

WAGNER PATRÍCIO DE SOUSA JÚNIOR

**PROPRIEDADES FÍSICAS, MECÂNICAS E ANATÔMICAS DAS MADEIRAS
DE *Eucalyptus cloeziana* E DE *Eucalyptus urophylla* ORIUNDAS DOS
MUNICÍPIOS DE TURMALINA E DE PARAÓPEBA (MG)**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

VIÇOSA
MINAS GERAIS - BRASIL
2004

**Ficha catalográfica preparada pela Seção de Catalogação e
Classificação da Biblioteca Central da UFV**

T

S729p
2004

Sousa Júnior, Wagner Patrício de, 1977-

Propriedades físicas, mecânicas e anatômicas das
madeiras de *Eucalyptus cloeziana* e de *Eucalyptus urophylla*
oriundas dos municípios de Turmalina e de Paraopeba (MG) /
Wagner Patrício de Sousa Júnior. – Viçosa : UFV, 2004.
ix, 64f. : il. ; 29cm.

Orientador: Ricardo Marius Della Lucia.
Tese (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.

Referências bibliográficas: f. 62-64

1. Madeira - Propriedades. 2. Madeira – Qualidade.
3. *Eucalyptus cloeziana*. 4. *Eucalyptus urophylla*.
I. Universidade Federal de Viçosa. II. Título.

CDO adapt. CDD 634.981

WAGNER PATRÍCIO DE SOUSA JÚNIOR

**PROPRIEDADES FÍSICAS, MECÂNICAS E ANATÔMICAS DAS MADEIRAS
DE *Eucalyptus cloeziana* E DE *Eucalyptus urophylla* ORIUNDAS DOS
MUNICÍPIOS DE TURMALINA E DE PARAÓPEBA (MG)**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

APROVADA: 22 de novembro de 2004.

Prof. Benedito Rocha Vital
(Conselheiro)

Prof. José de Castro Silva
(Conselheiro)

Prof. José Tarcísio da Silva Oliveira

Pesq. Ana Márcia M. L. Carvalho

Prof. Ricardo Marius Della Lucia
(Orientador)

Aos meus pais, Wagner Patrício de Sousa e Rute Ribeiro Patrício.

Ao meu irmão Wanderley Patrício.

À minha esposa Miriam.

Ao meu querido filho Arthur.

À todos aqueles que muito me ajudaram durante minha
permanência em Viçosa.

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Viçosa e ao Departamento de Engenharia Florestal, pela oportunidade de realização do treinamento.

Ao CNPq, pela concessão da bolsa de estudos.

À todos os nossos mestres, do ensino básico aos da universidade.

Ao Prof. Orientador Ricardo Marius Della Lucia, pelos ensinamentos, pelo companheirismo e pelo exemplo de vida.

Aos conselheiros Prof. Benedito Rocha Vital e Prof. José de Castro Silva, pelos ensinamentos e sugestões para a melhoria do trabalho.

Ao Prof. José Tarcísio da Silva Oliveira e à Pesq^a. Ana Márcia Macêdo Ladeira Carvalho, pelas preciosas sugestões para o aperfeiçoamento deste trabalho.

Aos funcionários do Laboratório de Propriedades Físicas e Mecânicas da Madeira, Osvaldo, José Magalhães (*in memoriam*) e Gilberto, pela colaboração e amizade e à contribuição fundamental dos colegas Wesley Evangelista, Felipe, Robson e Alessandro.

Aos funcionários da Coordenação de Pós-Graduação do Departamento de Engenharia Florestal da UFV.

Às empresas Acesita Energética e à V&M Florestal, pela doação das madeiras utilizadas no trabalho.

A todos os amigos da pós-graduação, em especial ao Cristóvão Abraão, Leonardo Chagas, Daniel Câmara e Gleisson Santos.

À Miriam, minha esposa, e ao meu filho Arthur, pela paciência e pela motivação.

BIOGRAFIA

WAGNER PATRÍCIO DE SOUSA JÚNIOR, filho de Wagner Patrício de Sousa e Rute Ribeiro Patrício, nasceu em Curvelo, Minas Gerais, em 14 de janeiro de 1977.

Realizou o ensino fundamental e médio na Escola Estadual Interventor Alcides Lins e na Escola Estadual Bolivar de Freitas, respectivamente, em Curvelo.

Em maio de 2002 graduou-se em Engenharia Florestal pela Universidade Federal de Viçosa e, em agosto de 2002, iniciou o curso de Mestrado em Ciência Florestal, na área de Tecnologia da Madeira, na mesma instituição, concluindo-o em novembro de 2004.

ÍNDICE

	Página
RESUMO.....	vii
ABSTRACT.....	ix
1. INTRODUÇÃO GERAL.....	1
2. OBJETIVOS.....	3
3. METODOLOGIA GERAL DO TRABALHO.....	4
CAPÍTULO 1 - DENSIDADE.....	8
1. INTRODUÇÃO.....	8
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	10
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	10
4. CONCLUSÕES.....	17
CAPÍTULO 2 - RETRATIBILIDADE.....	18
1. INTRODUÇÃO.....	18
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	20
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	20
4. CONCLUSÕES.....	25
CAPÍTULO 3 - PROPRIEDADES MECÂNICAS.....	27
1. INTRODUÇÃO.....	27
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	28
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	29
3.1. Flexão estática.....	30
3.1.1. Resistência à flexão (f_m).....	30
3.1.2. Módulo de Elasticidade à Flexão (E_f).....	31
3.1.3. Trabalho no Limite de Proporcionalidade (T_{LP}).....	32
3.2. Resistência à compressão paralela (f_{c0}).....	33
3.3. Resistência ao cisalhamento (f_v).....	34
4. CONCLUSÕES.....	36

	Página
CAPÍTULO 4 - ANATOMIA	37
1. INTRODUÇÃO	37
2. MATERIAL E MÉTODOS	39
2.1. Processo de maceração e mensuração das fibras	39
2.2. Processos de polimento e mensuração dos vasos	40
2.3. Frequência dos vasos	41
2.4. Diâmetro e área ocupada por vasos	42
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	43
3.1. Comprimento das fibras	43
3.2. Largura das fibras	44
3.3. Diâmetro do lume	45
3.4. Espessura da parede	46
3.5. Frequência de vasos	47
3.6. Diâmetro dos vasos	49
3.7. Área ocupada por vasos	51
4. CONCLUSÕES	52
 CAPÍTULO 5 - CORRELAÇÕES	 53
1. INTRODUÇÃO	53
2. RESULTADOS E DISCUSSÃO	54
3. CONCLUSÕES	58
 4. CONCLUSÕES GERAIS	 60
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	62

RESUMO

SOUSA JUNIOR, Wagner Patrício de, M.S., Universidade Federal de Viçosa, novembro de 2004. **Propriedades físicas, mecânicas e anatômicas das madeiras de *Eucalyptus cloeziana* e de *Eucalyptus urophylla* oriundas dos municípios de Turmalina e de Paraopeba (MG).** Orientador: Ricardo Marius Della Lucia. Conselheiros: Benedito Rocha Vital e José de Castro Silva.

