

Espécie	Db (g/cm <sup>3</sup> )	MOE (MPa)	MOR (MPa)
<i>E.citriodora</i>	0,72	12.511	96
<i>E.terticornis</i>	0,63	11.104	79
<i>E.paniculata</i>	0,72	12.485	95
<i>E.pilularis</i>	0,55	9.968	67
<i>E.cloeziana</i>	0,69	12.017	90
<i>E.urophylla</i>	0,52	9.398	60
<i>E.grandis</i>	0,46	8.584	52

Fonte: Oliveira, 1997

Gonzalez et al. (2006) determinaram para a madeira de *E. grandis*, aos 17 anos, valores de MOE e MOR de 159.561 e 858 kgf/cm<sup>2</sup>, respectivamente. Calori e Kikuti (1997) avaliando a madeira de *E. dunnii*, aos 20 anos, obtiveram os valores de MOE e de MOR de 15.223,12 e 81,63 MPa, respectivamente.

### Usinagem e qualidade da superfície usinada da madeira

O termo usinabilidade, segundo Silva, J.C., (2002), define o grau de facilidade de processamento da madeira com ferramentas manuais e/ou mecânicas, sendo que a qualidade da usinagem depende da combinação dos atributos e características

intrínsecas da madeira com as condições de atuação das máquinas e ferramentas cortantes. Maldonado (1998) apud Castro (2000) considera a usinabilidade como sendo conceito qualitativo de determinação das propriedades de mecanização da madeira, ou como a facilidade de se manipular a madeira em formas e dimensões definidas, com qualidade superficial, por operações de corte.

Segundo Aguilera e Martin (2001), a otimização das condições de corte diminui o consumo de energia, aproveita-se a melhor matéria-prima, aumenta-se a vida útil das ferramentas, diminuindo os custos de usinagem, aumentando a produtividade e diminuindo o custo final do produto sem perda de qualidade.

De acordo com Castro (2000) um material “A” apresenta melhor usinabilidade do que o “B” quando (i) o desgaste da ferramenta de corte é menor, (ii) a qualidade superficial é maior, (iii) a potência de corte necessária para usinar é menor.

A densidade básica, dos fatores que influenciam a qualidade e facilidade da usinagem da madeira, é a característica tecnológica mais significativa, relacionando-se com a sua resistência mecânica, dificuldade de penetração do dente na madeira e exercendo influência direta sobre o esforço de corte e acabamento final. Segundo Simula e Tissari (1998) quanto maior a densidade da madeira, maior é a velocidade de corte recomendada. A anisotropia, heterogeneidade e abrasividade da madeira também influenciam a usinagem (AGUILERA; MARTIN, 2001).

McKenzie, Cvitkovic e Ringler (2001) encontraram alta correlação entre densidade básica da madeira e a força de corte ( $R^2 = 0,99$ ), além da sílica, resina, direção e extensão das fibras que também afetam de forma significativa a usinagem (CASTRO, 2000; NERI; GONÇALES; HERNANDEZ, 1999). Segundo Gonçalves (1996), o esforço de corte da madeira é mais elevado quando essa se encontra no estado seco (umidade ambiente) em relação ao úmido.

A usinagem também difere conforme os 3 planos de estudo da madeira, em função da direção e do sentido de corte entre a ferramenta e as fibras, sendo classificados por McKenzie (1960) apud Tuburcio et al. (2006) os sistemas de corte em (i) corte paralelo às fibras (fresamento, notação 90-0) e (ii) perpendicular às fibras (notações 0-90 e 90-90) da madeira (Figura 3.5). Segundo Neri, Gonçalves e Hernandez (1999) o trabalho da serra de fita é um típico de corte 90-90, sendo que as maiores forças são requeridas mais para o 90-90 do que para o 90-0. Segundo Silva, J.C. (2002),

os problemas de usinagem da madeira (arrepimento, arrancamento de fibras, lascas, queima da superfície) apareceram, quase sempre, na operação perpendicular as fibras, não se encontrando problemas na usinagem no sentido paralelo as fibras.

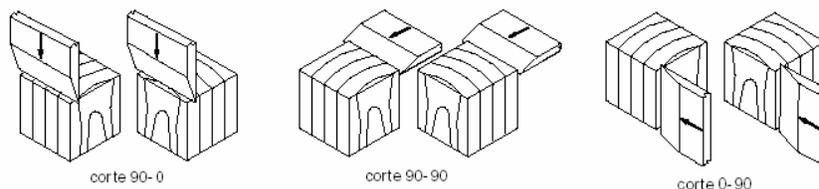


Figura 3.5 - Sistemas de corte classificados por McKenzie (1960)  
Fonte: Neri et al. (2002)

Segundo Gonçalves (1993) as operações de usinagem da madeira são classificadas conforme as relações geométricas do par peça-ferramenta em: corte ortogonal ou desbaste (quando a superfície gerada é um plano paralelo à superfície de trabalho original, como torneamento e serramento contínuo de seccionamento), e fresamento periférico (processo rotativo no qual a madeira é removida em forma de cavacos na forma de vírgula, com a superfície gerada consistindo de uma série de traços devido aos sucessivos contatos de cada aresta cortante). As principais operações são classificadas em função do equipamento empregado: (i) fresamento cilíndrico tangencial (modo discordante *up-milling* ou concordante, *dow-milling*), com três subdivisões, plainamento de superfícies (plaina desengrossadeira e desempenadeira), fresamento de topo (respigadeira simples e dupla) e fresamento de perfis: (fresadora de perfis e plaina de múltiplas faces) e (ii) fresamento frontal (fresadora vertical, tupia e copiadora).

As metodologias encontradas na literatura para a avaliação da usinagem foram: (i) análise do desgaste da aresta de corte (CASTRO, 2000); (ii) adaptação da norma ASTM D1666-87 que busca avaliar qualitativamente o processo de usinagem, sendo que as classes de qualidade superficial propostas são subjetivas e comparativas, graduadas em cinco níveis (SILVA, J.C., 2002; SILVA, J.R., 2002, SILVA, J.C et al., 2005); (iii) medição da potência consumida no processo de corte (CASTRO, 2000; AGUILERA; MARTIN, 2001); (iv) análise do tipo de cavaco formado (NERI; GONÇALVES; HERNANDEZ, 1999); (v) método que utiliza células de cargas compostas de

extensômetros, montada diretamente no dispositivo de fixação da peça-obra em um banco de ensaio de fresamento frontal (CASTRO, 2000); (vi) utilização de célula de carga piezoelétrica adaptadas na mesa de avanço ou sistema de fixação da peça (CASTRO, 2000); (vii) estudo das forças de corte ortogonais utilizando dinamômetro de anéis ortogonais com extensômetros, (NERI, 1998 apud CASTRO, 2000); (viii) medição da força de corte ortogonal na usinagem da madeira dimensionando banco de ensaio com célula de carga bidimensional, montada numa porta-ferramenta (GONÇALVEZ, 2003).

Castro (2000) concluiu que, para as operações de fresamento de perfis, as avaliações mais importantes são o desgaste da ferramenta de corte e a qualidade superficial, cujo indicador é a rugosidade gerada no plano usinado. Nas operações de desbaste o desgaste da ferramenta e a força de corte, ou consumo de potência, revelam maior importância.

Gonçalez et al. (2006) estudando a madeira de *E. grandis* aos 17 anos, constataram o bom desempenho desta perante as máquinas e ferramentas de usinagem, afirmando ser madeira macia, sem resistência às serras e equipamentos de trabalho manuais. Segundo o autor, a grã direita foi fator favorável para o bom desempenho da espécie no ensaio de usinagem.

Silva et al. (1997) apud Silva, J.C. (2002) afirmaram que o comportamento da madeira de *E. grandis* diante das operações de usinagem executadas no setor moveleiro apresentou desempenho semelhante ao das madeiras tradicionais. Néri, Gonçalves e Hernandez (1999), estudando a usinagem da madeira de eucaliptos constataram que são, muitas vezes, densos, duros, pesados e resistentes a usinagem, aumentando a energia requerida e acelerando o desgaste das ferramentas de corte e das máquinas.

A qualidade da superfície usinada da madeira segundo Lemaster e Beall (1996) apud Castro (2000), é função de sua natureza, do processo de manufatura aplicado à madeira ou a uma combinação dos dois. A rugosidade da superfície da madeira usinada determina a sua aplicação final. Deste modo, através da metodologia de controle da rugosidade, pode-se controlar a qualidade da textura final e, conseqüentemente, sua aplicação (AGUILERA; MARTIN, 2001).

Silva, J.C. (2002) afirma que a tecnologia de superfície pode ser entendida como a área tecnológica que descreve e avalia uma superfície e as camadas logo abaixo.

Jouaneh (1989) apud Castro (2000) afirma que a rugosidade superficial, propriedade considerada influente para a madeira na indústria moveleira, é característica das superfícies com efeito sobre o desgaste, fadiga, propriedades adesivas da peça e a estética.

Segundo Lemaster e Beall (1996) apud Castro (2000) as características do processamento que afetam a textura superficial são a imprecisão da máquina-ferramenta, as condições da ferramenta, a vibração da ferramenta ou da peça-obra e a geometria de corte. Castro (2000) afirma que dentre as características da madeira que afetam o desempenho do acabamento superficial, as mais importantes são a estrutura anatômica, o teor de umidade e a direção das fibras da madeira (grã).

As facas ou dentes de uma ferramenta para usinagem da madeira não produzem uma superfície totalmente plana, pois trabalham em regime de rotação, associadas aos movimentos de avanços. Nestes tipos de usinagem, é produzida uma série de pequenas ondulações denominadas avanço por dente ( $fz$ ). O comprimento deste é resultado da interação entre velocidade de avanço ( $Vf$ ) (é dada em metros por minuto, corresponde ao movimento relativo entre a peça de madeira e a ferramenta de corte), o número de dentes e a rotação. O  $fz$  e a  $Vf$  são os principais parâmetros de avaliação da qualidade da superfície. Eles são inversamente proporcionais à qualidade, ou seja, quanto menor os valores de  $fz$  e  $Vf$ , maior é a qualidade. O  $Vf$  deve ser variada conforme o tipo de madeira a ser trabalhada: as menos densas normalmente são trabalhadas com uma velocidade de corte maior, e vice-versa (SILVA et al., 2004).

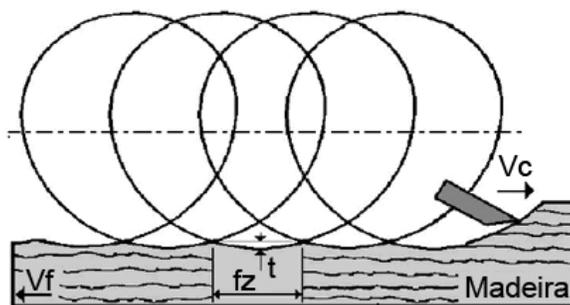


Figura 3.6 - Grandezas de corte em aplainamento cilíndrico tangencial na direção discordante, sendo  $fz$  = avanço por dente,  $t$  = profundidade do golpe do dente,  $Vc$  = velocidade de corte e  $Vf$  = velocidade de avanço. Fonte: adaptação de Weissenstein (2000)

Existem inúmeras técnicas de medição da qualidade da superfície usinada, como apalpamento mecânico, técnicas óticas paramétricas e não paramétrica,

microscopia, emissão acústica, ultra-som, técnica pneumática, avaliação do tipo do cavaco gerado e capacitância (CASTRO, 2000). Aguilera e Martin (2001) utilizaram laser para medição de rugosidade superficial.

Silva et al. (2006) afirmaram que uma alternativa para medir os parâmetros de acabamento superficial é adaptar ao setor madeireiro os equipamentos aplicados de outros setores industriais. Um dos modos de se avaliar a qualidade da superfície usinada de uma superfície é através da avaliação das propriedades de um perfil bidimensional (Figura 3.7) através do rugosímetro, aparelho projetado para verificar textura em metais, plásticos e superfícies de dentes, que mede uma superfície segundo a variação vertical em função de um deslocamento horizontal.

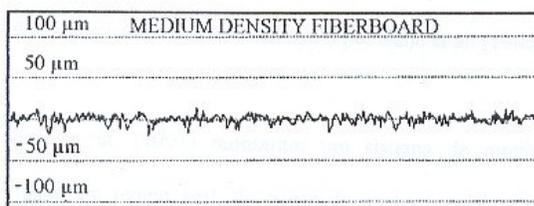


Figura 3.7 – Exemplo de perfil de rugosidade superficial de MDF, Castro (2000)

O rugosímetro Surtronic 3+ (TAYLOR HOBSON, 2005) é um aparelho de arraste, que realiza a medição da rugosidade de uma superfície por apalpamento mecânico. É constituído de uma haste, uma agulha e um visor, onde se podem obter as medições dos diversos parâmetros. A haste, em forma de um bastonete, tem a função de ligar o visor à agulha. Já esta é o componente responsável pelo arraste ao longo da amostra. O dispositivo elétrico capta os impulsos. É importante utilizar uma mesa de mármore como suporte para colocação da amostra e para fixação do aparelho, objetivando a redução das vibrações da amostra, fato que afeta a qualidade da medição (SILVA et al., 2006).

Segundo Triboulot (1984), a grande dificuldade na medição de estado de superfície da madeira com o rugosímetro de apalpação são os aspectos dos elementos anatômicos da madeira que prejudicam a leitura do aparelho. Ainda segundo Silva, J.R., (2002), a limitação do aparelho de arraste utilizado é o grande raio da agulha, que impede sua penetração em todos os declives da superfície.

Os parâmetros de rugosidade representam uma forma da expressão matemática entre a variação vertical das superfícies, expresso pelos picos e vales e o deslocamento horizontal do sensor (agulha). Para o Surtronic 3+, os parâmetros de rugosidade fornecidos são o  $Ra$ ,  $Rq$ ,  $Rt$ ,  $Ry$  e  $Rz$  e  $Sm$ . Para esse estudo será analisado o parâmetro  $Ra$  (que é determinado por meio da Equação 1), que segundo Castro (2000), é o mais indicado para a avaliação de acabamento devido ao baixo coeficiente de variação.

$$R_a = \frac{1}{L} \int_0^L |y(x)| dx \quad (1)$$

Silva et al. (2006) analisando a qualidade da superfície usinada em *Eucalyptus spp* através de rugosímetro em duas diferentes velocidades de avanço  $V_f = 15$  e  $30$  m/s, constataram que a menor velocidade apresentou maior qualidade de acabamento superficial.

Gonzalez et al. (2006), estudando o acabamento de *E. grandis* e *E. cloeziana* aos 17 anos, afirmaram que a presença de grã reversa dificultou a usinagem e a qualidade do acabamento final. Para o *E. grandis*, a facilidade da usinagem e o bom acabamento final resultado da grã direita. Aguilera e Martin (2001), concluíram que a heterogeneidade da densidade da madeira ao longo do material usinado influencia a rugosidade final, e que quanto menor a densidade, pior será a qualidade final da superfície usinada.

Tiburcio et al. (2006) analisando os gráficos das médias totais de  $Ra$  por  $V_f$  de *E. grandis* e *E. citriodora* comprovaram uma sensível melhora na rugosidade superficial proporcionalmente a diminuição da  $V_f$ . SENAI (1998) usinando a madeira de *E. grandis*, encontrou os melhores acabamentos de superfície com baixas velocidades de alimentação para operação de fresagem no sentido longitudinal ou paralelo às fibras.

### 3.4 As espécies de eucalipto selecionadas para este estudo

Para este estudo foram selecionadas três espécies de eucalipto: o *Eucalyptus dunnii*, o *Eucalyptus urophylla*, e o *Eucalyptus grandis*, aos 18 anos de idade.

### ***Eucalyptus grandis***

Ocorre naturalmente no norte do estado de New South Wales e na região central e norte de Queensland-Austrália, do nível do mar até 1100 m de altitude, com 1000-1800 mm/ano de precipitação no verão. A temperatura máxima média varia entre 24-30°C e a mínima média varia de 3-8°C (HILLS; BROWN, 1984).

A opção pelo *Eucalyptus grandis* no Brasil está relacionada à sua excelente resposta silvicultural com boa forma e rápido crescimento, além de propriedades da madeira desejáveis para usos múltiplos, como a massa específica média, grã direita, fácil usinagem, boa aceitação de acabamento e cor levemente avermelhada. (TOMASELLI, 2000). Oliveira (1997) comparando a produtividade de 7 espécies de eucalipto concluiu que o *E. grandis* é o mais produtivo. As árvores da espécie apresentam sensibilidade a geadas severas, relativa resistência a deficiência hídrica, boa regeneração por brotação de cepas e ritmo de crescimento e rendimento volumétrico superiores às espécies convencionais.