O presente trabalho foi executado no Laboratório de Propriedades Físicas e Mecânicas da Madeira da Universidade Federal de Viçosa e teve, como objetivo principal, a caracterização das madeiras de *Eucalyptus urophylla* S.T. Blake e *Eucalyptus cloeziana* F. Muell., através de um estudo sobre as variações da constituição anatômica e de algumas propriedades físicas e mecânicas da madeira dessas espécies, considerando locais, árvores e posições internas diferentes da árvore. Procurou-se, também, descrever as possíveis correlações existentes entre algumas dessas propriedades. O material utilizado é proveniente de reflorestamentos de duas empresas situadas no Estado de Minas Gerais, localizadas nos municípios de Turmalina e Paraopeba. Utilizaram-se as duas primeiras toras de sete árvores de cada espécie por local, perfazendo um total de 56 toras de 3 m de comprimento. Dessas toras se obteve uma prancha diametral de 4 cm de espessura, de onde foram retirados os corpos de prova e amostras para os diversos ensaios realizados. Foram determinadas as propriedades mecânicas, (resistência e rigidez à flexão, resistência à compressão e ao cisalhamento), propriedades físicas (densidade e coeficientes de contração), além das

características anatômicas (comprimento, largura, diâmetro do lume e espessura da parede das fibras; diâmetro, frequência e área ocupada por vasos). A madeira de *E. cloeziana* demonstrou ser sempre mais resistente e rígida que a madeira de *E. urophylla* em função de sua maior densidade. Não se encontrou diferença significativa na maioria das propriedades da madeira de *E. cloeziana*, inclusive entre locais. Já a madeira de *E. urophylla* apresentou variação significativa em suas propriedades dentro da espécie e de acordo com o local de plantio; embora a relação T/R tenha apresentado coeficientes com valores inferiores a 2 (dois), os valores de contração foram elevados. Como as propriedades mecânicas apresentaram valores elevados, sugere-se sua utilização em situações que demandam elevada resistência mecânica, como estruturas de habitações, partes estruturais de móveis, assoalhos, marcos de portas etc.

ABSTRACT

SOUSA JUNIOR, Wagner Patrício de, M.S., Universidade Federal de Viçosa, November 2004. **Physical, mechanical and anatomical properties of the wood of *Eucalyptus cloeziana* and of *Eucalyptus urophylla* from the regions of Turmalina and of Paraopeba (State of Minas Gerais)**. Adviser: Ricardo Marius Della Lucia. Committee Members: Benedito Rocha Vital and José de Castro Silva.

The main objective of this work was the characterization of the wood of *Eucalyptus cloeziana* and of *Eucalyptus urophylla* from two sites in the State of Minas Gerais. Mean values of some physical, mechanical and anatomical properties were determined, along with their variation in the bark-to-pith direction. Possible correlations between these properties were also studied. Two 3-meter long logs from seven trees of each of the two species and of the two regions were cut and transported to the wood mechanics laboratory at the Universidade Federal de Viçosa, where they were sawed, air-dried and machined to produce all the samples to be essayed. The wood of *E. cloeziana*, denser than that of *E. urophylla*, was also found to be stiffer in bending, as well as stronger in bending, in compression parallel-to-the-grain and in shear. There was no statistically significant difference in mean values of these properties for the first species between the two sites. *Eucalyptus urophylla*, however, has properties that differ significantly between the two sites; it is also characterized by its very high shrinkage, although the T/R value is lower than 2. Because the two species are strong and stiff, it is suggested that they should be used as structural components in buildings and furniture and as flooring and door frames.

1. INTRODUÇÃO GERAL

Utilizada para inúmeras finalidades, desde os primórdios da civilização, a madeira tem se apresentado como um material altamente versátil e amplamente utilizado em diversos segmentos, em vários países do mundo. Apresenta grande número de vantagens quando comparada com outros materiais disponíveis, tais como o concreto, o aço, o plástico, o alumínio etc.

Nos dias atuais, a pressão exercida para que não se faça uso das espécies nativas de tal maneira que se possa preservá-las da exploração desordenada, levou os diversos pesquisadores e profissionais do setor florestal a intensificar as pesquisas referentes à substituição destas espécies por outras provenientes de florestas renováveis e de ciclo curto.

Dentre as diversas espécies exóticas introduzidas no Brasil, nenhuma outra, até o momento, tem apresentado tão grande número de vantagens e possibilidades de uso múltiplo como as do gênero *Eucalyptus*. Dotadas de elevada plasticidade e rápido crescimento, os plantios foram implantados, inicialmente, com o objetivo de suprimento de matéria prima para os setores de carvão e produção de celulose. O primeiro plantio realizado no Brasil ocorreu no Rio Grande do Sul, em 1868; a consolidação do gênero ocorreu em 1903, na região de Jundiá, através de iniciativas da Companhia Paulista de Estradas de Ferro, visando à produção de lenha para as locomotivas a vapor e dormentes para as estradas de ferro (ANDRADE, 1961). Com o advento da política dos incentivos fiscais, em 1966, ocorreu um grande aumento das áreas reflorestadas com esse e outros gêneros. Esses plantios foram realizados de forma desorganizada e, após a extinção

desses incentivos em 1988, houve um declínio das áreas reflorestadas no país. Atualmente, no Brasil, existem aproximadamente 2,9 milhões de hectares reflorestados com o gênero *Eucalyptus* (ABIMCI, 2003).

Diante da crescente demanda de uso, surgiu a necessidade de conscientização do uso de árvores mais velhas, que já atingiram determinado grau de maturação, principalmente em termos de madeira sólida.

Modernas técnicas de desdobro da madeira, aliadas ao melhoramento genético e os tratamentos silviculturais, têm buscado disponibilizar madeira de eucalipto de melhor qualidade. Suas características como, por exemplo, as elevadas contrações não podem ser consideradas limitantes para sua utilização, mas, sim, como desafios a serem enfrentados por meio de pesquisas integradas pelos profissionais envolvidos.