Segundo Arango (2004), trata-se de uma das espécies mais promissoras para a indústria moveleira, pela maior área de plantação dentre as espécies comerciais. Também é a mais difundida e estudada e pela madeira apresentar boa aparência, usinabilidade, e características muito semelhantes ao mogno, como a densidade, resistência e elasticidade, não apresentando problema na colagem e na pintura. Apresenta, no entanto, problemas de empenamento, contrações e rachaduras nas operações de desdobro e secagem. A sua madeira é medianamente leve, fácil de ser trabalhada em usinagem, com baixa estabilidade dimensional e alta permeabilidade. A madeira de plantações de ciclos curtos destinada para serraria é utilizada para produtos de menor valor agregado como caixotaria, pallets e moirões, etc. Silva J.C. (2002) estudando a madeira de eucaliptos destacou a do *E. grandis* pela qualidade nos seguintes processos finais de serraria: aplainamento, tingimento, colagem e união com pregos e parafusos.

Simula e Tissari (1998), estudando a madeira de espécies de eucaliptos concluíram que a do *E. grandis* é a mais indicada na manufatura de móveis e objetos, devido a fácil trabalhabilidade e bom desempenho na colagem.

Quanto à aplicação estrutural da espécie, Oliveira (1997) desaconselha o seu uso pela densidade média, fraco desempenho das propriedades mecânicas, baixa estabilidade dimensional e alta propensão ao empenamento e fendilhamento.

Atualmente, esta espécie vem sendo cultivada intensivamente no Brasil com o objetivo principal de atender às demandas do setor de celulose e papel, chapas duras, painéis aglomerados, e o setor de carvão vegetal para uso siderúrgico e metalúrgico (SILVA, J.C., 2002).

### ***Eucalyptus urophylla***

Ocorre fora do continente australiano, na Ilha de Timor e outras ilhas a leste, a 300 até 3000 m de altitude, 1000-2000 mm de precipitação anual concentrada no verão. A temperatura máxima é de 32 °C e a média de 8-12 °C. Foi introduzida no Brasil em 1919 com o nome de *E. alba* (HILLS; BROWN, 1984).

As árvores de *E. urophylla* apresentam grande potencial de crescimento em áreas de ocorrência do fungo causador do cancro, *Cryphonectria cubensis*. Apresenta boa produtividade e potencial de utilização para diversos fins. As árvores atingem de 30-60 m de altura, com boa forma do fuste (SCANAVACA E GARCIA, 2004).

As árvores produzem madeira medianamente leve e de resistência mecânica moderadas, de relativa estabilidade e alta permeabilidade. No Brasil tem sido processada para laminação, componentes estruturais na construção civil, caixotaria, mourões, escoras, celulose e papel, chapas duras, painéis, lenha e carvão. Trata-se de espécie apta para regiões sem geadas e de déficit hídrico severo, tendo sido plantada intensivamente em programas de melhoramento genético, principalmente de hibridação (DESCRIÇÃO, 2003).

Oliveira (1997) afirmou que a madeira da espécie em questão possui aplicações estruturais restritas devido à densidade média e propriedades mecânicas (MOE e MOR) baixas. Scanavaca e Garcia (2004) classificaram a madeira como de alta retratibilidade, péssimo indicativo para o seu uso em movelaria.

### ***Eucalyptus dunnii***

A espécie tem distribuição restrita à região nordeste de New South Wales e sudeste de Queensland, Austrália, a 300-800 m de altitude, com clima quente e úmido, com temperatura máxima de 27-30° C e mínima de 0-3° C, com 20-60 geadas por ano, de baixa intensidade. As árvores atingem 50 m de altura e 1-1,5 m até 2,5 m de DAP, com fuste limpo de 30-35 m (HILLS; BROWN, 1984).

A madeira possui estabilidade dimensional regular e elevada permeabilidade, sendo escassos os estudos de suas características tecnológicas, como a densidade, aplicação da madeira sólida, etc. As árvores são plantadas no sul no país pela resistência a geadas e sua madeira utilizada em serraria, laminação, movelaria, construções, celulose e papel, chapas particuladas, chapas duras, caixotaria, mourões, lenha e carvão (LOPES e TOMAZELLO FILHO, 2006).

Calori e Kikuti (1997), indicaram que a madeira de *E. dunnii*, aos 20 anos apresentam propriedades físico-mecânicas superiores a da madeira de *E. grandis* de árvores de mesma idade.

## 4 MATERIAL E MÉTODOS

### 4.1 Espécies de eucalipto e caracterização do local

No trabalho foi utilizada a madeira de árvores de *Eucalyptus grandis*, *E. urophylla* e *E. dunnii*, de 18 anos de idade, procedentes de plantações localizadas na Estação Experimental de Anhembi, Departamento de Ciências Florestais da ESALQ/USP (Figura 4.1).

As coordenadas geográficas da Estação Experimental são latitude de 22°47'S, longitude de 48°09'W e altitude de 500 m, com relevo suavemente ondulado, solo podzólico arenoso e profundo. O clima é classificado como CWA, com verão quente e chuvoso e inverno moderadamente seco e frio, sendo rara a ocorrência de geadas. A temperatura média anual é de 21°C e 17,1°C e 23,7°C as médias das temperaturas nos meses mais frios e mais quentes, respectivamente. A precipitação anual é de 1.350 mm com déficit hídrico de 20 mm.



Figura 4.1 – Aspecto das árvores de *E.grandis* na Estação Experimental de Anhembi-SP

Os plantios foram realizados no espaçamento de 3 x 2 m, sem a aplicação de desrama e efetuados 3 desbastes, mantendo-se as árvores sadias e dominantes.

## 4.2 Delineamento experimental

O delineamento experimental foi dividido segundo os 3 grupos de ensaios (i) físicos, (ii) mecânicos e de (iii) qualidade da superfície usinada, e entre as variáveis dependentes e independentes (Tabela 4.1).

Tabela 4.1 – Delineamento experimental aplicado no trabalho

Ensaio	Variáveis dependentes	Variáveis independentes
Físicos	1 - Espécies: a. <i>E.grandis</i> ; b. <i>E.dunnii</i> ; c. <i>E.urophylla</i> ; 2 – Posição radial dos corpos de prova: a. 0%; b. 33%; c. 66%; d. 100% 3 – Posição longitudinal dos corpos de prova: a. Base; b. Meio; c. Topo.	Retração 1. tangencial; 2. radial; 3. longitudinal; 4. volumétrica; 5. Massa específica aparente; 6. Densidade básica.
Mecânicos	1 - Espécies: a. <i>E.grandis</i> ; b. <i>E.dunnii</i> ; c. <i>E.urophylla</i> ;	Módulo de 1. ruptura à flexão estática; 2. de elasticidade à flexão estática.
Acabamento superficial	1 - Espécies: a. <i>E.grandis</i> ; b. <i>E.dunnii</i> ; c. <i>E.urophylla</i> ;	Vf . 1. 3m/min; 2. 4; 3. 6; 4. 8; 5. 11; 6. 15; 7. 22; 8. 30m/min.

## 4.3 Amostragem da madeira

Para cada espécie de eucalipto foram selecionadas e cortadas 3 árvores, consideradas como repetição.

Para as análises da madeira, em cada indivíduo foram cortados: (i) 2 toretes da porção basal do tronco, com 3 m de comprimento e (ii) discos do lenho, com 15 cm de espessura, na base, posição intermediária e apical, em um total de 6 discos (Figura 4.2). As 2 toras foram utilizadas para a caracterização de cor, os ensaios mecânicos, de qualidade da superfície usinada, e os discos para os ensaios físicos da madeira.

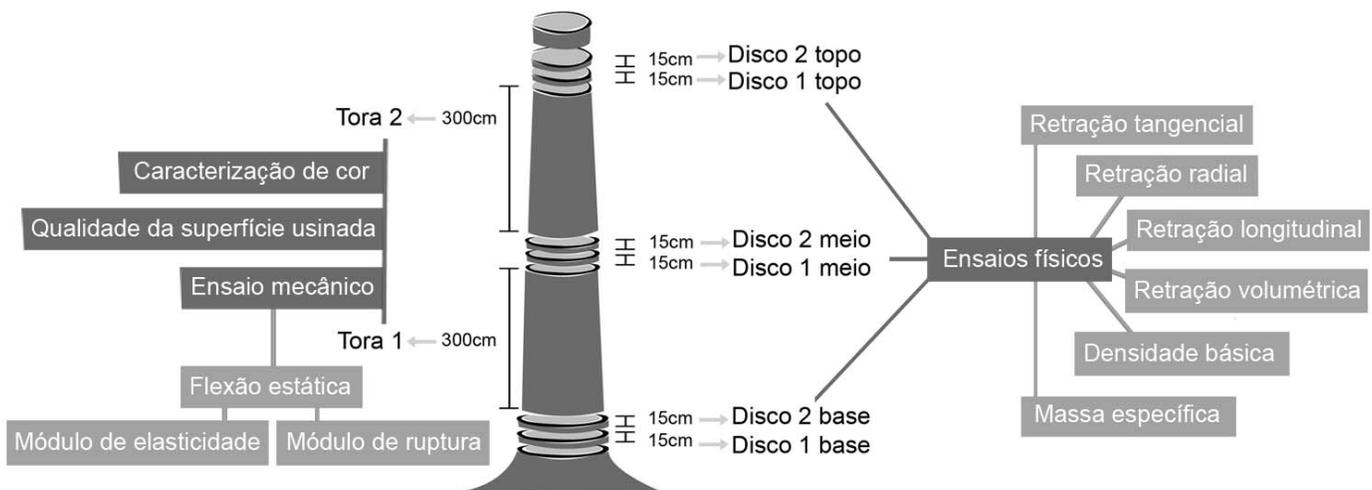


Figura 4.2– Plano amostral para a caracterização estética, ensaios físicos, mecânicos e de qualidade da superfície usinada da madeira

As 18 toras do tronco das árvores de eucalipto (6 toras por espécie) foram desdobradas em pranchas de madeira na Serraria da Prefeitura do Campus Luiz de Queiroz da ESALQ-USP, utilizando serra de fita simples (volante de 1,10m, serra com 3mm de espessura) utilizando-se cortes tangenciais paralelos (Figura 4.3).



Figura 4.3 - Desdobro de prancha de madeira de eucalipto e aspecto geral da serra de engenho simples utilizada

As pranchas de madeira foram mantidas em local coberto, para secagem ao ar livre por sete meses até atingir umidade aproximada de 12%. Foram utilizados tabiques

com 100 cm de espaçamento, sendo que a circulação de ar foi aprimorada com “chaminé” central.

Das pranchas de madeira foram retirados os corpos de prova com as dimensões definidas pela ABNT para o ensaio de flexão estática e nas dimensões de 10 x 5 x 115 cm para o ensaio de qualidade da superfície usinada.

Na seção transversal dos discos retirados das 3 alturas do tronco das árvores, foram demarcados e cortados corpos de prova para os ensaios físicos da madeira localizados em 4 posições radiais do disco do lenho (0, 33, 66 e 100%) (Figura 4.4), sendo cortados 2 corpos de prova por posição, obtendo-se 72 corpos de prova por espécie, sendo 216 corpos de prova, no total.

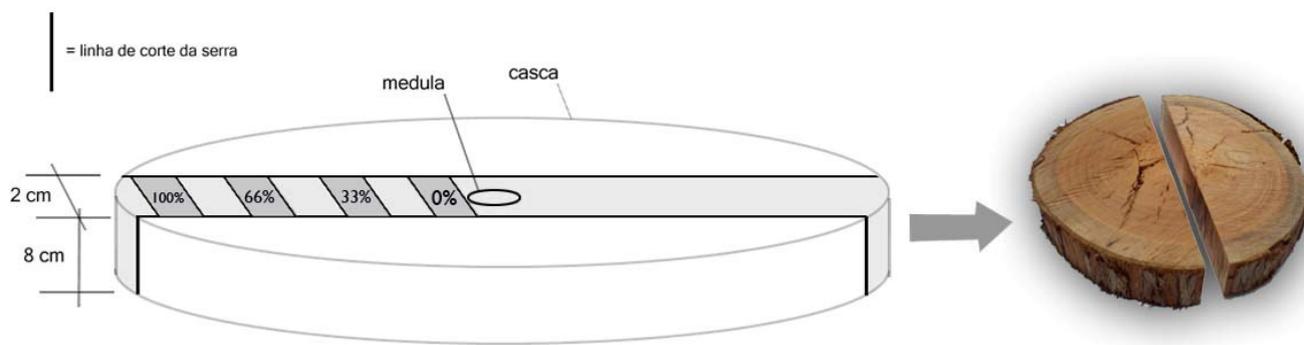


Figura 4.4 – Seção transversal do disco de lenho e demarcação dos corpos de prova radiais para os ensaios físicos da madeira

#### 4.4 Cor da madeira

Para a caracterização da cor das madeiras foi realizada observação do plano longitudinal recém polido na superfície tangencial das porções do cerne e alburno. O posicionamento das peças observadas em relação à altura do fuste foi aleatório. As cores de cerne/alburno foram descritas separadamente quando distintas.

#### **4.5 Ensaio físico-mecânico e de qualidade da superfície usinada da madeira**

Os ensaios laboratoriais compreenderam a determinação da (i) variação dimensional linear e volumétrica da madeira, (ii) densidade básica, (iii) massa específica aparente, (iv) resistência mecânica à flexão estática e o (v) qualidade da superfície usinada.

As propriedades físicas da madeira foram determinadas nos sentidos radial e longitudinal do tronco das árvores das 3 espécies de eucalipto. Este procedimento possibilitou a estratificação das regiões do tronco que poderão constituir-se em componentes específicos dos móveis, na forma de tábuas ou de outras peças, dependendo dos resultados dos ensaios.

Foram utilizadas as normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas, ABNT 7190/96, para os ensaios de física e mecânica. Para o ensaio de qualidade da superfície usinada foi desenvolvida metodologia específica para esse trabalho, por não existir norma que atendesse aos objetivos do ensaio.

#### **Ensaio físico da madeira**

Para a realização dos ensaios de física foi utilizado o paquímetro digital Mitutoyo (precisão 0.01mm), balança Ohaus Precision Plus com precisão de 0,01g (Figura 4.5) e estufa Marconi MA 037. Na aferição das dimensões dos corpos de prova foram demarcados pontos com lápis especial nos 3 planos, possibilitando que as leituras fossem tomadas sempre nos mesmos pontos.

Após a apuração dos resultados de variação dimensional da madeira foi calculado o fator anisotrópico, dividindo-se o valor da retração tangencial pela radial.



Figura 4.5 – Dimensões dos corpos de prova de madeira das 3 espécies de eucalipto e balança de precisão utilizada nos ensaios físicos

### Ensaio mecânico da madeira

Para a determinação do módulo de elasticidade e ruptura à flexão estática, foram preparados 10 corpos de prova por espécie, sendo 30 corpos de prova no total, e acondicionados em câmara de climatização até atingir 12% de umidade, conforme exigência da norma. As aferições foram realizadas em máquina de ensaio Pavitest de 30 ton, gerenciada por microcomputador com o software Pavitest Madeira 2.77-0, com carregamento crescente a uma taxa de 10 MPa por minuto aplicada por meio de um cutelo acoplado ao atuador (Figura 4.6).



Figura 4.6 – Máquina universal de ensaio com corpo de prova de madeira de eucalipto rompido

## Qualidade da superfície usinada

Foi desdobrado um total de 48 corpos de prova por espécie com teor de umidade de 12%. Em cada corpo de prova foram feitas 3 medições com o rugosímetro, totalizando 144 leituras por espécie e 432 leituras no total.

Foram aplicadas 7 diferentes velocidades de avanço: 3, 4, 6, 8, 11, 15 e 22 metros por minuto, e então realizada a medição da rugosidade superficial da madeira. O método de avaliação aplicado foi desenvolvido por Tiburcio (2006), do Laboratório de Madeira da Escola de Engenharia/UNESP, que utiliza o rugosímetro, ferramenta de medição utilizada para metais e plásticos e adequado para a medição da superfície da madeira.

Na realização dos ensaios de qualidade da superfície usinada da madeira foi utilizada: (i) fresadora vertical ou tupia moldureira (Figura 4.7) Raimann, modelo 800, motor de 5,0 CV de potência e rotação de 3450 rpm; com 800 x 800 mm de dimensões de mesa; cabeçote de fresa com faca de aço rápido de diâmetro de 92 mm, 40 mm de largura,  $\gamma_f = 30^\circ$  e  $\alpha_f = 10^\circ$ ; (ii) dispositivo de avanço automático Invicta modelo AI-50-SN, com 3 rolos; (iii) tacômetro de contato digital Microtest, modelo 2245-A (Figura 4.8) e (iv) rugosímetro Taylor Hobson modelo Surtronic 3+, com haste de medição com ponta apalpadora de diamante, de forma cone-esférica, com raio de ponta de 2  $\mu\text{m}$  (código 112/1503) (Figura 4.9).



Figura 4.7 – Aspecto geral da tupia moldureira utilizada na usinagem dos corpos de prova de madeira de eucalipto



Figura 4.8 – Aspecto geral dos equipamentos controlador de avanço Invicta e tacômetro Microtest.



Figura 4.9 – Aspecto do rugosímetro em uso em metal, e visor e ponta do aparelho

Foi utilizado o corte das superfícies das amostras no sentido paralelo às fibras, ou direção 90-0, na qual a aresta de corte faz um ângulo de  $90^\circ$  com a direção das fibras e a direção de movimento a  $0^\circ$  com a direção das fibras. Tal direção foi escolhida pois é comumente aplicada em operações como aplainamento, fresamento e serramento circular para entalhes de baixa penetração de trabalho (GONÇALVES, 1993).

O sentido discordante de corte da madeira foi adotado por se constituir, segundo Castro (2000), na prática de usinagem mais difundida nas indústrias moveleiras pela maior facilidade e segurança operacionais. A rugosidade é tida, porém, como menor no modo concordante devido ao deslizamento da aresta de corte na superfície usinada antes de atingir o final do corte, retirando o excesso de massa agregada nesta aresta.

Na geração de superfícies das peças de madeira, o dispositivo de avanço automático teve a função de fornecer a pressão e velocidade constante ao longo do corte e garantir contato lateral total entre a peça e a guia anterior.

Segundo a ASTM D1666-87, principal norma para os ensaios de usinagem, na condução dos ensaios visando a qualidade superficial recomenda-se afiar as

ferramentas de aço-rápido a cada 1 h de trabalho ininterrupto. No presente trabalho, a ferramenta foi afiada antes do início da operação de cada uma das três espécies de madeira de eucalipto, e o tempo de usinagem por espécie não ultrapassou 30 min.

Um tacômetro manual foi utilizado para medir a rotação da tupia moldureira sendo feitas 5 medições para que o valor médio de 5.814 rpm fosse utilizado nos cálculos. Inicialmente, foi calculada a velocidade do eixo  $V_c$  (m/seg) da tupia moldureira, utilizando-se a equação:

$$V_c = \frac{\pi \cdot z \cdot n}{1000 \cdot 60} \quad (2)$$

onde:

$z$  = número de dentes da ferramenta;

$n$  = rotação da tupia moldureira (rpm).

A velocidade efetiva de avanço  $V_f$  (m/min) em que um corpo de prova de madeira passa pela fresa é dada pela equação:

$$V_f = V_a - V_c \quad (3)$$

onde:

$V_a$  = velocidade de avanço do alimentador (m/min);

$V_c$  = velocidade do eixo da tupia moldureira (m/seg);

Assim, o resultado encontrado de  $V_c$  (0.47m/seg) subtraído à velocidade de avanço  $V_f$  (3, 4, 6, 8, 11, 15 e 22 m/min) resulta na velocidade efetiva que o corpo de prova de madeira passa pela tupia moldureira.

A espessura de corte  $a_e$  empregada foi definida em 10 mm.

O avanço por dente  $f_z$  (mm), ou a transição da peça-obra durante os sucessivos cortes, é expressa pela equação:

$$f_z = \frac{V_f}{z \cdot n} \quad (4)$$

onde:

$V_f$  = velocidade de avanço (mm/min);

$z$  = número de dentes da ferramenta;

$n$  = rotação do fuso (rpm).

O percurso de medição  $l_m$  (mm) é a extensão do trecho útil do perfil de rugosidade utilizado diretamente na medição e possui valor igual a cinco vezes o *cut-off* ou  $\lambda_c$  (mm), que é o comprimento de onda limite, valor que é ajustado diretamente no rugosímetro. Já o comprimento de amostragem  $l_e$  possui valor igual ao  $\lambda_c$ . O  $\lambda_c$  ou comprimento de onda limite utilizado, foi o mesmo em todas as velocidades de avanço, isto é, 0,8 mm.

Tabela 4.2 – Parâmetros utilizados para rotação de 5.814 rpm do equipamento

Velocidade alimentador $V_c$ (m/min)	Velocidade Efetiva $V_f$ (m/min)	Avanço por dente $f_z$ (mm)	Comprimento de amostragem $l_e$ ou $l_n$ (mm)	Percurso de medição $l_m$ (mm)	<i>Cut-off</i> $\lambda_c$ (mm)
3	2,53	0,43	0,80	4	0,80
4	3,53	0,61	0,80	4	0,80
6	5,53	0,95	0,80	4	0,80
8	7,53	1,29	0,80	4	0,80
11	10,53	1,81	0,80	4	0,80
15	14,53	2,5	0,80	4	0,80
22	21,53	3,7	0,80	4	0,80

Os dados de rugosidade superficial foram coletados utilizando o rugosímetro e, em seguida, interpretados de acordo com o parâmetro de avaliação  $R_a$  fornecido pelo aparelho. A velocidade de avanço foi usada como parâmetro para avaliar a qualidade final de acabamento, pois segundo Silva J.C. (2002), o fator que vai determinar o estado da superfície, livre de rugosidades e outras alterações, é o avanço por dente, caracterizado pela grandeza normalizada  $f_z$ , que por sua vez depende diretamente da velocidade de avanço.

#### 4.6 Análise estatística

Inicialmente foi feita a análise exploratória para os dados obtidos em cada ensaio (teste de homogeneidade de variância *outliers*, escala e tamanho da amostra). Em seguida, foi realizada a análise de variância com comparação de médias entre as variáveis pelo teste de Tukey ajustado para o nível de significância de 0,05.

Para os ensaios físicos, foi analisada a interação entre o efeito espécies de eucalipto (3 espécies) x posição radial (4 posições) x posição longitudinal (3 posições),

resultando em ensaio fatorial 3 x 4 x 3. Para os ensaios mecânicos da madeira consideraram-se os efeitos de variação das espécies (ensaio inteiramente aleatorizado). Quanto aos testes de qualidade da superfície usinada, foi considerada a variação de espécies e as diferentes velocidades (ensaio fatorial 3x7). Posteriormente foi realizado estudo de correlação de Pearson entre os ensaios, objetivando elucidar o grau de dependência existente entre os resultados. Os dados foram analisados através do programa SAS versão 9.1.3 , Service Pack 2, XP plataforma, 2002-2003 SAS Institute Corp. Cary, NC, USA.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 Cor da madeira

Os resultados da avaliação da coloração da madeira das três espécies de eucalipto indicam a existência de significativa variação de tonalidades, dependendo da altura e da posição radial das peças no tronco das árvores.

A madeira das árvores de *E. urophylla* apresentou o cerne rosado e o alburno rosado claro, com relativa distinção entre estas duas regiões do tronco. Por outro lado, a madeira das árvores de *E. dunnii* mostrou pouca distinção entre as regiões do cerne e do alburno, com a predominância da coloração bege no cerne e bege acinzentado no alburno. A madeira das árvores de *E. grandis* apresentou uma coloração rosada para o cerne e acinzentada para o alburno, com forte distinção para essas regiões (Figura 5.1). Tais resultados de cores estão de acordo com a bibliografia consultada (IPT, 2003).

A variação das tonalidades das madeiras das espécies estudadas é muito interessante e importante para o segmento de produção moveleiro, pois proporciona a versatilidade necessária para acompanhar as diferentes tendências e exigências do mercado consumidor.



Figura 5.1- Coloração da madeira de cerne das árvores de *E.urophylla*; (a); *E. dunnii* (b); *E. grandis* (c).

## 5.2 Ensaio físicos da madeira

### Retratibilidade e fator anisotrópico da madeira

Os resultados dos ensaios de retração nas orientações tangencial, radial, longitudinal e volumétrica e do fator anisotrópico da madeira das 3 espécies de eucalipto são apresentados nas Tabelas 5.1 a 5.10 e Figuras 5.1 a 5.4.

Os valores de **retração tangencial (RT)** da madeira das 3 espécies de eucalipto são apresentados nas Tabelas 5.1 e 5.2 e Figura 5.2. Os resultados indicam que o *E. dunnii* obteve o pior desempenho, apresentando altos valores de RT, com média 19,12% superior em relação ao *E. urophylla* e 67,62% em relação ao *E. grandis*.

Tabela 5.1 – Valores de retração tangencial da madeira nos sentidos radial e longitudinal do tronco de árvores de *Eucalyptus dunnii*, *E. urophylla* e *E. grandis*

Tratamento	<i>E. dunnii</i>			<i>E. urophylla</i>			<i>E. grandis</i>			
	Média (%)	Tukey	CV (%)	Média (%)	Tukey	CV (%)	Média (%)	Tukey	CV (%)	
Radial	0	13,76	a	13,14	11,94	a	12,61	7,65	a	15,81
	33%	14,76	a	12,50	12,03	a	9,55	8,16	a	14,12
	66%	14,89	a	15,87	12,45	a	6,95	8,49	a	15,17
	100%	12,92	a	13,43	10,87	a	6,95	9,22	a	13,13
Altura	Base	13,88	a	20,35	12,16	a	10,31	8,02	a	9,83
	Meio	14,55	a	10,24	11,75	a	11,60	8,21	a	17,53
	Topo	13,81	a	11,74	11,56	a	8,84	8,91	a	16,63
<b>Geral</b>	<b>14,08</b>	—	<b>14,46</b>	<b>11,82</b>	—	<b>10,25</b>	<b>8,40</b>	—	<b>15,51</b>	

Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, com significância de 5% ( $p < 0,05$ ).

Tabela 5.2 – Teste de Tukey para valores de retração tangencial da madeira nos sentidos radial e longitudinal do tronco de árvores de *Eucalyptus dunnii*, *E. urophylla* e *E. grandis*.

	<i>E. dunnii</i>	<i>E. grandis</i>	<i>E. urophylla</i>	Média (%)	
Distância medula-casca	0%	a	b	a	11,11
	33%	a	b	a	11,65
	66%	a	b	a	11,94
	100%	a	ab	b	11,00
Altura	Base	a	b	a	11,35
	Meio	a	c	b	11,50
	Topo	a	c	b	11,43
<b>Média geral</b>	<b>a</b>	<b>c</b>	<b>b</b>	—	

Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, com significância de 5% ( $p < 0,05$ ). Sentido de leitura para o teste de Tukey (comparação de letras): horizontal.

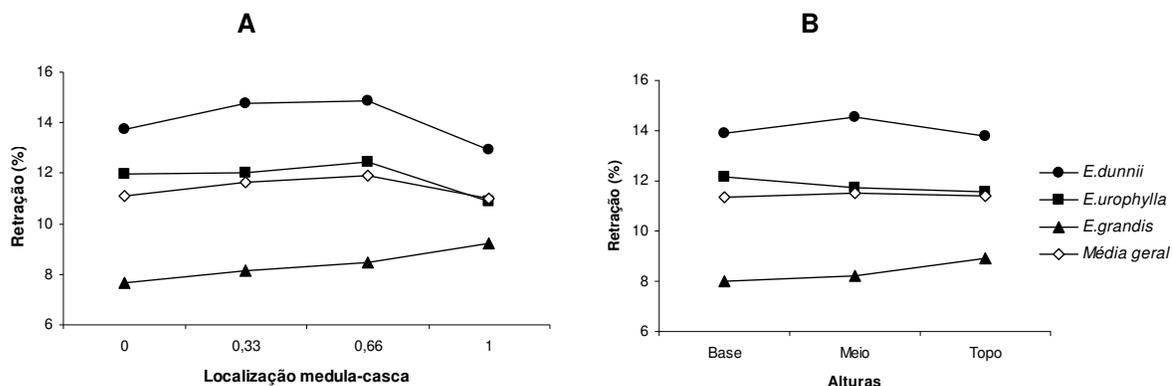


Figura 5.2 - Retração tangencial da madeira de árvores de *E. dunnii*, *E. urophylla* e *E. grandis* nos sentidos radial (A) e longitudinal (B)

Os valores encontrados estão em conformidade com aqueles normalmente encontrados na literatura (OLIVEIRA, 1997; SCANAVACA; GARCIA, 2004; GONZALEZ et al., 2006; ACOSTA, 1998; LELLES; SILVA, 1997 e SILVA, J.C., 2002). O valor médio encontrado para *E. dunnii* encontra-se acima dos valores de duas fontes consultadas (CALORI; KIKUTI, 1997; ROCHA, 2000). Quanto à Rocha (2000), essa constatação se justifica provavelmente devido à idade inferior da árvore (12 anos) ensaiada por aquele autor. Já para o *E. urophylla* e o *E. grandis* foram obtidas média abaixo das fontes citadas, fato que pode ser explicado devido à variação natural que ocorre no material lenhoso.

Segundo o teste de Tukey, não houve diferença significativa entre as médias ao longo do raio para as três espécies. Porém, pela análise descritiva se observa tendência de aumento do valor da RT (Figura 5.2 - A) no sentido medula-casca, tendência amplamente retratada na bibliografia consultada (OLIVEIRA, 1997; SILVA; OLIVEIRA, 2003; WILKES, 1984; TOMAZELLO FILHO, 1985; SHIMOYAMA; BARRICHELO, 1991; LIMA, 1996; CARMO, 1996; REZENDE; FERRAZ, 1985; CRUZ et al., 2003 apud LIMA, 2005; LOPES; TOMAZELLO FILHO, 2006; SILVA, J.R., 2002; SILVA, 2005b; REZENDE, 1997).

Foi constatado nos ensaios queda no valor médio da retratibilidade na região do albúrnio para *E. dunnii* e *E. urophylla*, do ponto 66% ao 100%.

Segundo Silva e Oliveira (2003), a tendência de aumento do valor de RT no sentido medula-casca está relacionada com a redução do ângulo microfibrilar na parede celular, com o aumento do comprimento da célula e do teor de celulose. Silva, J.C. (2002) estudando *Eucalyptus spp* em diversas idades, encontrou maior quantidade de lignina na madeira adulta (região periférica) e menor na juvenil (região central). Cruz

(2000) apud Silva, J.R. (2002), trabalhando com sete clones híbridos naturais do gênero *Eucalyptus* com idades de 5,5 e 10,5 anos, afirma que as dimensões das fibras e vasos aumentam à medida que se afastam da medula.

Panshin e DeZeeuw (1980) encontraram resultados diferentes, concluindo que as retrações da madeira são maiores na madeira juvenil, ou seja, mais próxima à medula, decrescendo rapidamente da medula para a casca. Hillis e Brown (1984) também encontraram semelhante resultado, concluindo que os altos valores de variação dimensional estão associados ao colapso das paredes finas das fibras, contidas nas regiões de baixa densidade, principalmente nas espécies de rápido crescimento.

O teste de Tukey não constatou diferença significativa a 5% entre os pontos ao longo do fuste das espécies em estudo, constatação que corrobora com os resultados encontrados por Rezende (1997) e Calori e Kikuti (1997). Houve diferença estatística entre as médias gerais das três espécies, assim como diferenças entre as espécies para cada tratamento analisado.

Para esse ensaio, o *E. dunnii* obteve o pior desempenho e o *E. grandis* o melhor tendo em vista a aplicação de suas madeiras em movelaria. A característica de retração tangencial é de fundamental importância quando se avalia a madeira para uso sólido, pois se trata de direção em que a madeira possui maior tendência de retração e inchamento, causando danos tais como rachaduras, e vãos entre as peças, prejudicando encaixes. O resultado obtido foi comparado aos dados do Ibama (2007) de duas espécies usualmente empregadas na indústria moveleira, o cumaru (*Dipteryx odorata*) de densidade básica  $0,91\text{g/cm}^3$  e a sucupira (*Bowdichia nitida*) com  $0,77\text{g/cm}^3$ . Os valores de RT das duas espécies, 8,4 e 7,4% respectivamente, estão abaixo dos valores encontrados nesse trabalho, com a exceção do *E. grandis* que obteve valor similar ao cumaru. Tal constatação comprova a alta retratibilidade do gênero documentada em bibliografia (OLIVEIRA, 1997).

O menor coeficiente de variação (CV) pertence ao *E. urophylla* e o maior ao *E. grandis*. Isso indica que a madeira do *E. urophylla* apresenta maior previsibilidade de comportamento em um lote de madeira.

No ensaio de **retração radial (RR)**, os maiores valores foram obtidos para o *E. urophylla*, sendo 28,26% superior ao *E. dunnii* e 56,94% ao *E. grandis* (Tabelas 5.3 e 5.4 e Figura 5.3).

Tabela 5.3 – Valores de retração radial da madeira nos sentidos radial e longitudinal do tronco de árvores de *Eucalyptus dunnii*, *E. urophylla* e *E. grandis*

Tratamento	<i>E. dunnii</i>			<i>E. urophylla</i>			<i>E. grandis</i>			
	Média (%)	Tukey	CV (%)	Média (%)	Tukey	CV (%)	Média (%)	Tukey	CV (%)	
Radial	0	5,07	b	15,50	6,98	a	14,05	4,67	a	20,34
	33%	5,51	b	12,29	7,76	a	18,30	4,31	a	17,19
	66%	6,10	ab	18,46	7,84	a	9,54	4,80	a	19,78
	100%	6,96	a	20,82	7,76	a	10,36	5,54	a	19,46
Altura	Base	5,63	a	10,80	6,80	a	12,05	4,49	a	18,87
	Meio	6,17	a	26,70	7,91	b	12,35	4,61	a	22,69
	Topo	5,92	a	21,68	8,04	b	11,11	5,39	a	17,42
<b>Geral</b>	<b>5,91</b>	—	<b>21,01</b>	<b>7,58</b>	—	<b>13,72</b>	<b>4,83</b>	—	<b>20,79</b>	

Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, com significância de 5% ( $p < 0,05$ ).