Diante das projeções que revelam ser cada vez mais iminentes, espera-se um déficit de madeira para o suprimento industrial; em função disso, o aprofundamento do estudo sobre as características da madeira das diversas espécies de eucalipto e do seu potencial é cada vez mais justificado.

Dada a grande versatilidade do gênero, os reflorestamentos de *Eucalyptus* são encontrados por todo o território brasileiro. Cabe ressaltar, neste contexto, a importância do Estado de Minas Gerais, que detém mais da metade dos plantios dessas espécies, muitas vezes em regiões com condições de solo e clima desfavoráveis à grande maioria das atividades agrícolas.

No tocante às espécies utilizadas no presente trabalho, o *E. cloeziana* tem sido plantado intensivamente na região do Cerrado Mineiro, sendo a sua madeira muito utilizada para a produção de carvão vegetal e postes. É também utilizado em serraria, caixotaria, dormentes, moirões e lenha.

A espécie *E. urophylla* tem sido utilizada em programas de melhoramento genético, principalmente de hibridação e sua madeira tem sido utilizada no Brasil em laminação, caixotaria, mourões, escoras, celulose e papel, chapas duras, painéis, lenha e carvão (SILVA, 2001).

2. OBJETIVOS

Esse trabalho teve como objetivo principal a caracterização das madeiras de *Eucalyptus cloeziana* e *Eucalyptus urophylla*, com base na necessidade de um estudo mais aprofundado sobre as variações da constituição anatômica e das propriedades da madeira dessas espécies, em função da variação de locais, árvores e posições dentro da árvore. Procurou-se, também, descrever as possíveis correlações existentes entre algumas dessas propriedades.

3. METODOLOGIA GERAL DO TRABALHO

O presente trabalho foi realizado no Laboratório de Propriedades Físicas e Mecânicas da Madeira, do Departamento de Engenharia Florestal, situado no campus da Universidade Federal de Viçosa, em Minas Gerais.

Foram utilizadas as madeiras de *Eucalyptus urophylla* e *Eucalyptus cloeziana* provenientes de plantios comerciais de duas empresas do Estado de Minas Gerais. Esses plantios estão situados no município de Turmalina e no município de Paraopeba, nas regiões nordeste e central do Estado, respectivamente. Utilizaram-se sete árvores para cada uma das espécies, em cada um dos locais e se aproveitou a primeira e a segunda tora no sentido base-topo, ambas com comprimento comercial de três metros. Assim sendo, foram utilizadas cinquenta e seis toras para serem processadas.

As árvores foram selecionadas de acordo com certos padrões freqüentemente exigidos de toras destinadas à serraria (toras retilíneas, ausência de nós, diâmetro aproximado de 30 cm, sem sinais de apodrecimento ou ataque de insetos, poucas rachaduras etc). Esses critérios foram adotados no sentido de se obter madeira isenta de defeitos, que são requisitos básicos para a retirada dos corpos-de-prova.

A seguir, são apresentadas algumas informações silviculturais referentes às espécies, de acordo com o local de origem nos Quadros 1 e 2.

As toras foram desdobradas na serraria da Universidade Federal de Viçosa, sendo que de cada tora foi retirada a prancha diametral, com espessura aproximada de 4 cm. O restante das toras foi devidamente desdobrado e empilhado para secagem ao ar livre. A Figura 1 ilustra a entrada das toras na serraria e o respectivo desdobro para a retirada da prancha diametral.

Quadro 1 - Informações silviculturais da madeira de Turmalina, fornecida pela Acesita Energética

Informações gerais	<i>E. cloeziana</i>	<i>E. urophylla</i>
Origem	Remanescente de plantio comercial	Área produtora de sementes
Procedência	Zimbábue	Timor
Idade	25 anos	25 anos
Espaçamento original (m)	3 x 2	3 x 2
Diametro médio das toras (cm)	30.97	33.64
Volume médio das toras (m ³)	0.228	0.269
Tipo de solo	Latossolo vermelho amarelo	Latossolo vermelho amarelo
Tratamento silvicultural	Desbaste em 1985, deixando 200 árvores/ha	Desbaste em 1985, deixando 200 árvores/ha
OBS	Árvores remanescentes, deixadas para postes e uso em serraria	Árvores deixadas como porta-sementes

Quadro 2 - Informações silviculturais da madeira de Paraopeba, fornecida pela V&M Florestal

Informações gerais	<i>E. cloeziana</i>	<i>E. urophylla</i>
Origem	Área de produção de sementes	Implantado como pomar de sementes
Procedência	Gympie (Austrália)	Monte Egon (Austrália)
Idade	15 anos	15 anos
Espaçamento original (m)	3 x 2	6 x 6
Diametro médio das toras (cm)	28.23	27.88
Volume médio das toras (m ³)	0.189	0.185
Tipo de solo	Latossolo vermelho escuro textura argilosa	Latossolo vermelho escuro textura argilosa
Tratamento silvicultural	Desbaste aos 4 e 7 anos	Não sofreu desrama nem desbaste



Figura 1 - Entrada das toras na serraria e retirada da prancha diametral.

Para a determinação da densidade, retratibilidade, mensurações anatômicas e propriedades mecânicas foi retirada de cada tábua uma amostra de 50 cm de comprimento da região central. Após a retirada das amostras, foi feita a identificação por local, espécie e árvore.

Em seguida, foram retiradas três “baguetas” de cada amostra da região central que foram devidamente identificadas, sendo uma, destinada às mensurações da densidade e as outras duas, às mensurações anatômicas.

Do restante da porção central de 50 cm de comprimento foram obtidas ripas de 2 x 2 cm de seção transversal, devidamente identificadas, de acordo com a sua posição, no sentido medula-casca. Este material foi utilizado para a retirada de corpos de prova para determinação das contrações linear e volumétrica, além das amostras para determinação das propriedades mecânicas.

A Figura 2 ilustra o esquema adotado para a retirada das amostras para os ensaios de caracterização da madeira.