Tabela 5.4 – Teste de Tukey para valores de retração radial da madeira nos sentidos radial e longitudinal do tronco de árvores de *Eucalyptus dunnii*, *E. urophylla* e *E. grandis*

Distância radial		<i>E. dunnii</i>	<i>E. grandis</i>	<i>E. urophylla</i>	Média (%)
		0%	b	b	a
radial	33%	b	b	a	5,86
	66%	b	b	a	6,25
	100%	ab	b	a	6,75
Altura	Base	a	b	b	5,63
	Meio	b	c	a	6,23
	Topo	a	a	b	6,45
<b>Média geral</b>		<b>b</b>	<b>c</b>	<b>a</b>	—

Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, com significância de 5% ( $p < 0,05$ ). Sentido de leitura para comparação de letras: horizontal.

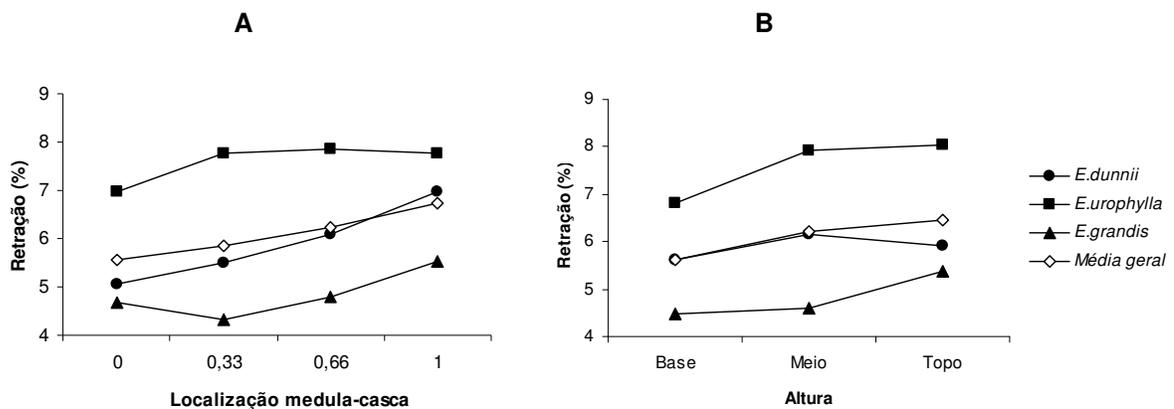


Figura 5.3 - Retração radial da madeira de árvores de *E. dunnii*, *E. urophylla* e *E. grandis* nos sentidos radial (A) e longitudinal (B)

Os valores encontrados estão em conformidade com aqueles normalmente citados na literatura (OLIVEIRA, 1997; SCANAVACA; GARCIA, 2004; GONZALEZ et al., 2006; CALORI; KITUI, 1997; ROCHA, 2000; ACOSTA, 1998; LELLES; SILVA, 1997 e SILVA, J.C., 2002), sendo que somente para o *E. grandis* o valor médio encontrado foi abaixo daqueles consultados. Tal diferença deve-se, provavelmente, à variação natural que ocorre no material lenhoso.

Houve diferença estatística entre as médias gerais das três espécies, assim como diferenças entre as espécies para cada tratamento analisado.

Segundo o teste de Tukey, somente o *E. dunnii* apresentou diferença significativa ao longo do raio. Porém, pela análise descritiva observa-se que existe tendência de aumento do valor da RR (Figura 5.3 - A) no sentido medula-casca, tendência amplamente retratada na bibliografia consultada (OLIVEIRA, 1997; SILVA; OLIVEIRA, 2003; WILKES, 1984; TOMAZELLO FILHO.,1985; SHIMOYAMA; BARRICHELLO, 1991; LIMA, 1996; CARMO, 1996; REZENDE; FERRAZ, 1985; CRUZ et al., 2003 apud LIMA, 2005; LOPES; TOMAZELLO FILHO, 2006; SILVA, 2002; SILVA, 2005b; REZENDE, 1997).

O teste de Tukey constatou diferença significativa a 5% entre as três diferentes alturas ao longo do fuste somente para o *E. urophylla*, apresentando menor valor na base do fuste.

Observando-se a Figura 5.3 - B, constatou-se tendência crescente dos valores de RR ao longo do fuste, com exceção do *E. dunnii* no ponto T2, que apresentou queda de 4,05%. Para as três espécies os menores valores deste ensaio encontram-se junto à base do fuste.

Não foi encontrada tendência para as variações radiais ao longo do tronco para as três espécies, mesmo havendo grande variação de resultados. Tal constatação corrobora com aqueles resultados de Rezende (1997).

Contatou-se, para esse ensaio, que o *E. urophylla* obteve o pior desempenho e o *E. grandis* o melhor tendo em vista o uso da madeira na forma sólida. O menor CV pertence ao *E. urophylla* e o maior ao *E. dunnii*, demonstrando que essa espécie é a que possui tendência a maior heterogeneidade para esse parâmetro. Comparando o desempenho das madeiras das espécies estudadas com duas usualmente utilizadas na indústria moveleira, cumaru e sucupira, cujos valores de RR são 5,4 e 4,5% (IBAMA,

2007), pode-se afirmar que à exceção do *E. urophylla*, que apresentou altos valores, as demais espécies apresentaram resultados similares às espécies usualmente empregadas pela indústria moveleira.

Para o ensaio de **retração longitudinal (RL)** o *E. grandis* obteve maior valor médio, sendo 6,67% superior ao *E. dunnii* e 39,13% ao *E. urophylla* (Tabelas 5.5 e 5.6).

Tabela 5.5 – Valores de retração longitudinal da madeira nos sentidos radial e longitudinal do tronco de árvores de *Eucalyptus dunnii*, *E. urophylla* e *E. grandis*

Tratamento	<i>E. dunnii</i>			<i>E. urophylla</i>			<i>E. grandis</i>			
	Média (%)	Tukey	CV (%)	Média (%)	Tukey	CV (%)	Média (%)	Tukey	CV (%)	
Radial	0	0,65	a	52,31	0,54	a	30,56	0,54	a	71,51
	33%	0,61	a	47,22	0,42	a	65,03	0,65	a	56,98
	66%	0,47	a	47,78	0,44	a	76,32	0,62	a	44,08
	100%	0,65	a	45,46	0,46	a	47,92	0,75	a	46,77
Altura	Base	0,55	a	52,70	0,56	a	37,03	0,67	a	71,29
	Meio	0,65	a	43,26	0,46	a	50,13	0,72	a	45,52
	Topo	0,59	a	62,00	0,38	a	65,62	0,53	a	69,26
<b>Geral</b>	<b>0,60</b>	—	<b>52,41</b>	<b>0,46</b>	—	<b>54,02</b>	<b>0,64</b>	—	<b>64,20</b>	

Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, com significância de 5% ( $p < 0,05$ ).

Tabela 5.6 – Teste de Tukey para valores de retração longitudinal da madeira nos sentidos radial e longitudinal do tronco de árvores de *Eucalyptus dunnii*, *E. urophylla* e *E. grandis*

	<i>E. dunnii</i>	<i>E. grandis</i>	<i>E. urophylla</i>	Média (%)
Distância medula-casca	0%	a	a	0,58
	33%	b	a	0,56
	66%	b	a	0,51
	100%	b	a	0,62
Altura	Base	a	a	0,59
	Meio	ab	a	0,61
	Topo	a	a	0,5
<b>Média geral</b>	<b>a</b>	<b>a</b>	<b>b</b>	—

Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, com significância de 5% ( $p < 0,05$ ). Sentido de leitura para comparação de letras: horizontal.

Os valores médios encontrados para as três espécies estão acima daqueles encontrados na literatura consultada (OLIVEIRA, 1997; CALORI; KIKUTI, 1997; ROCHA, 2000; ACOSTA, 1998; e LELLES; SILVA et al., 1997). Silva, J.C. (2002) estudando *E. grandis* aos 25 anos encontrou média maior que aquela encontrada para a mesma espécie nesse trabalho. Merece destaque o *E. dunnii* que obteve valor médio 172,72%

maior que a média da bibliografia consultada (OLIVEIRA, 1997; CALORI; KIKUTI, 1997; ROCHA, 2000; ACOSTA, 1998; LELLES; SILVA, 1997).

Oliveira (1997) afirmou que usualmente a RL total da madeira varia entre 0,1 e 0,9%, sendo que para os usos considerados nobres, não deve ultrapassar 0,3%. Ainda segundo o Oliveira (1997), os valores médios de RL total estão entre 0,1 e 0,2%, sendo que madeira de reação, lenho juvenil e grã reversa apresentam valores mais elevados. Assim, os valores obtidos nesse ensaio segundo classificação dos autores citados, estão acima dos parâmetros de RL aceitáveis para o uso em movelaria.

Não foi constatada tendência para este ensaio nos sentidos radial e longitudinal do tronco. Oliveira (1997) encontrou valores constantes para este ensaio na direção radial. Silva, J.C. (2002) encontrou tendência de diminuição de valores para esse ensaio na direção medula-casca, devido ao fato de a madeira juvenil contida na região medular apresentar excessiva contração longitudinal e conseqüentemente elevado empenamento. Para este trabalho, foram encontrados maiores valores de RL na região medular para *E. dunnii* e *E. urophylla*.

Não houve diferença estatística entre as médias gerais do *E. grandis* e do *E. dunnii*, sendo que as duas espécies diferem do *E. urophylla*.

Para a análise de variação radial, nos pontos referentes a 33, 66 e 100% foi encontrada diferença significativa entre as espécies. Quanto a análise longitudinal, somente no meio do fuste foi encontrada diferença significativa.

Contatou-se que para esse ensaio o *E. grandis* obteve o pior desempenho e o *E. urophylla* o melhor, sendo que o menor CV pertence ao *E. urophylla* e o maior ao *E. dunnii*. O valor da RL é considerado insignificante por vários autores, devido ao seu reduzido valor.

Os valores de **retração volumétrica (RV)** das amostras de madeira das 3 espécies de eucalipto são apresentados nas Tabelas 5.7 e 5.8 e Figura 5.4. Os resultados indicam que o *E. dunnii* obteve o maior valor médio, sendo 2,95% superior ao *E. urophylla* e 50,60% ao *E. grandis*.

Tabela 5.7 – Valores de retração volumétrica da madeira nos sentidos radial e longitudinal do tronco de árvores de *Eucalyptus dunnii*, *E. urophylla* e *E. grandis*

Tratamento	<i>E. dunnii</i>			<i>E. urophylla</i>			<i>E. grandis</i>			
	Média (%)	Tukey	CV (%)	Média (%)	Tukey	CV (%)	Média (%)	Tukey	CV (%)	
Radial	0	20,03	a	8,82	20,11	a	10,62	13,01	a	13,67
	33%	21,56	a	10,22	20,95	a	7,86	13,35	a	13,14
	66%	22,20	a	13,95	21,52	a	4,58	14,18	a	16,20
	100%	21,32	a	14,05	20,10	a	9,31	15,99	a	14,15
Altura	Base	20,67	a	12,87	20,17	a	9,61	13,44	a	11,86
	Meio	22,15	a	10,60	21,11	a	8,70	13,82	a	17,73
	Topo	21,02	a	12,97	20,73	a	7,00	15,13	a	16,34
<b>Geral</b>	<b>21,28</b>	—	<b>12,17</b>	<b>20,67</b>	—	<b>8,46</b>	<b>14,13</b>	—	<b>16,04</b>	

Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, com significância de 5% ( $p < 0,05$ ).

Tabela 5.8 – Teste de Tukey para valores de retração volumétrica da madeira nos sentidos radial e longitudinal do tronco de árvores de *Eucalyptus dunnii*, *E. urophylla* e *E. grandis*

		<i>E. dunnii</i>	<i>E. grandis</i>	<i>E. urophylla</i>	Média (%)
Distância medula-casca	0%	a	b	a	17,72
	33%	a	b	a	18,62
	66%	a	b	a	19,30
	100%	a	b	a	19,14
Altura	Base	a	b	a	18,09
	Meio	a	b	a	19,03
	Topo	a	b	a	18,96
<b>Média geral</b>		<b>a</b>	<b>b</b>	<b>a</b>	—

Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, com significância de 5% ( $p < 0,05$ ). Sentido de leitura para comparação de letras: horizontal.

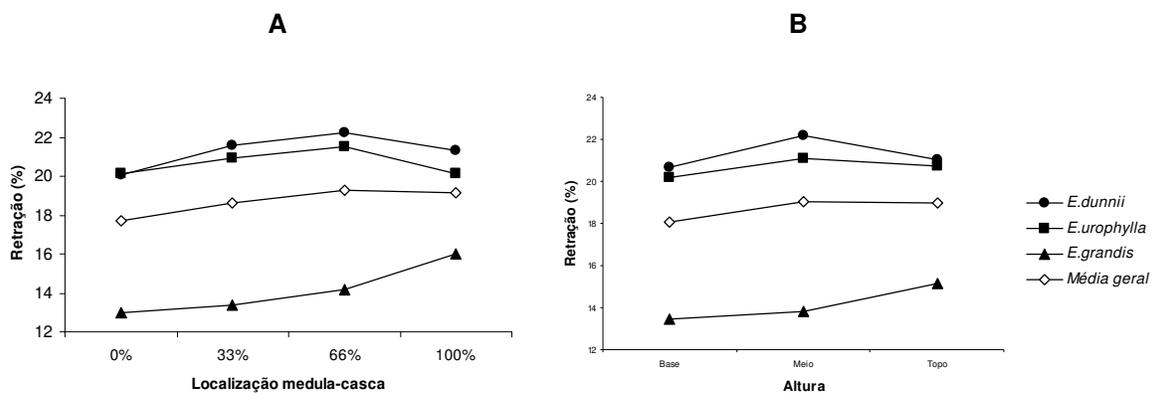


Figura 5.4 - Retração volumétrica da madeira de árvores de *E. dunnii*, *E. urophylla* e *E. grandis* nos sentidos radial (A) e longitudinal (B)

O valor médio encontrado para *E. dunnii* está acima daqueles encontrados na literatura consultada. Para o *E. urophylla*, os valores encontrados estão em concordância, e aqueles para *E. grandis* estão abaixo dos valores consultados (OLIVEIRA, 1997; SCANAVACA; GARCIA, 2004; GONZALEZ et al., 2006; CALORI; KIKUTI, 1997; ROCHA, 2000; ACOSTA, 1998; LELLES; SILVA, 1997 e SILVA, J.C., 2002). Oliveira (1997) estudando esse fator em sete espécies de eucalipto aos 16 anos aproximadamente, encontrou para a RV valores entre 15,9% a 27,2%, respectivamente para as espécies *Eucalyptus grandis* e *E.paniculata*, concluindo que espécies de eucalipto possuem madeira com elevadas CV.

Houve diferença estatística somente entre as médias do *E. grandis* e as demais espécies. Isto é, o *E. dunnii* e o *E. urophylla* não diferem estatisticamente.

Segundo o teste de Tukey, nenhuma espécie apresentou diferença significativa ao longo do raio. Porém, pela análise descritiva observa-se que existe tendência de aumento do valor da RV no sentido medula-casca (Figura 5.4 - A), tendência amplamente retratada na bibliografia consultada (OLIVEIRA, 1997; SILVA; OLIVEIRA, 2003; WILKES, 1984; TOMAZELLO FILHO, 1985; SHIMOYAMA; BARRICHELLO, 1991; LIMA, 1999; CARMO, 1996; REZENDE; FERRAZ, 1985; CRUZ et al., 2003 apud LIMA, 2005; LOPES; TOMAZELLO FILHO, 2006; SILVA, J.C., 2002; SILVA, 2005b; REZENDE, 1997). Já Rocha (2000), encontrou tendência de diminuição de valores no sentido radial na direção medula-casca.

O *E. dunnii* obteve queda de 27,69% na região do alburno e o *E. urophylla* de 6,60%. Segundo Lopes e Tomazello Filho (2006), esta redução na região do alburno indica a presença de vasos abertos e menor teor de extrativos quando comparada com o cerne. Tal fato provavelmente explica a tendência crescente de retração no sentido medula-casca, já que segundo os mesmos autores, a quantidade de lignina presente na madeira apresenta uma correlação positiva com a retração volumétrica.

O teste de Tukey não constatou diferença significativa a 5% entre os pontos ao longo do fuste das espécies em estudo.

A base do fuste foi a região que obteve os menores resultados nesse ensaio para as três espécies (Figura 5.4 - B). Fato relevante mesmo não havendo diferença estatística significativa pelo teste de Tukey.

Os resultados encontrados para a variação longitudinal do ensaio de RV estão de acordo com aqueles encontrados por Trugilho et al. (2002b), Trugilho; Lima e Mendes (2005) e O Potencial (2006). Trugilho et al. (2002b) encontrou curva de RV similar à curva da densidade. Os mesmos autores também constataram que as variações ao longo do tronco são menos significativas, quando comparadas à variação ao longo do raio.