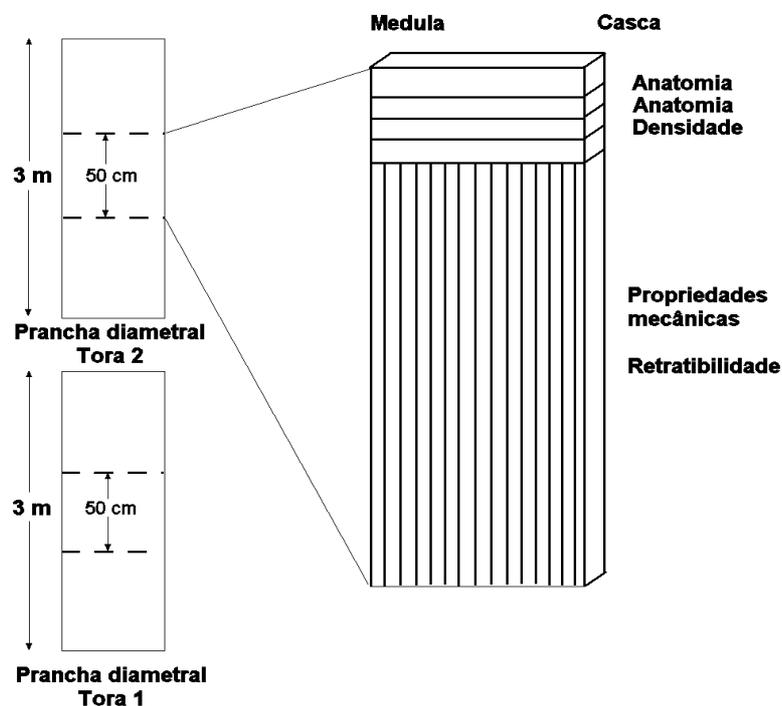


Figura 2 - Representação esquemática da prancha diametral e da porção central de onde foram retiradas as amostras

Para os estudos de caracterização das propriedades da madeira, foram levantadas as seguintes informações:

- Densidade básica, seca ao ar e absolutamente seca, no sentido medula-casca;
- Mensurações dos elementos anatômicos da madeira (comprimento, largura, diâmetro do lume e cálculo da espessura da parede, frequência e dimensões fundamentais dos vasos) (COPANT 1974);
- Retratibilidade da madeira (ABNT NBR 7190);
- Flexão estática (módulo de elasticidade e módulo de ruptura); trabalho no limite de proporcionalidade (ABNT MB-26/40);
- Resistência à compressão paralela (ABNT MB-26/40);
- Resistência ao cisalhamento (ABNT MB-26/40).

CAPÍTULO 1

DENSIDADE

1. INTRODUÇÃO

A densidade é uma das propriedades mais importantes para a caracterização da madeira, pois se correlaciona diretamente com as outras propriedades físicas e mecânicas. Devido à carga genética das plantas, cada espécie possui um valor próprio. Existem espécies que apresentam valores considerados extremamente baixos até aquelas com valores tidos como excepcionalmente elevados. São listadas espécies como a *Chorisia speciosa* com $0,26 \text{ g/cm}^3$, de densidade mais baixa, e *Myracroduon urundeuva*, com $1,21 \text{ g/cm}^3$, de densidade mais alta, apresentando uma diferença de mais de quatro vezes (IPT, 1956).

A densidade pode variar entre gêneros, entre espécies, dentro de um mesmo gênero, dentro da mesma espécie e dentro da mesma árvore (PANSHIN e DE ZEEUW, 1980).

Segundo OLIVEIRA (1997), a densidade é uma das propriedades que mais fornece informações sobre as características da madeira. Englerth (1966), citado por SILVA (2002), afirmou que a qualidade da madeira sólida é quase sinônimo de sua densidade e, segundo KOLLMANN e CÔTÉ (1968), as suas variações ocorrem em razão das diferenças da estrutura e da presença de extrativos. A estrutura é caracterizada pela proporção dos diferentes tipos de células (como fibras, traqueídeos, vasos,

parênquima axial e radial) e pelas dimensões dessas células, em especial, a espessura das paredes celulares.

De acordo com PANSWIN e DE ZEEUW (1980), a densidade da madeira é essencialmente função da espessura da parede celular, das dimensões e dos tipos de células e, em menor proporção, da quantidade de componentes extratáveis presentes por unidade de volume. Ainda, segundo os autores, a variabilidade da maior parte das propriedades mecânicas da madeira pode ser estimada com base na variação da densidade.

MOREIRA (1999) relatou que a densidade é o resultado da combinação das características anatômicas e dos constituintes químicos da madeira. Segundo esse autor, as influências dessas características sobre a densidade são complexas, permanecendo uma série de dúvidas sobre tais relações.

As variações da densidade dependem das mudanças na proporção dos vasos e da espessura das paredes celulares das fibras. Um crescimento da densidade pode resultar do aumento da espessura da parede das fibras, ou do aumento da proporção das fibras em relação à proporção de vasos. De maneira inversa, um aumento na proporção de vasos, com ou sem decréscimo na espessura da parede celular, pode levar à redução da densidade. Esses efeitos são considerados interativos, dificultando uma avaliação isolada (PANSWIN e DE ZEEUW, 1980).

Shimoyama e Barrichelo (1991), citados por OLIVEIRA (1997), ao estudarem a influência das características anatômicas sobre a densidade básica da madeira de *Eucalyptus* de sete anos de idade, verificaram que as características anatômicas exerceram influência na densidade em *E. grandis*, *E. saligna* e *E. urophylla*, sendo que a espessura da parede celular e o diâmetro do lume das fibras foram as características de maior relevância.

Em trabalho com espécies nativas, DIAS e ROCCO (2004), através da análise de regressão, ajustaram equações que permitiram estimar grande parte das propriedades de resistência e rigidez da madeira, a partir da densidade aparente. Foram obtidas equações com satisfatório coeficiente de determinação para as relações entre a densidade aparente e resistência a compressão paralela, tração paralela, cisalhamento, além dos módulos de elasticidade à compressão e tração paralela às fibras, dentre outras.

Atualmente, há uma conscientização de que a densidade, de forma isolada, não reflete a influência das características nas propriedades, de um modo geral; torna-se necessária a identificação de outras variáveis que, juntamente com ela, possam

contribuir para a explicação das variações do comportamento e da qualidade da madeira.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Para os ensaios de densidade básica, seca ao ar e absolutamente seca foram utilizadas amostras provenientes de sete árvores de cada espécie por local, totalizando 28 árvores. Foram utilizadas as duas primeiras toras de 3 m de comprimento por árvore, perfazendo um total de 56 toras.