Não foi encontrada tendência para as variações radiais ao longo do tronco para as três espécies, mesmo havendo grande variação de resultados. Tal constatação corrobora com aqueles resultados de Rezende (1997).

O *E. grandis* obteve o maior CV (16,04%), 89,6% mais alto que o *E. urophylla*, fato que revela maior homogeneidade daquela espécie quanto a este índice quando comparado ao *E. urophylla*. O *E. urophylla* e *E. dunnii* apresentaram valores de RV bem superiores àqueles apresentados pelo cumaru e sucupira, 13,5% e 12,3% (IBAMA, 2007), respectivamente. Tratam-se de espécies utilizadas com frequência pela indústria moveleira, e que apresentam desempenho satisfatório.

Observou-se que para esse ensaio, o *E. grandis* obteve valores médios expressivamente menores, mostrando-se ser a espécie mais indicada para componentes onde a variação dimensional é indesejada. O *E. dunnii* obteve os maiores valores, sendo assim, madeira com grande tendência de empenamento quanto exposto a mudanças de umidade ambiental.

Segundo Nahuz; Miranda; Franco (1999), quanto às peças com grandes superfícies aplicadas em movelaria, principalmente quando envolve materiais diferentes como vidro, madeira maciça, laminado, chapas ou mesmo madeiras maciças de diferentes espécies, a compatibilização do desempenho é dado pelas deformações. O teor de umidade é o mais importante fator, pois contrações ou inchamentos diferentes entre materiais levam ao aparecimento de frestas ou trincas superficiais de secagem. Também as flechas resultantes dos esforços mecânicos não devem ser perceptíveis visualmente.

Os resultados obtidos demonstram a existência de madeira mais instável dimensionalmente, nas regiões periféricas das três espécies, que deverá sofrer maior deformação por contração ou inchamento, com provável aparecimento de tensões de tração ou compressão perpendicular às fibras provocando folgas, empenamentos ou

trincas de topo. Tais defeitos podem, entre outras conseqüências, provocar a ruptura do filme mecânico, verniz com camada espessa. Por isso, geralmente os acabamentos são feitos com seladoras, para evitar a formação de filmes espessos (NAHUZ; MIRANDA; FRANCO, 1999).

Os valores de **fator anisotrópico (FA)** encontram-se nas Tabelas 5.9 e 5.10 e Figura 5.5.

Tabela 5.9 – Valores de fator anisotrópico da madeira nos sentidos radial e longitudinal do tronco de árvores de *Eucalyptus dunnii*, *E. urophylla* e *E. grandis*

Tratamento	<i>E. dunnii</i>			<i>E. urophylla</i>			<i>E. grandis</i>			
	Média (%)	Tukey	CV (%)	Média (%)	Tukey	CV (%)	Média (%)	Tukey	CV (%)	
Radial	0%	2,80	a	22,28	1,74	a	16,61	1,69	a	22,74
	33%	2,71	a	17,76	1,60	a	21,15	1,92	a	15,93
	66%	2,51	a	25,10	1,61	a	13,84	1,79	a	10,70
	100%	1,92	b	23,90	1,41	a	9,68	1,69	a	12,08
Altura	Base	2,53	a	29,19	1,80	a	12,37	1,82	a	14,12
	Meio	2,51	a	28,39	1,51	a	16,47	1,81	a	16,66
	Topo	2,41	a	20,56	1,46	a	15,28	1,68	a	17,84
<b>Geral</b>	<b>2,48</b>	—	<b>25,81</b>	<b>1,59</b>	—	<b>17,21</b>	<b>1,77</b>	—	<b>16,19</b>	

Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, com significância de 5% ( $p < 0,05$ ).

Tabela 5.10 – Teste de Tukey para valores de fator anisotrópico da madeira nos sentidos radial e longitudinal do tronco de árvores de *Eucalyptus dunnii*, *E. urophylla* e *E. grandis*

		<i>E. dunnii</i>	<i>E. grandis</i>	<i>E. urophylla</i>	Média (%)
Distância medula-casca	0%	a	b	b	2,07
	33%	a	b	b	2,08
	66%	a	b	b	1,97
	100%	a	b	c	1,67
Altura	Base	a	b	b	2,05
	Meio	a	b	b	1,94
	Topo	a	b	b	1,85
<b>Média geral</b>	<b>a</b>	<b>b</b>	<b>b</b>	—	

Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, com significância de 5% ( $p < 0,05$ ). Sentido de leitura para comparação de letras: horizontal.

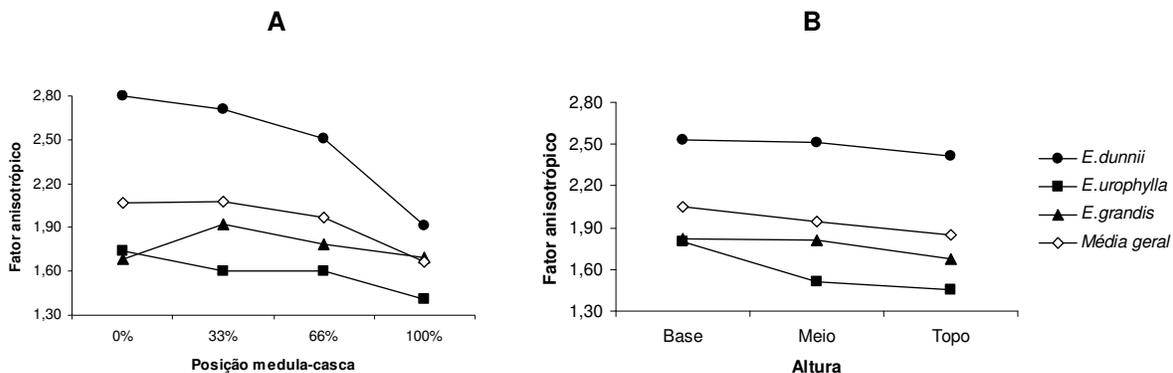


Figura 5.5 – Fator anisotrópico da madeira de árvores de *E. dunnii*, *E. urophylla* e *E. grandis* nos sentidos radial (A) e longitudinal (B)

Os resultados indicam que o *E. dunnii* se diferenciou estatisticamente das demais espécies apresentando valor maior (40,11% superior ao *E. grandis* e 55,97% ao *E. urophylla*) em todas as variações de altura e posição radial.

Conforme a Tabela 5.9, o valor médio deste fator para *E. dunnii* e seu CV estão acima daqueles encontrados na literatura consultada. Já os valores médios para o *E. urophylla* e o *E. grandis* estão em concordância com a literatura (OLIVEIRA, 1997; SILVA; OLIVEIRA, 2003; WILKES, 1984; TOMAZELLO FILHO, 1985; SHIMOYAMA; BARRICHELLO, 1991; LIMA, 1996; CARMO, 1996; REZENDE; FERRAZ, 1985; CRUZ et al., 2003 apud LIMA, 2005; LOPES; TOMAZELLO FILHO, 2006; SILVA, J.C., 2002; SILVA, 2005b; REZENDE, 1997).

Houve diferença estatística somente entre as médias do *E. dunnii* e as demais espécies, com exceção da posição radial 100%, na qual as três espécies diferem entre si.

Encontrou-se tendência decrescente para o valor desse fator no sentido medula-casca, sendo constatado para todas as espécies, menor valor de fator anisotrópico no ponto 100% da posição radial (Figura 5.4 – A). Silva, J.R. (2002), Oliveira (1997) e Silva e Oliveira (2003), também encontraram tendência geral de valores inferiores para esse fator na região do alburno periférico. Tal resultado indica que as madeiras em estudo deverão sofrer menor empenamento e, principalmente, fendilhamento quando sujeitas a diferentes condições de umidade relativa. Já Silva, J.C. (2002) encontrou tendência crescente para esse fator no sentido medula-casca, acompanhando modelo de variação para densidade básica e variação dimensional.

A curva de variação radial do FA da madeira não acompanhou a curva dos índices de variação dimensional. Tal resultado corrobora com a análise feita por Durlo e Marchiori (1992) apud Silva et al. (2004), que conclui que o fator anisotrópico não é suficiente para a caracterização da madeira como sendo estável ou não, exatamente por muitas vezes diferir da tendência apresentada pela curva de variação dimensional, sendo então necessário avaliar a contração tangencial e radial separadamente. Coeficiente de anisotropia alto pode ser resultado de contrações tangencial e radial baixas, revelando madeira de estável dimensionalmente, porém com forte tendência a empenamentos e fendilhamentos.

O FA apresentou tendência decrescente em relação à posição longitudinal (Figura 5.5 - B), constatação que está de acordo com a bibliografia consultada (TRUGILHO et al., 2002b, SILVA; OLIVEIRA, 2003). Já Calori e Kikuti (1997) estudando *E. grandis* aos 20 anos não encontrou tendência longitudinal para esse fator.

Segundo classificação proposta por Silva et al. (2004), para este trabalho, provavelmente o *E. dunnii* seria considerada madeira de elevada instabilidade dimensional como ocorre com araucária, imbuia, álamo, jatobá, entre outras. Já o *E. urophylla* e o *E. grandis* seriam consideradas normais, como em madeiras como ipê, pinus, peroba rosa, teca, entre outras espécies.

Quando comparada a espécies comumente empregadas pela indústria moveleira, o cumaru e sucupira que apresentam FA de 1,56 e 1,64 respectivamente (IBAMA, 2007), somente o *E. urophylla* apresenta resultado semelhante, sendo que as outras espécies apresentaram resultados superiores.

A constatação de que a madeira de *Eucalyptus spp* possui alta instabilidade dimensional e forte propensão a empenamentos e fendilhamentos é amplamente retratada na bibliografia consultada. Assim, para a obtenção de móveis com componentes maciços de madeira desse gênero, são necessários cuidados especiais no desdobro, secagem, e no projeto do mobiliário, de forma que permita o movimento da madeira sem prejudicar a estrutura do móvel (NAHUZ; MIRANDA; FRANCO, 1999).

Panshin e De Zeeuw (1980) afirmam que para a utilização da madeira para a fabricação de móveis, é necessário matéria-prima com alta estabilidade dimensional, e baixo fator anisotrópico. O *E. urophylla*, apesar de não apresentar diferença significativa do *E. grandis* (com exceção do ponto 100% do raio), apresentou sempre os menores

valores para o FA. Através dos valores de coeficiente de variação vê-se que a madeira de *E. dunnii* é a menos homogênea quanto ao FA. Assim, pode-se concluir que para este parâmetro, o *E. dunnii* é a espécie com pior desempenho e o *E. urophylla* o melhor, tendo em vista a utilização em movelaria.

Os valores de **coeficiente de variação** (CV) obtidos nos ensaios físicos estão de modo geral de acordo com a bibliografia consultada. Cabe salientar os altos valores deste coeficiente encontrados no ensaio de retração longitudinal (Tabela 5.5). Altos valores também foram encontrados por outros autores: Calori e Kikuti (1997), estudando *E. dunnii* aos 20 anos encontraram CV de 45,12% e Silva, J.C. (2002) estudando o *E. grandis* aos 25 anos encontrou CV de 122,97%. A explicação para valores altos se deve ao baixo valor da variação no sentido longitudinal e à metodologia utilizada, que não consegue captar com precisão, as pequenas alterações nos corpos de prova.

Não foi constatada tendência no sentido radial para os valores de CV em nenhum ensaio físico da madeira. Entretanto, Silva (2002) encontrou tendência crescente no sentido medula-casca para os valores de CV para o ensaio de retração radial, tangencial e volumétrica da madeira.

Quanto aos valores encontrados para esse trabalho, o *E. grandis* foi a espécie que obteve os valores de CV mais altos para todos os ensaios (com exceção da retração radial), indicando a produção de lenho bastante variável no que diz respeito a estas importantes propriedades. O *E. urophylla* apresentou os menores valores de CV para todos os ensaios, com exceção da retração longitudinal, na qual o *E. dunnii* obteve o menor resultado, apenas 3,07% menor que o *E. urophylla*.

### **Massa específica aparente (ME) e densidade básica (DB) da madeira**

Os valores de massa específica aparente (ME) e densidade básica (DB) da madeira das amostras das 3 espécies de eucalipto são apresentados nas Tabelas 5.11 a 5.14 e Figura 5.6 e indicam maiores valores de DB e ME para o *E. urophylla* e os menores para o *E. grandis*, e tendência crescente no plano radial, sentido medula-casca para as três espécies.

Tabela 5.11 – Valores de massa específica aparente da madeira nos sentidos radial e longitudinal do tronco de árvores de *Eucalyptus dunnii*, *E. urophylla* e *E. grandis*

Tratamento	<i>E. dunnii</i>			<i>E. urophylla</i>			<i>E. grandis</i>			
	Média (%)	Tukey	CV (%)	Média (%)	Tukey	CV (%)	Média (%)	Tukey	CV (%)	
Radial	0%	0,68	b	9,69	0,66	c	4,16	0,64	c	14,54
	33%	0,73	b	7,91	0,91	b	6,05	0,72	bc	12,62
	66%	0,83	a	4,48	1,02	a	4,35	0,81	ab	9,54
	100%	0,88	a	4,36	0,93	ab	2,77	0,85	a	6,54
Altura	Base	0,76	a	13,33	0,9	a	16,42	0,78	a	10,42
	Meio	0,8	a	9,86	0,86	a	17,50	0,75	a	19,03
	Topo	0,78	a	13,51	0,87	a	15,41	0,73	a	15,70
<b>Geral</b>	<b>0,78</b>	—	<b>12,07</b>	<b>0,88</b>	—	<b>16,07</b>	<b>0,75</b>	—	<b>15,11</b>	

Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, com significância de 5% ( $p < 0,05$ ).

Tabela 5.12 – Valores de densidade básica da madeira nos sentidos radial e longitudinal do tronco de árvores de *Eucalyptus dunnii*, *E. urophylla* e *E. grandis*

Tratamento	<i>E. dunnii</i>			<i>E. urophylla</i>			<i>E. grandis</i>			
	Média (%)	Tukey	CV (%)	Média (%)	Tukey	CV (%)	Média (%)	Tukey	CV (%)	
Radial	0%	0,53	b	11,79	0,51	c	3,97	0,47	c	9,56
	33%	0,56	b	8,59	0,71	b	6,97	0,55	b	11,10
	66%	0,64	a	4,97	0,79	a	4,39	0,64	a	8,61
	100%	0,69	a	4,67	0,75	ab	2,56	0,67	a	5,74
Altura	Base	0,59	a	15,47	0,71	a	16,91	0,59	a	15,01
	Meio	0,62	a	10,31	0,68	a	17,51	0,58	a	17,68
	Topo	0,61	a	12,82	0,69	a	15,41	0,57	a	16,49
<b>Geral</b>	<b>0,61</b>	—	<b>12,71</b>	<b>0,69</b>	—	<b>16,27</b>	<b>0,58</b>	—	<b>15,99</b>	

Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, com significância de 5% ( $p < 0,05$ ).

Tabela 5.13 – Teste de Tukey para valores de massa específica aparente da madeira nos sentidos radial e longitudinal do tronco de árvores de *Eucalyptus dunnii*, *E. urophylla* e *E. grandis*

		<i>E. dunnii</i>	<i>E. grandis</i>	<i>E. urophylla</i>	Média (%)
Distância medula-casca	0%	a	a	a	0,66
	33%	b	b	a	0,78
	66%	b	b	a	0,89
	100%	a	a	a	0,88
Altura	Base	b	b	a	0,81
	Meio	b	b	a	0,80
	Topo	b	b	a	0,79
<b>Média geral</b>	<b>b</b>	<b>b</b>	<b>a</b>	—	

Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, com significância de 5% ( $p < 0,05$ ). Sentido de leitura para comparação de letras: horizontal.

Tabela 5.14 – Teste de Tukey para valores de densidade básica da madeira nos sentidos radial e longitudinal do tronco de árvores de *Eucalyptus dunnii*, *E. urophylla* e *E. grandis*

		<i>E. dunnii</i>	<i>E. grandis</i>	<i>E. urophylla</i>	Média (%)
<b>Distância medula-casca</b>	0%	a	a	a	0,50
	33%	b	b	a	0,60
	66%	b	b	a	0,69
	100%	a	a	b	0,70
<b>Altura</b>	Base	b	b	a	0,63
	Meio	a	a	a	0,62
	Topo	b	b	a	0,62
<b>Média geral</b>		<b>b</b>	<b>b</b>	<b>a</b>	—

Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, com significância de 5% ( $p < 0,05$ ). Sentido de leitura para comparação de letras: horizontal.