Para a obtenção das amostras, utilizou-se uma bagueta de 2 x 2 cm e de comprimento variável, retirada da região central de cada tábua diametral, sendo a mesma subdividida e identificada a cada 1 cm, no sentido medula-casca. Após a subdivisão, todas as amostras foram pesadas em balança digital, com precisão de 0,001g. Na determinação do volume das amostras em estado verde, utilizou-se o método de imersão em mercúrio, descrito por VITAL (1984).

Para a determinação da densidade seca ao ar, as amostras foram acondicionadas em câmara climática com temperatura de 20 °C e umidade relativa de 65%, até atingirem massa constante. Foram medidos, de cada amostra, a massa seca ao ar e os respectivos volumes.

Para a determinação da massa absolutamente seca, as amostras foram levadas à estufa (103 °C ± 2 °C) até atingirem massa constante. Obteve-se, também, o volume para a determinação da densidade absolutamente seca.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo, adotou-se como abordagem principal a exploração da densidade básica, fazendo-se uso das demais no capítulo referente às correlações entre as diversas propriedades.

O Quadro 1, a seguir, apresenta as médias de densidade básica das duas espécies nos dois locais. Os valores médios de densidade básica para a espécie *E. cloeziana*, não apresentaram diferença significativa entre os locais de plantio. Há, no entanto, um efeito significativo do local na densidade da madeira de *E. urophylla*.

Quadro 1 - Valores médios de densidade básica das sete árvores por espécie, em cada local, em g/cm³

Espécie	Localidade	
	Turmalina	Paraopeba
<i>E. cloeziana</i>	0,742 (0.033)a	0,737 (0.035)a
<i>E. urophylla</i>	0,628 (0.042)a	0,669 (0.014)b

Médias seguidas pela mesma letra, para a mesma espécie, não diferem estatisticamente entre si a 5% de probabilidade pelo teste t de Student. Os valores entre parêntesis representam o desvio padrão.

Informações mais detalhadas de cada árvore são apresentadas nos Quadros 2, 3, 4 e 5.

Não se encontrou correlação entre os diâmetros das toras e a densidade básica, independentemente da espécie e do local de plantio. Verificou-se, na maioria dos casos apresentados anteriormente, pouca variação entre as médias das duas toras. Entretanto, foi observado em alguns poucos casos nas espécies oriundas de Turmalina, maior variabilidade entre esses valores médios.

Quadro 2 - Densidade básica por tora e por árvore e a média das sete árvores da espécie *E. cloeziana* em Turmalina

Espécie	Local	Árvore	Tora	Densidade (g/cm ³)	Média das toras	Média das árvores (g/cm ³)
<i>E. cloeziana</i>	Turmalina	1	1	0,743	0,748	0,742
			2	0,753		
		2	1	0,753	0,754	
			2	0,755		
		3	1	0,785	0,779	
			2	0,773		
		4	1	0,679	0,681	
			2	0,683		
		5	1	0,760	0,771	
			2	0,782		
		6	1	0,762	0,738	
			2	0,714		
		7	1	0,707	0,724	
			2	0,741		

Quadro 3 - Densidade básica por tora e por árvore e a média das sete árvores da espécie *E. cloeziana* em Paraopeba

Espécie	Local	Árvore	Tora	Densidade (g/cm ³)	Média das toras	Média das árvores (g/cm ³)
<i>E. cloeziana</i>	Paraopeba	1	1	0,700	0,701	0,737
			2	0,702		
		2	1	0,697	0,700	
			2	0,703		
		3	1	0,723	0,723	
			2	0,723		
		4	1	0,766	0,756	
			2	0,747		
		5	1	0,784	0,768	
			2	0,753		
		6	1	0,705	0,722	
			2	0,739		
		7	1	0,792	0,791	
			2	0,791		

Quadro 4 - Densidade básica por tora e por árvore e a média das sete árvores da espécie *E. urophylla* em Turmalina

Espécie	Local	Árvore	Tora	Densidade (g/cm ³)	Média das toras	Média das árvores (g/cm ³)
<i>E. cloeziana</i>	Turmalina	1	1	0,648	0,653	0,628
			2	0,659		
		2	1	0,657	0,666	
			2	0,676		
		3	1	0,589	0,594	
			2	0,599		
		4	1	0,626	0,623	
			2	0,620		
		5	1	0,563	0,565	
			2	0,567		
		6	1	0,591	0,614	
			2	0,637		
		7	1	0,688	0,683	
			2	0,678		

Quadro 5 - Densidade básica por tora e por árvore e a média das sete árvores da espécie *E. urophylla* em Paraopeba

Espécie	Local	Árvore	Tora	Densidade (g/cm ³)	Média das toras	Média das árvores (g/cm ³)
<i>E. cloeziana</i>	Paraopeba	1	1	0,654	0,647	0,669
			2	0,640		
		2	1	0,628	0,669	
			2	0,710		
		3	1	0,671	0,660	
			2	0,650		
		4	1	0,695	0,690	
			2	0,686		
		5	1	0,718	0,671	
			2	0,624		
		6	1	0,684	0,682	
			2	0,681		
		7	1	0,667	0,666	
			2	0,666		

Como se viu, são árvores diferentes que cresceram em locais diferentes. Há poucas informações relacionando densidade com idade da árvore em condições tropicais. Trabalhos realizados em outras condições, em que as árvores apresentam anéis de crescimento bem delimitados, parecem indicar que há pouca variação de densidade nos primeiros anos, mas que, com a maturidade, os anéis se tornam mais estreitos o que ocasiona redução da densidade, especialmente, nas folhosas com porosidade em anel. A idade da árvore é menos importante nas coníferas (BROWN et al., 1952). SKOLMEN (1972), que estudou a madeira de *Eucalyptus robusta* de dez povoamentos de diferentes idades no Hawai, não encontrou diferença significativa na densidade de árvores de 31, 33, 35 e de 44 anos, embora a densidade mais baixa fosse encontrada nas árvores de 30 anos. A variação na densidade não estava relacionada com diferenças nas taxas de crescimento. Em essência, segundo o autor, a madeira dessa espécie varia acentuadamente dentro da árvore, entre árvores e entre povoamentos. COWN (1974) encontrou diferenças na densidade de até 20% entre solos considerados “normais” e solos deficientes em nutrientes. Ele também relatou em *Pinus radiata* uma correlação muito acentuada e positiva ($r = 0,94$) entre densidade e temperatura média anual, mas apenas nas camadas mais periféricas do tronco. PARKER et al. (1976)

relataram um efeito adverso de fertilização na densidade da madeira de *Pseudotsuga menziesii*; o desbaste das árvores não produziu tal efeito. COWN (1974) não pôde encontrar diferença significativa na densidade entre árvores submetidas a diferentes intensidades de desbastes. Parte da diferença em densidade pode ser explicada pela herança genética, embora CHUDNOFF e GEARY (1973) não tenham encontrado, em *Swietenia macrophylla*, correlação entre densidade da madeira da árvore mãe e a da progênie. Havia, no entanto, diferenças consideradas muito significativas entre as progênies. Tampouco ele pôde encontrar relação entre diâmetro da árvore e a densidade da sua madeira.

A Figura 1 é um sumário gráfico das informações dos quadros anteriores e que demonstra melhor a variação dos valores obtidos da densidade básica das sete árvores de cada espécie em cada local; verifica-se que *E. cloeziana* apresenta densidade muito semelhante entre os dois locais.

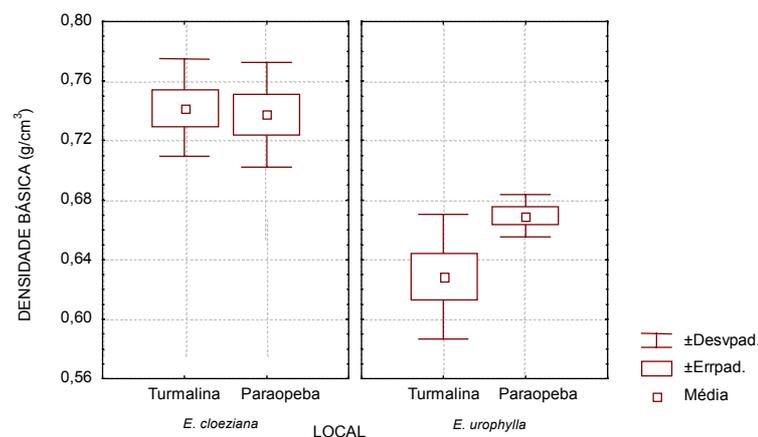


Figura 1 - Valores médios e dispersão da densidade básica das sete árvores, de cada espécie, em cada local

Como se viu, anteriormente, a densidade dessas espécies foi determinada em baguetas radiais, a cada centímetro, no sentido medula-casca. A Figura 2 ilustra a amplitude de variação da densidade básica de todas as amostras e de acordo com a espécie e local de plantio. Encontrou-se, em *E. cloeziana*, de Turmalina, valores de densidade variando de 0,48 a 0,86 g/cm³ e, em *E. urophylla*, valores situados entre 0,38 e 0,78 g/cm³, uma variação de 79% e 105%, respectivamente, no sentido radial. Para os plantios de Paraopeba, encontraram-se para *E. cloeziana* valores entre 0,48 e 0,89 g/cm³

e, para *E. urophylla*, valores situados entre 0,47 e 0,84 g/cm³, apresentando uma variação de 85% e 79%, respectivamente, no mesmo sentido.

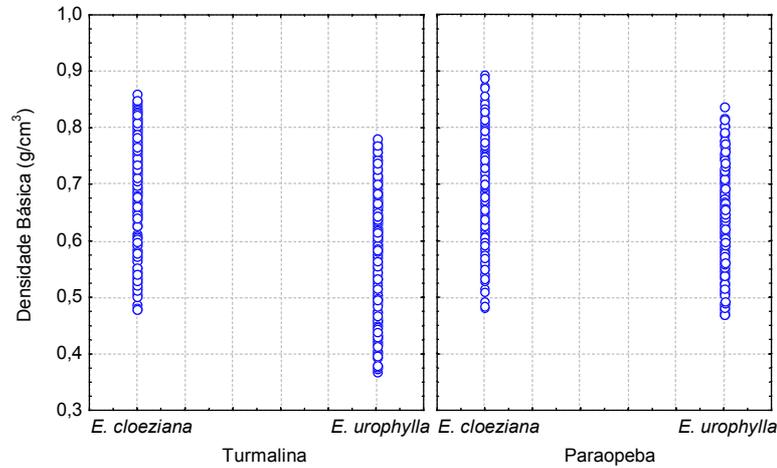


Figura 2 - Variação da densidade básica das espécies de acordo com o local de plantio.

Esses resultados demonstram uma grande variabilidade da madeira destas espécies no sentido radial, o que é confirmado por LIMA (1996); CARMO (1996) e por OLIVEIRA (1997). Também foi observada por estes autores a tendência de aumento no sentido medula-casca dos valores de densidade, com uma sensível redução dos mesmos, próximo à casca. Esse comportamento pode ser visualizado na Figura 3, onde estão plotados os valores de cada espécie em cada local, de acordo com sua posição radial.

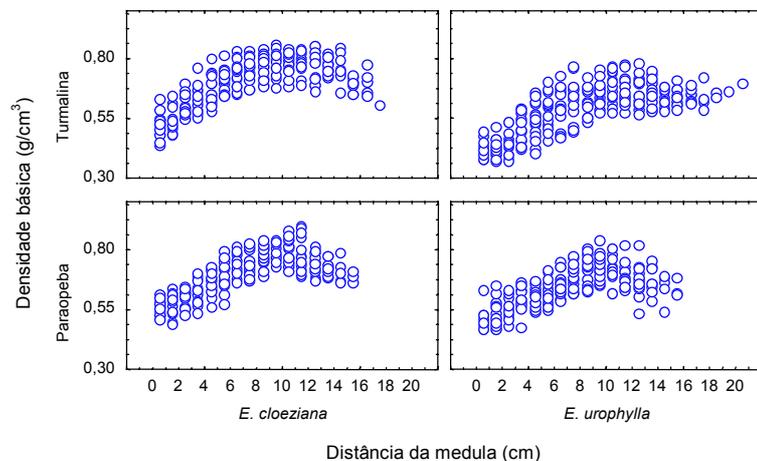


Figura 3 - Variação da densidade básica no sentido medula-casca, de todas as árvores e toras

Além dos menores valores de densidade básica na região próxima da medula em todos os casos, observou-se também uma tendência crescente desses valores até atingirem certo valor máximo, seguida de uma sensível queda nas regiões mais próximas da casca.

A relação densidade-distância em *E. cloeziana*, de Turmalina, parece obedecer a um modelo polinomial, com decréscimo suave a partir de 10 cm da medula (Figura 4). Essa mesma espécie em Paraopeba, no entanto, apresentou crescimento linear na densidade, seguido de um decréscimo também linear. O mesmo parece ser válido em *E. urophylla* em Paraopeba. Essa última espécie, em Turmalina, no entanto, parece obedecer a um modelo assintótico: a densidade estabilizou-se em $0,63 \text{ g/cm}^3$, a partir dos 13 cm da medula.