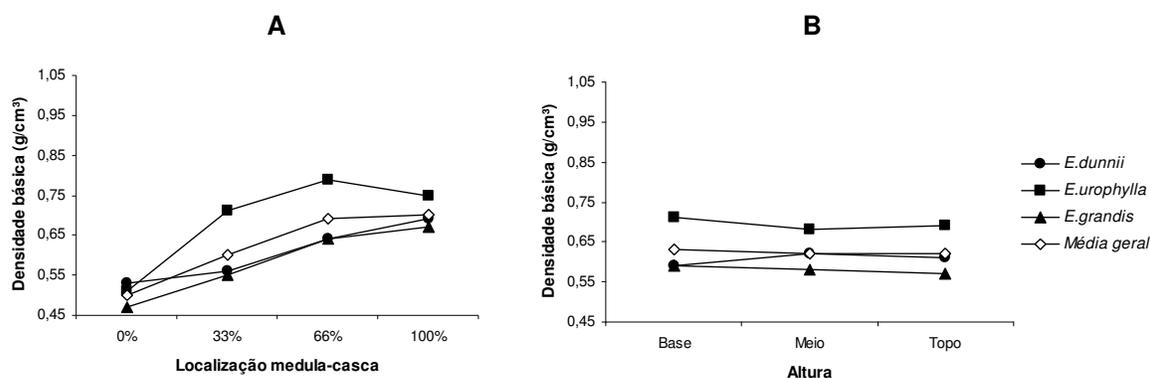


Figura 5.6 – Densidade básica da madeira de árvores de *E. dunnii*, *E. urophylla* e *E. grandis* nos sentidos radial (A) e longitudinal (B)

Para o ensaio de ME houve diferença estatística somente entre as médias gerais do *E. urophylla* e as demais espécies, sendo que esta espécie obteve resultado 12,82% superior ao *E. dunnii* e 17,33% ao *E. grandis*. Conforme a Tabela 5.11 o valor médio deste fator o respectivo coeficiente de variação observado para *E. dunnii* está em concordância com a literatura consultada (LIMA, 2005; ROCHA, 2000 e SILVA, 2002). Para o *E. urophylla* não foi encontrado em literatura este parâmetro para esta espécie em idade adulta. O *E. grandis* obteve valor acima do encontrado na literatura consultada, com a exceção do valor citado por Lima (2005) estudando essa espécie aos 21 anos, que obteve valor similar na altura de 100% do raio, onde geralmente se encontram os maiores valores para a ME.

Os valores encontrados de DB apontam a mesma magnitude de variação e diferenças estatísticas apresentadas para a ME. O valor médio deste fator e seu coeficiente de variação observado para as três espécies estão em concordância com

aqueles encontrados na literatura consultada (CALORI; KIKUTI, 1997; ARANGO, 2004; GONZALEZ et al., 2006; ROCHA, 2000; BORTOLETO, 2003 e OLIVEIRA, 1997).

Contatou-se que a madeira do *E. urophylla* apresentou valores superiores de média para os dois ensaios, seguido pelo *E. dunnii* e *E. grandis*. A similaridade entre os resultados já era esperado devido à alta Correlação de Pearson obtida para a ME e DB para as três espécies: 0,97 para *E. dunnii*; 0,99 para *E. urophylla*; e 0,95 para *E. grandis*.

Para Panshin e de Zeeuw (1980), as variações da massa específica e densidade básica são resultados das diferentes espessuras da parede celular, das dimensões das células, das inter-relações entre esses dois fatores, da quantidade de extrativos presentes por unidade de volume.

Encontrou-se tendência para ME e DB de valores médios mais baixos na região da medula (como conseqüência da presença de madeira juvenil), ocorrendo aumento acentuado desses valores ao longo do raio, (Figura 5.6 - A), tendência amplamente retratada na bibliografia consultada (HILLIS; BROWN, 1984; PANSHIN; ZEEUW, 1980; OLIVEIRA, 1997; WILKES, 1984; TOMAZELLO FILHO, 1985; SHIMOYAMA; BARRICHELO, 1991; LIMA, 1996; CARMO, 1996; REZENDE; FERRAZ, 1985; CRUZ et al., 2003 apud LIMA, 2005; LOPES; TOMAZELLO FILHO, 2006; GONÇALVES, 2006 e SILVA, 2005b; LIMA, 1999, TRUGILHO et al., 2002b). Segundo Hillis e Brown (1984), os extrativos presentes no cerne das folhosas crescem na direção radial no sentido medula-casca, tendo influência direta no valor da densidade básica da madeira. Na madeira do *E. urophylla* se constatou tendência de queda deste fator na altura do alburno, tendência também constatada por alguns autores (LOPES; TOMAZELLO FILHO, 2006).

Foelkel et al. (1983) apud Rezende (1997), estudando *Eucalyptus saligna* aos 9 anos de idade encontrou a madeira do cerne menos densa que a do alburno, sugerindo que a queda observada na região do alburno por alguns autores ocorra em árvore com idade mais avançada.

Lopes e Tomazello Filho (2006) estudando o lenho de *E. dunnii* aos 18 anos pontuaram 3 regiões distintas de densidade do lenho das árvores, típicas de árvores adultas, e caracterizadas como (i) madeira juvenil (da medula até 10 cm do raio, com variação de 0,40-0,70 a 0,75-0,85 g/cm<sup>3</sup>), (ii) de transição (de 10 a 15 cm do raio, com

variação de 0,70-0,85 a 0,80-1,0 g/cm<sup>3</sup>) e (iii) madeira adulta (de 15 a 25 cm do raio, com variação 0,80-1,0 ou de estabilização a 0,90-1,0 g/cm<sup>3</sup> e redução na região do alburno).

Quanto à variação dos dois fatores ao longo da altura não foi encontrada linha de tendência, tampouco diferença significativa entre as médias dentro das espécies, fato também constatado por alguns dos autores consultados (KALORI; KIKUTI, 1997 e CRUZ et al., 2003 apud LIMA, 2005). Já Rezende (1997), Santos; Garcia e Geraldi (2004) e Shimoyama (1990) apud Silva, J.C. (2002) estudando a madeira de *E. grandis* encontraram maiores valores de densidade básica na base do fuste, decrescendo ao longo da altura da árvore, encontrando os menores valores no topo. Segundo Silva, J.C. (2002) o fato que explica esse resultado é a presença de extrativos em maior concentração na base do fuste. Oliveira (1997) e Carmo (1996) encontraram tendência crescente para essa espécie e decrescente para o *E. dunnii*. Gonçalves (2006) estudando o híbrido *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* aos 14 anos constatou tendência linear crescente da densidade básica da madeira no sentido axial. Trugilho et al. (2002b) encontrou madeira de melhor qualidade nas posições mais altas, resultado que está provavelmente relacionado com maior conicidade e desvio da grã da tora basal.

Conforme esperado, a partir dos resultados obtidos para os ensaios de variação dimensional, o *E. urophylla* apresentou resultados bem superiores de ME e DB e o *E. grandis* os menores valores para esses ensaios. Tal expectativa se baseia na alta correlação encontrada em literatura entre os ensaios de retração e os de densidade, pois em ambos a dimensão da parede celular é o fator determinante.

Ao contrário de constatação encontrada em literatura (HILLIS; BROWN, 1984), que diz que o aumento do valor da DB é mais sutil a medida que aumenta a altura da árvore, neste estudo a amplitude de variação para os valores de DB ao longo do fuste não obtiveram tendência definida, sendo que para o *E. dunnii* e o *E. grandis* a menor variação encontra-se na base, já para o *E. urophylla*, no topo.

Através dessas observações, concluiu-se que existiu grande variabilidade entre as alturas e posições radiais, com relação às variações de ME e DB. Esses aspectos ressaltam as dificuldades encontradas para se determinar corretamente a ME ou DB média de uma espécie.

Como se pode observar, as tabelas 5.13 e 5.14 são similares para o teste de Tukey, com exceção da análise longitudinal do meio do fuste. Não foi constatada diferença estatística entre as médias do *E. grandis* e o *E. dunnii*, somente entre as do *E. urophylla* e as demais espécies, com exceção da posição radial 100%, na qual as três espécies diferem entre si.

Segundo classificação de Acosta (1995), os eucaliptos se enquadram em três classes de densidade: (i) os de alta densidade, de 0,75-1 g/cm<sup>3</sup>; (ii) as medianas com 0,5-0,75 g/cm<sup>3</sup>; (iii) leves, contendo 0,35-0,5 g/cm<sup>3</sup>. Seguindo tal classificação, o *E. grandis* seria classificado entre leve e pesado, sendo que a região da medula estaria entre as madeiras medianas. Já o *E. dunnii* e o *E. urophylla* como pesado, somente com a região da medula como leve. Acosta (1995) em seus estudos classificou *E. grandis* como leve, e *E. dunnii* como mediano.

Segundo classificação de Hillis (2000) apud Silva, J.C. (2002), o limite de densidade básica da madeira dos eucaliptos fica entre 0,4-0,8 e 0,6-0,9 g/cm<sup>3</sup> na madeira juvenil e adulta, respectivamente. As espécies estudadas se enquadram nessa classificação.

Os ensaios de medição da ME e DB são de extrema importância, pois se tratam de fatores tecnológicos da madeira que servem de parâmetro para as mais diversas qualificações, tais como: variação dimensional, resistência mecânica e qualidade da superfície usinada, características fundamentais para a utilização da madeira na forma sólida em movelaria. Assim, o fato do *E. urophylla* possuir as maiores ME e DB significa, em termos gerais, maior variação dimensional, maior resistência mecânica e melhor acabamento superficial. Como se trata de material biológico sujeito a variações naturais do lenho, tais correlações podem variar.

### **5.3 Ensaio mecânico da madeira**

Os resultados dos ensaios mecânicos das amostras de madeira das 3 espécies de eucalipto apresentados na Tabela 5.15 indicam que houve diferença estatística entre as médias gerais do *E. urophylla* e as demais espécies para os dois módulos analisados.

Tabela 5.15 – Valores médios dos módulo de elasticidade e de resistência da madeira de *Eucalyptus dunnii*, *E. urophylla* e *E. grandis*

		Espécie	<i>E. dunnii</i>	<i>E. urophylla</i>	<i>E. grandis</i>
<b>MOE</b> (MPa)	Média		24.336,00	27.867,00	24.209,00
	Tukey		b	a	b
	CV(%)		21,00	4,42	16,82
<b>MOR</b> (MPa)	Média		123,39	150,69	117,65
	Tukey		b	a	b
	CV(%)		14,19	5,75	17,21

Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, com significância de 5% ( $p < 0,05$ ). Sentido de leitura para comparação de letras: horizontal.

Os valores médios encontrados para as três espécies em estudo estão acima do encontrado na bibliografia consultada (OLIVEIRA, 1997; CALORI; KIKUTI, 1997; LIMA, 2004; SCANAVACA; GARCIA, 2004; SILVA et al., 2005; GONÇALVEZ et al., 2006; SILVA, 2002). Tal diferença se deve provavelmente à variação natural que ocorre no tecido lenhoso, fato amplamente documentado em literatura e confirmado nos ensaios físicos deste trabalho. Os CV variaram bastante entre as espécies, sendo que o *E. dunnii* obteve valor bem superior e o *E. urophylla* bem inferior.

A espécie *E. urophylla* apresentou os valores superiores para os dois módulos estudados, mesmo não havendo para o MOE diferença significativa estatisticamente entre as espécies. A espécie em questão também apresentou os valores de CV significativamente menores, demonstrando assim maior resistência e homogeneidade destes módulos dentro do lote de madeira. Já a espécie *E. grandis*, apresentou os menores valores para os dois módulos calculados, apesar de não possuir diferença significativa do *E. dunnii* para os dois ensaios. Tais resultados corroboram com tendência amplamente retratada na bibliografia consultada, na qual a resistência da madeira está associada à sua densidade, o que pode explicar as maiores resistências, em termos absolutos, encontradas nas espécies de maior densidade (PANSHIN; DE ZEEUW, 1980; HILLS; BROWN, 1984). Somente Oliveira (1997) encontrou baixos valores de MOE e MOR para madeira de *E. urophylla*.

Segundo Oliveira (1997), apesar de existir elevada associação entre densidade e propriedades mecânicas, é também conhecida a existência de espécies lenhosas de mesma densidade média, porém com propriedades de resistência distintas. Como

exemplo pode-se citar a peroba rosa, amplamente utilizada na construção civil, que possui alta densidade e baixo módulo de elasticidade. Tal fato, segundo o mesmo autor, se deve às variações nas propriedades anatômicas. Chimelo (1980) apud Silva, J.C. (2002), procurando relacionar as propriedades mecânicas e físicas, verificou um alto nível de correlação estatística entre a massa específica e as propriedades de resistência à flexão estática (MOE e MOR), concluindo ainda que as propriedades mecânicas podem ser obtidas a partir da densidade básica e suas distribuições podem ser obtidas também pela distribuição da densidade básica.

Segundo recomendações de Ashley e Ozarska (2000) apud Silva, J.C. (2002), que preconizam o uso de madeiras que apresentem, no mínimo 11.760 MPa para o módulo de elasticidade e 78,40 MPa para o de ruptura, as madeiras das três espécies em estudo poderiam ser utilizadas sem restrições. Já Oliveira (1997), estudando a madeira de *E. urophylla* em idade adulta encontrou densidade média e propriedades mecânicas baixas, com aplicações estruturais restritas.

As madeiras das espécies em estudo apresentaram resultado inferior de MOR ao cumaru (173,0 MPa) e sucupira (153,96 MPa) (IBAMA, 2007), sendo que o *E. urophylla* apresentou resultado muito aproximado (150,69 MPa). Já para o MOE, as espécies analisadas apresentaram médias gerais substancialmente superiores ao cumaru (17.946,17 MPa) e à sucupira (13.533,17 MPa), espécies usualmente empregadas pela indústria atualmente.

Para os componentes moveleiros constituídos por peças horizontais submetidas à flexão, como barras laterais de cama, barra frontal de sofás (3 ou 4 lugares), estrados, base de guarda roupas e armários, etc., a característica mais importante é a rigidez da peça proporcionada pelas dimensões da seção da peça e pelo módulo de elasticidade (MOE). A avaliação desse módulo também é fundamental para a escolha de espécies para os componentes de ligações com encaixes tipo macho-fêmea e cavilhada, como em cadeiras, mesas, barras de cama, onde os esforços repetitivos e dinâmicos são freqüentes. Assim, os resultados obtidos nesse ensaio sugerem que a espécie *E. urophylla* é aquela mais indicada dentre as três estudadas para constituir componente estrutural em um móvel (NAHUZ; MIRANDA; FRANCO, 1999).

## 5.4 Qualidade da superfície usinada

Os valores de qualidade da superfície usinada das amostras de madeira das 3 espécies de eucalipto para Vf 3, 4, 6, 8, 11, 15, 22 m/min são apresentados na Tabela 5.16 e Figura 5.7 e indicam que o *E. urophylla* obteve a melhor performance.

Tabela 5.16 – Valores médios de  $Ra$  ( $\mu\text{m}$ ) para as velocidades de avanço Vf 3, 4, 6, 8, 11, 15 e 22 m/min para a madeira de *Eucalyptus dunnii*, *E. urophylla* e *E. grandis*

Velocidade (m/min)	Valores médios de $Ra$ ( $\mu\text{m}$ )			Média
	<i>E. dunnii</i>	<i>E. urophylla</i>	<i>E. grandis</i>	
Vf 3	1,92	1,80	1,44	1,72
Tukey	Ab	Ab	Ab	c
CV(%)	27,21	21,22	24,01	—
Vf 4	2,90	1,61	2,04	2,19
Tukey	Aa	Bb	BB	b
CV(%)	27,41	27,25	26,96	—
Vf 6	3,09	1,93	2,08	2,37
Tukey	Aa	Bb	BB	b
CV(%)	26,76	24,52	25,17	—
Vf 8	2,61	1,96	2,09	2,22
Tukey	Aab	Ab	Ab	b
CV(%)	28,96	22,20	28,67	—
Vf 11	2,29	2,45	2,08	2,27
Tukey	Ab	Aa	Ab	b
CV(%)	25,11	35,26	36,34	—
Vf 15	3,43	2,38	3,76	3,19
Tukey	Aa	Bab	AA	a
CV(%)	34,79	23,35	29,82	—
Vf 22	3,46	2,87	4,19	3,50
Tukey	Aba	Ba	AA	a
CV(%)	29,30	23,05	23,30	—
Média geral	2,81	2,14	2,53	—
Tukey	A	C	B	—

Médias seguidas da mesma letra sendo maiúscula na linha e minúscula na coluna não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, com significância de 5% ( $p < 0,05$ ).

Para Vf 3m/min, as três espécies não diferiram estatisticamente, sendo que o *E. dunnii* apresentou o valor mais alto e o *E. grandis* o mais baixo. Foi a velocidade de avanço que apresentou os menores valores, ou seja, melhores resultados de qualidade da superfície usinada, resultado que está de acordo com bibliografia consultada (CASTRO, 2000; SILVA, J.C., 2002).

Para Vf 4 e 6 m/min, o *E. dunnii* apresentou diferença significativa em relação às demais espécies, apresentando maior média, enquanto que o *E. grandis* não diferiu estatisticamente do *E. urophylla*.

Para Vf 8m/min, as três espécies não diferiram estatisticamente, sendo que o *E. dunnii* apresentou maior média e o *E. urophylla* a menor.

Já no Vf 11m/min o *E. urophylla* apresentou a maior média e o *grandis* a menor, apesar de não diferirem estatisticamente.

Para o Vf 15m/min, o *E. grandis* apresentou o maior valor seguido do *E. dunnii* (não diferindo estatisticamente), já o *E. urophylla* apresentou menor valor e diferiu estatisticamente das outras espécies.

O *E. grandis* apresentou o maior resultado para o Vf 22m/min, não diferindo do *E. dunnii* e diferindo do *E. urophylla*, que apresentou a menor média, sendo que nesta velocidade o valor médio para o parâmetro *Ra* foi 103,49% superior ao resultado médio apresentado para Vf 3 m/min.

Com exceção do Vf 11m/min, o *E. dunnii* apresentou os maiores valores de CV, o que demonstra menor homogeneidade das amostras.

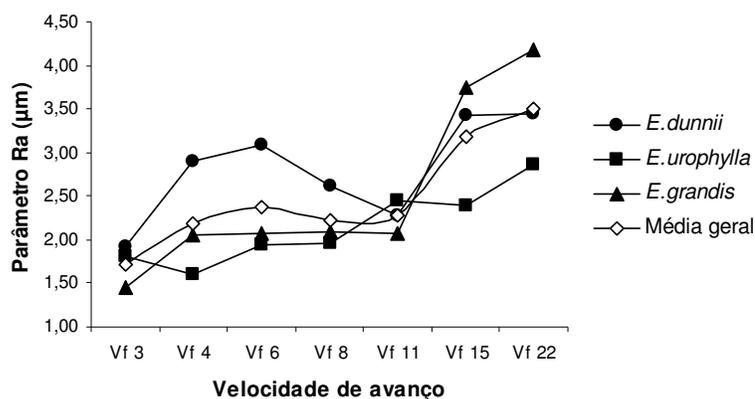


Figura 5.7 - Valores médios de *Ra* (µm) para cada a velocidade de avanço e sua média geral para a madeira de *Eucalyptus dunnii*, *E. urophylla* e *E. grandis*

Observa-se na Figura 5.7 tendência crescente de valores do parâmetro *Ra* conforme o aumento da velocidade de avanço, fato documentado pela literatura, (CASTRO, 2000; SILVA, J.R., 2002). O *E. dunnii* apresentou queda para as velocidades Vf 8 e Vf 11m/min. Cabe salientar grande alta nos valores de Vf entre as velocidades 11 e 22m/min.

Os defeitos normalmente observados nos corpos de prova após as operações de usinagem foram: lasqueamento, arrancamento de fibras com formação de depressões e o arripiamento (presença de fibras inteiras ou de pedaços destas).

Segundo Silva (2002), e Castro (2000) as baixas densidades básicas e massas específicas estão associadas à presença de tecidos lenhosos frágeis que se apresentam como superfícies aveludadas pelo arrancamento das células durante as usinagens. Isto é, tendem a resultar em baixas qualidades em termos de acabamento superficial.

Segundo constataram Néri e Gonçalves (2002); Aguilera e Martin (2001); Castro (2000) e McKenzie; Cvitkovic e Ringler (2001), a densidade possui alta correlação negativa com o resultado da qualidade da superfície usinada, sendo que quanto menor a densidade, maior os valores da rugosidade superficial. Tal correlação se dá devido à relação dessa propriedade com a resistência mecânica da madeira e à dificuldade de penetração do dente, exercendo influência direta sobre o esforço de corte e acabamento final.

Conforme esperado, a madeira do *E. urophylla* apresentou os melhores resultados de usinagem, pois é a espécie de madeira mais densa. Tal desempenho significa ganho de tempo na produção moveleira e qualidade de acabamento no produto final.

## **5.5 Correlação de Pearson entre os ensaios**

Neste capítulo foi realizada análise de correlação de Pearson entre os ensaios de física, pois utilizaram a mesma amostragem, e correlação simples entre os resultados dos ensaios de física e os demais realizados.

O coeficiente de correlação de Pearson, também chamado de "coeficiente de correlação produto-momento" ou simplesmente de "r de Pearson" mede o grau da correlação (e a direção dessa correlação - se positiva ou negativa) entre duas variáveis de escala métrica. Ele quantifica a força de associação linear entre duas variáveis, e portanto descreve quão bem uma linha reta se ajustaria através de nuvem de pontos. O coeficiente assume valores entre -1 e 1, sendo que:  $r = 1$  significa uma correlação perfeita positiva entre as duas variáveis;  $r = -1$  correlação negativa perfeita entre as duas variáveis - Isto é, se uma aumenta, a outra sempre diminui; e  $r = 0$  indica que as duas

variáveis não dependem linearmente uma da outra. No entanto, pode existir uma outra dependência que seja "não linear". Assim, o resultado  $r=0$  deve ser investigado por outros meios. Na tabela 5.17 se encontram os valores das correlações entre os ensaios de física:

Tabela 5.17 – Correlação de Pearson para os valores dos ensaios físicos da madeira de *Eucalyptus dunnii*, *E. urophylla* e *E. grandis*

Ensaio	<i>E. dunnii</i>	<i>E. urophylla</i>	<i>E. grandis</i>
RT X RR	n.s.	n.s.	0,62
RT X RL	n.s.	n.s.	n.s.
RT X RV	<b>0,82</b>	<b>0,72</b>	<b>0,92</b>
RT X FA	0,62	0,58	n.s.
RT X ME	n.s.	n.s.	0,64
RT X DB	n.s.	n.s.	0,61
RR X RL	n.s.	n.s.	n.s.
RR X RV	0,55	0,59	0,85
RR X FA	<b>-0,76</b>	<b>-0,83</b>	<b>-0,63</b>
RR X ME	0,55	n.s.	0,43
RR X DB	n.s.	n.s.	0,37
RL X RV	n.s.	n.s.	n.s.
RL X FA	n.s.	n.s.	n.s.
RL X ME	n.s.	n.s.	n.s.
RL X DB	n.s.	n.s.	0,35
RV X FA	n.s.	n.s.	n.s.
RV X ME	n.s.	n.s.	0,65
RV X DB	n.s.	n.s.	0,61
FA X ME	-0,44	n.s.	n.s.
FA X DB	-0,49	n.s.	n.s.
ME X DB	<b>0,97</b>	<b>0,99</b>	<b>0,95</b>

n.s. – Correlação não significativa a 0.05 de probabilidade. RT – retração tangencial; RR – retração radial; RL – retração longitudinal; RV – retração volumétrica; FA – fator anisotrópico; ME – massa específica aparente; DB – densidade básica. Os valores em negrito indicam as relações com maior correlação.

O maior valor encontrado para a correlação de Pearson foi entre ME X DB, conforme esperado, pois os valores encontrados de densidade básica apontaram a mesma magnitude de variação e diferenças estatísticas apresentadas para a massa específica aparente.

A segunda correlação de maior valor foi entre RT X RV. Tal fato provavelmente é explicado pelo fato de a RV ser derivada das RT, RR e RL.

A terceira correlação de maior valor é a RR X FA, dado muito importante para esse estudo, visando a aplicação de madeira para móveis, pois o FA determina a

tendência a empenamento e fendilhamento. Assim, no momento do desdobro primário, deve-se atentar para o corte que resulta em menor retração no plano radial.

O ensaio de DB ao contrário do constatado na bibliografia consultada apresentou baixa correlação com os demais ensaios.

Quanto mais alta a densidade da madeira, maiores serão as suas contrações e expansões sendo, porém, controverso para a madeira das espécies de eucalipto (OLIVEIRA, 1997 e LIMA, 1999).

Abaixo se encontram representados alguns dos ensaios que obtiveram coeficientes de correlação de Pearson significativos.

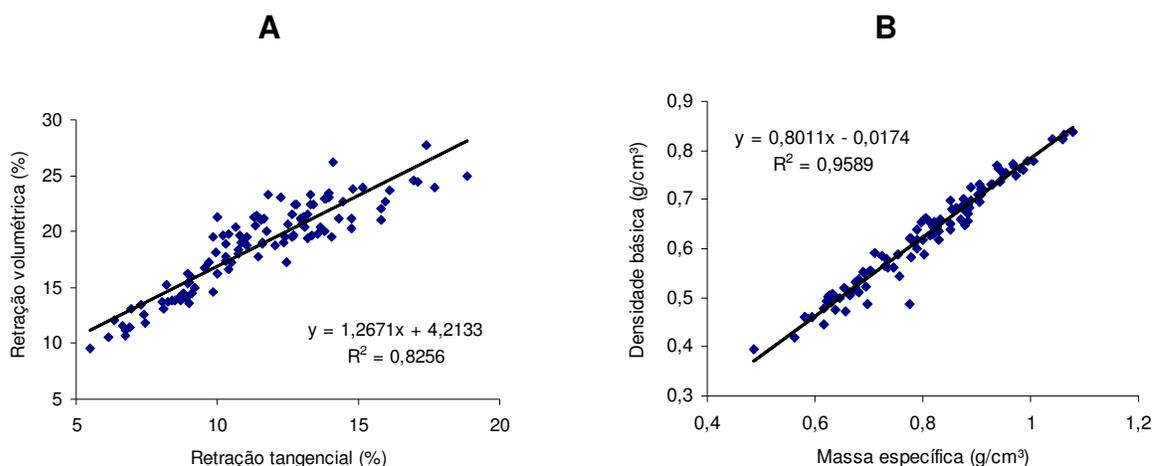


Figura 5.8 – Correlação entre as retrações volumétrica e a tangencial (A), e entre densidade básica e massa específica e (B) para as três espécies juntas.

Ao contrário do encontrado na literatura, o teste de correlação mostrou baixa correlação significativa a 0,05 de probabilidade entre os ensaios de retração e os de ME e DB. Somente o *E. grandis* obteve correlação significativa.

Com relação a ME, o teste deu significativo para RR para a madeira das espécies *E. grandis* e *E. dunnii*; RV e RT para *E. grandis* e longitudinal para nenhum ensaio. Porém, o modelo de variação dos ensaios de contrações acompanhou o modelo de variação para a ME e DB, confirmando as citações da literatura, na qual a magnitude da variação dimensional foi maior para as madeiras de maior massa específica e densidade básica, devido à maior presença da massa lenhosa, representada pelas

paredes celulares, que podem interagir com maiores volumes de água (OLIVEIRA, 1997; CHIMELO, 1980, SILVA, J.R., 2002).

Gonçalves, (2006) estudando a DB de *Eucalyptus cloeziana* e *E. citriodora* (atual *Corymbia citriodora*) constatou que as amostras de menores DB da madeira apresentaram os menores valores absolutos de retratibilidade. Porém Oliveira, (1997) cita que a essa associação nem sempre é verdadeira.

Silva, J.C. (2002) afirmou que vários são os parâmetros utilizados para a determinação da qualidade da madeira para um determinado uso ou um conjunto de usos. Esses parâmetros são normalmente classificados como químicos, anatômicos e físico-mecânicos. No que se refere aos parâmetros físico-mecânicos, a massa específica, a retratibilidade e a resistência aos esforços de flexão estática (MOE e MOR) têm sido considerados os mais importantes, sendo características bastante complexas. O conhecimento das correlações entre esses parâmetros e das variáveis que os afetam são de grande importância para a correta interpretação das variações que ocorrem na madeira, e visa facilitar o desenvolvimento de técnicas adequadas para a obtenção de uma matéria-prima mais homogênea e com características desejáveis para determinado uso.

## 5.6 Síntese dos resultados

1- A madeira de *Eucalyptus dunnii* mostrou maior retratibilidade, resultado dos valores elevados de RT, RV e FA, importantes para o uso da madeira em movelaria; o desempenho da madeira no ensaio mecânico mostrou-se mediano e com os piores resultados de qualidade da superfície usinada. Das espécies de eucalipto analisadas é a menos indicada para uso em movelaria.

2- A madeira de *Eucalyptus urophylla* apresentou os mais baixos valores de CV nos ensaios (a exceção da RL), demonstrando boa homogeneidade, importante para a sua utilização na fabricação de móveis; os valores de RR foram altos e o no ensaio mecânico apresentou desempenho notadamente superior. A madeira de *E. urophylla* é aquela mais indicada para as peças horizontais de móveis, submetidas à flexão e ligações com encaixe tipo macho-fêmea e cavilhada; a madeira da espécie foi a de maior densidade e proporcionou a melhor qualidade da superfície usinada na sua usinagem.

3- A madeira do *Eucalyptus grandis* demonstrou melhor desempenho nos ensaios de RT, RR e RV, com alta estabilidade dimensional, semelhante a das espécies nativas tradicionalmente utilizadas em movelaria, e importante para a produção de partes dos móveis de madeira maciça; indicada para ligações rígidas, ou seja, aquelas com as peças coladas e componentes de grandes dimensões; o CV foi o maior para todos os ensaios (a exceção da RR) evidenciando forte heterogeneidade da madeira analisada; apresentou a densidade básica mais baixa das três espécies; e com os piores resultados de resistência mecânica, limitando seu emprego no setor moveleiro.

4- A madeira das três espécies de eucalipto apresentou altos índices de variação dimensional, indicando a necessidade de especiais cuidados no seu desdobro, secagem da madeira e acabamento.

5- No ensaio de qualidade da superfície usinada quanto menor a velocidade de avanço  $V_f$  ou avanço por dente  $f_z$ , menor é a rugosidade superficial da peça de madeira, com economia de processamento e melhor qualidade final.

6- Na seleção das peças de madeira a orientação radial (medula-casca) da tora é mais importante do que a longitudinal.

7- A densidade básica e a massa específica aparente da madeira apresentaram alta correlação descritiva com as demais propriedades analisadas, podendo ser consideradas como parâmetros de qualidade confiáveis. Normalmente, quanto maior o seu valor maior será a retratibilidade e mais difícil a secagem. São correlacionadas positivamente com as propriedades mecânicas e qualidade do acabamento superficial da madeira

8 – A comparação com as espécies nativas cumaru e sucupira, usualmente empregadas em movelaria, mostraram que as madeiras das espécies estudadas: (i) possuem altos valores de variação dimensional, apesar de serem menos densas; (ii) são apropriadas para aplicação em componentes estruturais de móveis moveleiros.

## 6 CONCLUSÕES

Os resultados da avaliação da madeira das três espécies de eucalipto permitem concluir que:

As três espécies estudadas apresentam características compatíveis para uso na indústria moveleira, com diferentes aplicações.

A madeira de *Eucalyptus urophylla*, é aquela que apresentou melhor desempenho em linhas gerais, obtendo o melhor desempenho nos testes qualidade de superfície usinada e resistência mecânica, além de apresentar os menores valores de coeficiente de variação, o que indica a possibilidade de sua aplicação na grande maioria de componentes de um móvel.

A madeira de *Eucalyptus grandis* foi a espécie que apresentou melhor desempenho nos ensaios de variação dimensional, porém apresentou restrições quanto ao uso estrutural devido ao baixo desempenho nos ensaios mecânicos e altos valores de coeficiente de variação nos resultados.

A madeira de *Eucalyptus dunnii* apresentou maior retratibilidade e pior desempenho em relação à qualidade da superfície usinada, qualificando-se dentre as três espécies estudadas, como a menos indicada para uso em movelaria.

As três espécies apresentaram importantes variações das características físicas ao longo do raio, portanto especial atenção deve ser dada a localização radial quando se necessitam produzir componentes com características específicas, como baixa retratibilidade, alta densidade, etc.

Os melhores resultados para as três espécies para o ensaio de qualidade da superfície usinada foi obtido com baixas velocidades de avanço.

Pela análise descritiva, os parâmetros de densidade e massa específica aparente são bons indicadores de estabilidade dimensional, desempenho mecânico e qualidade de superfície usinada.

Os resultados obtidos nas análises e os da bibliografia apontam uma alta variabilidade tecnológica da madeira das três espécies de eucalipto, recomendando a seleção e usos da madeira clones.

## REFERÊNCIAS

ACOSTA, M.S. Experiencia Argentina en el uso de la madera de eucalipto. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL DA MADEIRA DE EUCALIPTO PARA SERRARIA, 1995, São Paulo. **Anais ...** São Paulo.1995. p. 74-91.

ACOSTA, M. S. Estado de la tecnologia en usos no tradicionales de la madera de eucalipto en el Mercosur y outros países. In: Seminário internacional sobre produtos solidos de madeira de alta tecnologia, 1998, Belo Horizonte; encontro sobre tecnologias apropriadas de desdobro, secagem e utilização da madeira de eucalipto, 1., 1998, Belo Horizonte. **Anais....** Viçosa: SIF/UFV/DEF, 1998. p. 82-105.

AGUILERA, A.; MARTIN, P. Machining qualification of solid wood of *Fagus silvatica* L. and *Picea excelsa* L.: cutting forces, power requirements and surface roughness. **Holz als Roh – um Werkstoff**, Berlin, v. 59, n. 6, p. 483-488, Dec. 2001.

ALMEIDA, R.R.; BORTOLETTO Jr., G.; JANKOWSKY, I.P. Produção de lâminas a partir de lâminas de clones do híbrido *Eucalyptus grandes x Eucalyptus urophylla*. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 65, p. 49–58, jun. 2004.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D1666- 87** Standard methods of conducting machining tests of wood and wood-base materials. Philadelphia, 1988. 1 CD-ROM.