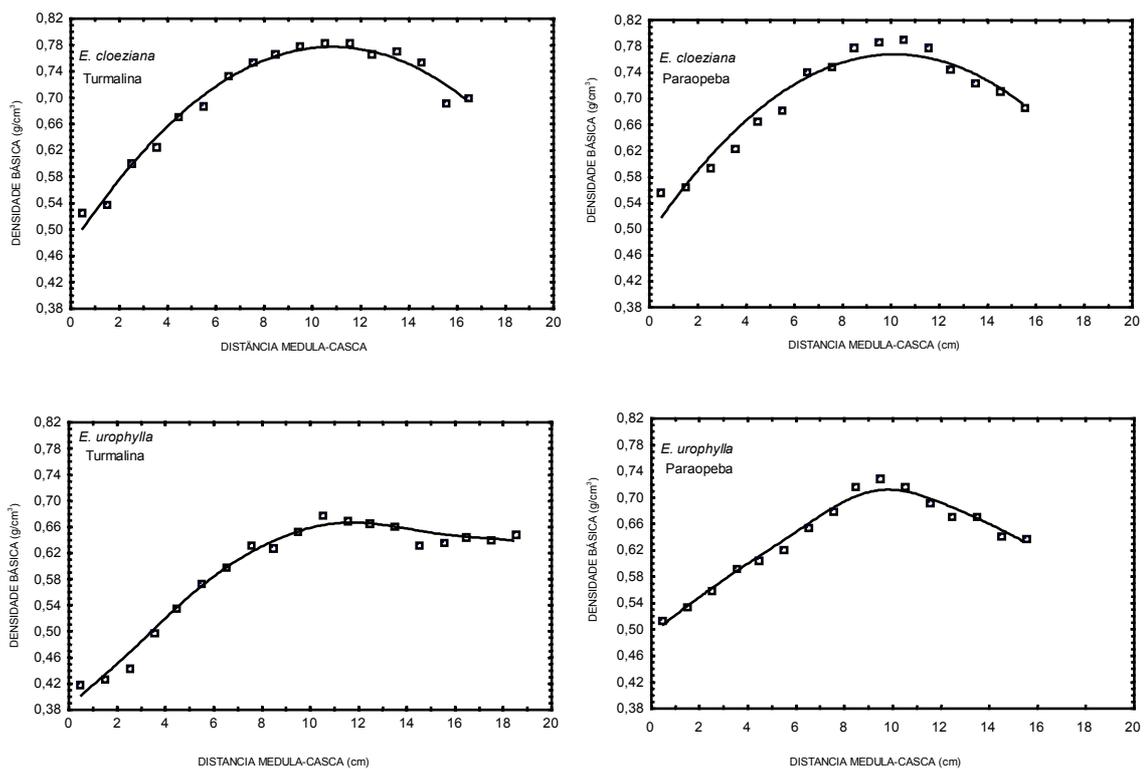


Figura 4 - Variação dos valores médios de densidade básica no sentido medula-casca para as sete árvores

4. CONCLUSÕES

A madeira de *E. cloeziana* não apresentou diferença estatística significativa entre as duas regiões no que diz respeito à densidade; no entanto, a densidade da madeira de *E. urophylla* oriunda de Paraopeba é significativamente maior do que aquela proveniente de Turmalina.

Ambas as espécies mostraram ter densidades muito variáveis dentro da árvore. *E. cloeziana* tem próximo à casca madeira de 79 a 85% mais densa do que a encontrada na vizinhança da medula. O mesmo ocorre em *E. urophylla*, em cujo caso a densidade tem um acréscimo de 79 a 105% entre as duas posições.

CAPÍTULO 2

RETRATIBILIDADE

1. INTRODUÇÃO

Quando a madeira obtida de uma árvore recém colhida é exposta ao ar, ela perde umidade, até que seja alcançado certo teor de água, cuja pressão de vapor esteja em equilíbrio com a da umidade atmosférica. A variação dimensional da madeira, em virtude da perda de água, é conhecida como retratibilidade e constitui uma de suas propriedades mais importantes, pois afeta, consideravelmente, o seu emprego industrial em vários ramos de utilização.

O aumento de volume ou inchamento da madeira se deve, principalmente, à inclusão de moléculas de água nos espaços submicroscópicos localizados entre as micelas, tendo, como conseqüência, o afastamento das mesmas. De idêntica forma, porém, em sentido contrário, a redução do volume de uma peça se explica pela saída de moléculas de água dos espaços mencionados, ocasionando a aproximação das micelas e, conseqüentemente, a retração da madeira (DURLO e MARCHIORI, 1992).

De acordo com OLIVEIRA (1997), precauções especiais devem ser tomadas quando a estabilidade da madeira é considerada fundamental. A utilização incorreta do material, por falta de atenção à secagem correta até a umidade de equilíbrio, em componentes, como pisos, esquadrias, portas, entre outros, pode acarretar sérios prejuízos. Para HILLIS e BROWN (1978), a elevada retratibilidade da madeira do

gênero *Eucalyptus* é um dos principais problemas para sua utilização como madeira sólida.

Segundo Sallenave (1964), citado por MOREIRA (1999), a contração se manifesta mais intensamente no sentido transversal das fibras. A camada S2 é a mais espessa e mais rica em celulose, sendo a principal responsável pela contração nesse sentido. No sentido tangencial, a contração é, em geral, de 1,5 a 2 vezes mais intensa que no sentido radial. A contração radial, em média, atinge valores compreendidos entre 2 a 7%. É essa diferença entre a contração tangencial e a radial que, freqüentemente, explica as deformações da madeira, que ocorrem durante a secagem.

De acordo com VITAL e TRUGILHO (1997), as madeiras de todas as espécies sofrem alguma modificação nas suas dimensões, quando o seu teor de umidade é alterado. Essas variações dimensionais ocorrem quando há flutuação na umidade da madeira abaixo de 30%, ou seja, em teores de umidade normalmente observados na madeira em uso. Ainda, segundo esses autores, além das alterações no teor de umidade, as variações dimensionais são afetadas por diversos outros fatores, tais como: densidade, estrutura anatômica, teor de extrativos, composição química e tensão de crescimento, entre outros.

A relação entre a retratibilidade nas direções tangencial e radial (T/R), ou seja, o fator anisotrópico, indica a maior ou menor tendência da madeira em fendilhar ou empenar durante a fase de secagem ou, mesmo em condições de uso, sujeitos às grandes variações higrométricas.