ARANGO, S.B.A. **Caracterização da madeira de árvores de clones de *Eucalyptus grandis*, *E. saligna* e *E. grandis x urophylla***. 2004. 133 p. Tese (Doutorado em Recursos Florestais) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2004.

ASSIS, T.F. Estratégias de melhoramento para obtenção de madeira de qualidade para laminação e serraria. In: SEMINÁRIO MADEIRA DE EUCALIPTO: TENDÊNCIAS E USOS, 2001, **Anais eletrônicos ...** Curitiba. Curitiba: FUPEF, 2001. 1 CD-ROM.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS – ABRAF. **Anuário Estatístico da ABRAF 2007** – Ano base 2006. Disponível em <<http://www.abraflor.org.br/estatisticas/anuario-ABRAF-2007.pdf>> Acesso em 10 de nov. 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7190–96**: estruturas de madeira. Rio de Janeiro, 1996. 107 p.

BORGES, A. Eucalipto, a alternativa ecológica. . **Design Interiores**, São Paulo, ano 8, n.42. p. 98-99, ago. 1994.

CALORI, J.V.; KIKUTI, P. Propriedades físicas e mecânicas da madeira de *E. dunnii* aos 20 anos de idade. In: IUFRO CONFERENCE ON SILVICULTURA AND IMPROVEMENT

ON EUCALYPTS, 1997, Salvador. **Proceedings ...** Salvador: Embrapa; IPEF; SIF; SEAGRI-DDF, 1997. v. 3, p. 321–326.

CAMPINHOS JR., E. A importância da produção de madeira de *Eucalyptus* geneticamente melhorado para os setores moveleiro e de construção civil: perspectivas e desafios. In: SEMINÁRIO MADEIRA DE EUCALIPTO: TENDÊNCIAS E USOS, 2001, Curitiba. **Anais ...** Piracicaba: IPEF/IPT, 1995.

CARMO, A. P. T. **Avaliação de algumas propriedades da madeira de seis espécies de eucalipto.** 1996. 74p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal, Centro de Ciências Agrárias) Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1996.

CASTRO, E.M. **Estudo da usinabilidade de chapas de MDF para usinagem de desbaste e acabamento.** 2000. 122 p. Dissertação (Mestrado em Ciências e Engenharia dos Materiais) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2000.

CHIMELO, J. P. **Development of a probability:** based computerized characterization system for identification and for property prediction of selected tropical hardwoods. 1980. 206 p. Thesis (PhD in Wood Science) - Virginia Polytechnic Institute and State University. Blacksburg, 1980.

COMISSÃO PARAMERICANA DE NORMAS TÉCNICAS. **Maderas: método de determinación del peso específico aparente.** Caracas. COPANT 1972 (COPANT; 461)

DESCRIÇÃO de algumas espécies de eucalipto. **Revista da Madeira:** Edição Especial Eucalipto – Pesquisa amplia usos, Curitiba, p. 8-16, ago. 2003.

GALVÃO, A.P.M.; JANKOWSKY, I. P. **Secagem racional da madeira.** São Paulo: Nobel, 1985. 111 p.

GIUSTINA, M.D. **As madeiras alternativas como opção ecológica para o mobiliário brasileiro.** 2001. 154 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2001.

GONÇALEZ, J.C.; BREDÁ, L.C.S.; BARROS J.F.M.; MACEDO D.G.; JANIN, G.; COSTA, A.F.; VALE, A.T. Características tecnológicas da madeira de *Eucalyptus grandis* W.Hill ex Maiden e *E. Cloeziana* F.Muell visando ao seu aproveitamento na indústria moveleira. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 16, n. 3, p. 329-341, dez. 2006.

GONÇALVES, F.G. **Avaliação da qualidade da madeira de híbrido clonal de *Eucalyptus urophylla* x *grandis* para produtos sólidos.** 2006. 154 p. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Universidade Federal do Espírito Santo, Alegre. 2006.

GONÇALVES, M.T.T. **Proposta de metodologia para medição dos esforços de cortes na usinagem da madeira.** 1993. 148 p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo, São Carlos, 1993.

GORINI, A.P.F. **Panorama do setor moveleiro no Brasil, com ênfase na competitividade externa a partir do desenvolvimento da cadeia industrial de produtos sólidos de madeira.** Brasília: BNDES, 1998. 50 p.

HILLIS, W. E.; BROWN, A. G. **Eucalypts for wood production.** Melbourne: CSIRO, 1984, 2<sup>nd</sup> ed. Academic Press, 434 p.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS **Madeira**: uso sustentável na construção civil. São Paulo, 2003. 60 p.

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

LELLES, J.G.; SILVA, J.C. Problemas e soluções sobre rachaduras de topo de madeiras de *Eucalyptus* spp. nas fases de desdobro e secagem . **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 18, n. 186, p. 62-69, 1997.

LIMA, I.L. **Influência do desbaste e da adubação na qualidade da madeira serrada de *Eucalyptus grandis* Hill ex-Maiden.** 2004. 161p. Tese (Doutorado em Tecnologia de Recursos Florestais) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba. 2005.

LIMA, J. T. **Clonal variation in solid wood properties of *Eucalyptus*.** 1999. 276 p. Thesis (PhD in Wood Science) - University of Wales, Bangor, 1999.

LOPES, C.S.D.; TOMAZELLO FILHO, M. Análise densitométrica da madeira de árvores de *Eucalyptus dunnii*, de 18 anos de idade. In: SIMPÓSIO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS, 4., 2006, Piracicaba. **Anais ...** Piracicaba: IPEF, 2006. 1 CD-ROM.

MCKENZIE, W.M.; CVITKOVIC, K.R.; RINGLER, M. Towards a model predicting cutting forces and surfaces quality in routing layered boards. **Wood Science and Technology**, Berlin, v. 35, p. 563-569, June 2001.

MORI, C.L.S.O. **Variabilidade de cores em madeiras de clones de híbridos de *Eucalyptus spp.*** 2003. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2003.

NAHUZ, M.A.R.; MIRANDA, M.J.A.C.; FRANCO, N. Inovações na área de utilização da madeira de eucalipto: a fabricação de móveis. In: WORKSHOP TÉCNICAS DE ABATE, PROCESSAMENTO E UTILIZAÇÃO DA MADEIRA DE EUCALIPTO, 1999, Viçosa. **Anais ...** Viçosa: UFV; DEF; SIF; IEF, 1999. p. 72.

NERI, A.C.; GONÇALVES, R. Mecanismo da formação de cavacos na usinagem da madeira de eucalipto. In: ENCONTRO NACIONAL EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA, 8., 2002, Uberlândia. **Anais ...** São Carlos: EBRAMEM, 2002. 1 CD-ROM.

NERI, A.C.; GONÇALVES, R.; HERNANDEZ, R.E. Forças de corte ortogonal 90-0 em três espécies de madeira de eucalipto. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 3, n. 2, p. 239-244, 1999.

OLIVEIRA, J.T.O. **Caracterização da madeira de eucalipto para a construção civil**. 1997. 2 v. Tese (Doutorado em Engenharia) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1997.

ORTOLAN, C. Desenvolvimentos tecnológicos na produção de madeira de eucalipto para serraria e laminação. A experiência da Klabin. In: II SEMINÁRIO DE PRODUTOS DE MADEIRA DE EUCALIPTO, 2003, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: 2003. p. 54-70.

PANSHIN, A.J.; DE ZEEUW, C. **Textbook of wood technology**. 4<sup>th</sup> ed. New York: McGraw Hill, 1980. 722 p.

REZENDE, M.A. **Uma abordagem não convencional sobre as principais características físicas da madeira, com ênfase para retratibilidade, massa específica e técnica de atenuação da radiação gama**. 1997. 138 p. Tese (Livre-Docência em Física) – Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu. 1997.

REZENDE, M.A.; FERRAZ E.S.B. Densidade anual da madeira de *Eucalyptus grandis*. **IPEF**, Piracicaba, v. 46, p. 76–85, 1993.

ROCHA, M.P. ***Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden e *Eucalyptus dunnii* Maiden como Fontes de Matéria Prima para Serrarias**. 2000 185 p. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba. 2000.

SANTOS, P.E.T.; GARCIA, J.N.; GERALDI, I.O. Posição da tora na árvore e sua relação com a qualidade da madeira serrada de *Eucalyptus grandis*. **Scientia Florestalis**, Piracicaba, n. 66, p. 142– 151, dez. 2004.

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

SHIMOYAMA, V.R.S.; BARRICHELLO, L.E.G. Influência de características anatômicas e químicas sobre a densidade básica da madeira de *Eucalyptus spp.* In: CONGRESSO ANUAL DE CELULOSE E PAPEL, 24., 1991, São Paulo. **Anais ...** São Paulo: ABTCP, 1991. p. 178-183.

SILVA, J.C. **Caracterização da madeira de *Eucalyptus grandis* Hill ex. Maiden de diferentes idades, visando sua utilização na indústria moveleira**. 2002. 160 p. Tese (Doutorado em Tecnologia e Utilização de Produtos Florestais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2002.

SILVA, J.C.; MATOS, J.L.M.; OLIVEIRA, J.T.S.; EVANGELISTA, W.V. Influência da idade e da posição radial da madeira de *Eucalyptus grandis* Hill ex. Maiden. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 29, n. 5, p. 795-799, set./out. 2005.

SILVA, J.C.; OLIVEIRA, J.T.S. Avaliação das propriedades higroscópicas da madeira de *Eucalyptus saligna* Sm., em diferentes condições de umidade relativa do ar. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 27, n. 2, p. 233-239, mar./abr. 2003.

SILVA, J.R.M. **Relações da usinabilidade e aderência do verniz com as propriedades fundamentais do *eucalyptus grandis* hill ex. maiden**. 2002. 178 p. Tese (Doutorado em Tecnologia e Utilização de Produtos Florestais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2002.

SILVA, J.R.M.; LIMA, J.T.; BRAGA, P.P.C.; TRUGILHO, P.F. A utilização de rugosímetro na qualificação das superfícies usinadas em madeiras de *Eucalyptus sp* In: ENCONTRO NACIONAL EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA, 10., 2006, São Pedro. **Anais eletrônicos ...** São Carlos: EBRAMEM, 2006. 1 CD-ROM.

SILVA, J.R.M.; LIMA, J.T.; MENDES, L.M.; BONDUELLE, A.F. Influência dos aspectos construtivos das máquinas e ferramentas na qualificação da superfície usinada de madeiras. In: ENCONTRO NACIONAL EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA, 9., 2004, Cuiabá. **Anais eletrônicos ...** Cuiabá: Editora UFMT, 2004. 1 CD-ROM.

SILVA, J.R.M.; MUNIZ, G.B.; LIMA, J.T.; BONDUELLE, A.F. influência da morfologia das fibras na usinabilidade da madeira de *eucalyptus grandis* hill ex. maiden. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 29, n. 3, p. 479-487, 2005.

SIMULA, M.T.; TISSARI, J.T. Market prospects for Eucalyptus solid wood products in the European common market. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL SOBRE PRODUTOS SÓLIDOS DE MADEIRA DE ALTA TECNOLOGIA, 1.; ENCONTRO SOBRE TECNOLOGIAS APROPRIADAS DE DESDOBRO, SECAGEM E UTILIZAÇÃO DA MADEIRA DE EUCALIPTO, 1., 1998, Viçosa. **Anais ...** Viçosa: UFV, 1998.

TIBURCIO, U.F.O.; RIBEIRO, M.V.; GONÇALVES, M.T.T.; SOUZA, A.J.D. Análise do acabamento superficial na usinagem de madeiras em processos de torneamento e lixamento. In: ENCONTRO NACIONAL EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA, 10., 2006, São Pedro. **Anais eletrônicos ...** São Carlos: EBRAMEM, 2006. 1 CD-ROM.

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

TRUGILHO, P.F.; LIMA, J.T.; MENDES, L.M. Influência da idade nas características do eucalipto. **Revista da Madeira**, Curitiba, ano15, n. 92, p. 82–88, out. 2005.

TRUGILHO, P.F.; ROSADO, S.C.S.; LIMA, J.T.; MORI, F.A.; CAIXETA, R.P. Variação dimensional e densidade da madeira em árvore de *Eucalyptus*. In: ENCONTRO NACIONAL EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA, 8., 2002, Uberlândia. **Anais eletrônicos ...** São Carlos: IBRAMEM, 2002.

YUBA, A.N. **Cadeira produtiva de madeira serrada de eucalipto para produção sustentável de habitações**. 2001. 156 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 2001.

WILKES, J. The influence of rate of growth on the density and heartwood extractives content in eucalypt species. **Wood Science and Technology**, v. 18, n.2 p.113-20, 1984.

## GLOSSÁRIO

**Alburno** - É a parte externa, mais nova e funcional da madeira em plantas lenhosas. Possui a função de conduzir água e nutrientes (seiva bruta) para as folhas e distribuir a seiva elaborada para todas as partes da planta.

**Análise de variância** - Teste estatístico que visa fundamentalmente verificar se existe uma diferença significativa entre médias e se os fatores exercem influência em alguma variável dependente.

**Celulose** - Polímero de "cadeia longa" composto de um só monômero, carboidratado, classificado como polissacarídeo. É o componente estrutural primário das plantas e não é digerível pelo homem.

**Cerne** - Lenho não funcional. Trata-se da parte central do tronco, cuja madeira tem normalmente cor mais escura e é mais densa. Trata-se da porção do tronco que já não leva água para as folhas, assumindo assim apenas funções estruturais.

**Clone** - Um clone é um indivíduo derivado de outro indivíduo, e que possui o mesmo patrimônio genético do indivíduo original, produzido por reprodução assexuada.

**Clone híbrido** - designa uma produção genética entre duas espécies vegetais ou animais distintas, que geralmente não podem ter devido aos seus genes incompatíveis.

**Coefficiente de Pearson** - Mede o grau da correlação (e a direção dessa correlação - se positiva ou negativa) entre duas variáveis de escala métrica.

**Desbaste** – Prática silvicultural na qual são realizados cortes parciais feitos em povoamentos imaturos, com o objetivo de estimular o crescimento das árvores remanescentes e aumentar a produção de madeira de maior qualidade.

**Desrama** – Prática silvicultural de eliminação ou poda dos ramos laterais do tronco de árvore com o objetivo de produção de madeira livre de nós.

**Espécie nativa** - Espécie animal ou vegetal que é natural da zona em que habita.

**Espécie exótica** - É aquela espécie animal ou vegetal que não é natural da zona em que habita ou são aquelas que se estabelecem pela mão do Homem para um território em que estavam originalmente ausentes.

**Extrativo da madeira** – Componente acidental, ou seja, que não faz parte da estrutura essencial da madeira, que é solúvel em solventes orgânicos neutros.

**Fendilhamento** – Separação de fibras da madeira no sentido de seu comprimento.

**Fibra** – Elemento anatômico alongado e estreito do tronco com função estrutural.

**Fuste** - É a parte do tronco entre o topo e a base.

**Grã** – Refere-se à orientação e ao paralelismo dos elementos celulares verticais em relação ao eixo longitudinal do tronco da árvore.

**Lignina** - Polímero tridimensional amorfo encontrado nas plantas terrestres, associado à parede celular, cuja função é de conferir rigidez, impermeabilidade e resistência a ataques microbiológicos e mecânicos aos tecidos vegetais.

**Madeira maciça** – Tecido vegetal que não sofreu transformação química e/ou física em sua estrutura, ou seja, a composição e a distribuição de seus elementos foram preservadas, sendo um material compacto.

**Manejo florestal** - Conjunto de técnicas empregadas para colher cuidadosamente parte das árvores grandes de tal maneira que as menores, a serem colhidas futuramente, sejam protegidas.

**Microfibrilas** - Associação de um grupo de cadeias de celulose "envolvidas" por moléculas de hemicelulose

**Nó da madeira** - São porções de ramos incluídos no tronco da planta ou ramo principal. Os ramos originam-se, em regra, a partir da medula.

**Operação** – Ato ou conjunto de procedimentos em que se combinam os meios necessários para se obter determinados resultados.

**Raio** – São feixes de células alongadas, formadas por células dispostas horizontalmente. Atua na condução de seiva entre a madeira e a casca.

**Tensão de crescimento** - Força que se desenvolve no interior dos troncos das árvores vivas, como forma de dar-lhes estabilidade ajudando a manter o equilíbrio mecânico das árvores.

**Usinagem** – Ato ou efeito de usinar, talhar, dar forma à peça utilizando máquina e/ou ferramenta.

**Umidade relativa** - é a relação entre a umidade absoluta do ar (medida em gramas/m<sup>3</sup>) e a umidade da mistura do mesmo ar no seu ponto de saturação (tendo como base a mesma temperatura para as duas situações). Normalmente é indicada em porcentagem.

**Vaso** – Elemento anatômico constituído de tubo de pequeno diâmetro responsável pela ascensão da seiva das árvores.

**Xilófago** - Animal que se alimenta de madeira.