Os valores desse índice, segundo DURLO e MARCHIORI (1992), apresentam o seguinte critério de classificação: 1,2 a 1,5 - considerado excelente, ocorrendo em madeiras como cedro, sucupira, mogno e balsa, entre outras; 1,5 a 2,0 - considerado normal, ocorrendo em madeiras como ipê, pinus, peroba rosa e teca, entre outras espécies; e acima de 2,0 - considerado como ruim, que poderá ocorrer em madeiras de araucária, imbuia, álamo, jatobá e outras.

JANKOWSKY e GALVÃO (1985) salientaram que a relação T/R deve ser observada com cautela, uma vez que determinada espécie pode apresentar um fator anisotrópico considerado baixo, porém, com valores absolutos de T e R elevados.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Para os ensaios de retratibilidade linear e volumétrica foram utilizadas sete árvores de cada espécie por local, totalizando vinte e oito árvores. Foram utilizadas duas toras por árvore, perfazendo um total de cinquenta e seis toras. Foram utilizadas amostras de 2 x 2 x 3cm, sendo esta última medida tomada no sentido longitudinal, totalizando 260 corpos de prova. Eles foram devidamente identificados, de acordo com a posição medula-casca e imediatamente tomadas suas dimensões lineares para determinação das mesmas em estado verde. A obtenção do volume foi determinada multiplicando-se os valores das três dimensões. Todas as amostras foram imediatamente pesadas, também, em estado verde, utilizando-se uma balança digital com precisão de 0,001g, para posterior determinação do teor de umidade.

Para a realização das medições, foi utilizado um micrômetro digital para obtenção das dimensões radial e tangencial e um paquímetro digital, com precisão de 0,001cm para a obtenção da dimensão longitudinal.

Para a determinação da retratibilidade da madeira seca ao ar, as amostras foram acondicionadas em câmara climática com temperatura de 20 °C e umidade relativa de 65%, até atingirem massa constante. Tomadas suas dimensões lineares e a massa, elas foram posteriormente levadas à estufa a 103 °C ± 2 °C para obtenção da massa absolutamente seca. Posteriormente, as amostras foram pesadas e determinaram-se suas dimensões em estado seco para cálculo das contrações parciais e totais.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O Quadro 1 resume os valores das contrações e fator anisotrópico da madeira dessas espécies, de acordo com o local de origem.

A contração no sentido longitudinal apresentou valores inferiores a 1%. No que diz respeito às contrações radiais, tangenciais e volumétricas, os valores encontrados para a espécie *E. urophylla* foram significativamente diferentes, em relação ao local de plantio, fato que não ocorreu com *E. cloeziana*.

A madeira de *E. cloeziana*, proveniente de Turmalina, apresentou maior fator anisotrópico (T/R) em relação à mesma espécie proveniente de Paraopeba, fato não observado para *E. urophylla*, em ambos os locais. O fator anisotrópico não deve ser tomado como o único parâmetro de avaliação da estabilidade dimensional. Em todos os

casos, devem ser observados os valores das contrações lineares. Um exemplo disso é o fato de que a madeira de *E. urophylla* apresenta menores valores de fator anisotrópico, mesmo apresentando maiores contrações tangenciais e radiais.

Quadro 1 - Valores médios das contrações lineares totais, volumétrica e fator anisotrópico de cada espécie, de acordo com o local de plantio

Propriedades	<i>E. cloeziana</i>		<i>E. urophylla</i>	
	Turmalina	Paraopeba	Turmalina	Paraopeba
Contração axial (%)	0,30 (0,09)a	0,22 (0,12)b	0,21 (0,10)a	0,18 (0,09)a
Contração radial (%)	5,93 (1,24)a	5,76 (1,20)a	7,43 (1,41)a	6,20 (1,03)b
Contração tangencial (%)	10,34 (1,21)a	9,95 (1,50)a	12,85 (2,32)a	10,52 (1,12)b
Contração volumétrica (%)	15,91 (1,71)a	15,32 (1,97)a	19,47 (2,54)a	16,21 (1,24)b
Fator anisotrópico (T/R)	1,86 (0,70)a	1,79 (0,44)b	1,79 (0,51)a	1,75 (0,38)a

Médias seguidas pela mesma letra, dentro da mesma espécie, não diferem estatisticamente entre si a 5% de probabilidade pelo teste t de Student. Os valores entre parêntesis representam o desvio padrão.

Os valores encontrados para as contrações lineares estão próximos daqueles obtidos por OLIVEIRA (1997), que citou para *E. cloeziana* de dezesseis anos de idade valores de contração radial e tangencial iguais a 5,7% e 9,3%, respectivamente. Para a contração volumétrica e fator anisotrópico, esse mesmo autor encontrou valores iguais a 16,5% e 1,7 respectivamente. Já para *E. urophylla* da mesma idade, o autor encontrou valores de contração radial, tangencial, volumétrica e fator anisotrópico iguais a 7,9%, 15,3%, 25,6% e 2,0, respectivamente. À exceção da contração radial, os valores são superiores aos obtidos no presente trabalho. Para esta mesma seqüência de contrações e fator anisotrópico, anteriormente citadas, SCANAVACA e GARCIA (2004), utilizando a madeira de *E. urophylla* de dezenove anos de idade, encontrou valores médios iguais a 7,18%, 12,49%, 19,77% e 1,76.

Valores semelhantes aos obtidos no presente trabalho foram encontrados por CARMO (1996) e MOREIRA (1999). A primeira autora encontrou para *E. cloeziana*, de vinte e um anos de idade, valores de contração radial, tangencial e volumétrica iguais a 6,2%, 10,9% e 15,7%, respectivamente. Para o fator anisotrópico, encontrou-se o valor de 1,76.

A Figura 1 ilustra a variação das contrações e fator anisotrópico das amostras, de acordo com a espécie e local de plantio. Encontraram-se para *E. cloeziana* do município

de Turmalina, valores de contração volumétrica, variando de 11,5 a 19,8% e, para *E. urophylla*, valores situados entre 13,6 e 24,5%, com uma variação de 72% e 80%, respectivamente, no sentido radial. Para os plantios de Paraopeba encontraram-se para *E. cloeziana* valores entre 11,2 e 20,4% e, para *E. urophylla*, valores situados entre 12,9 e 20,3%, apresentando uma variação de 82% e 57%, respectivamente, no mesmo sentido.

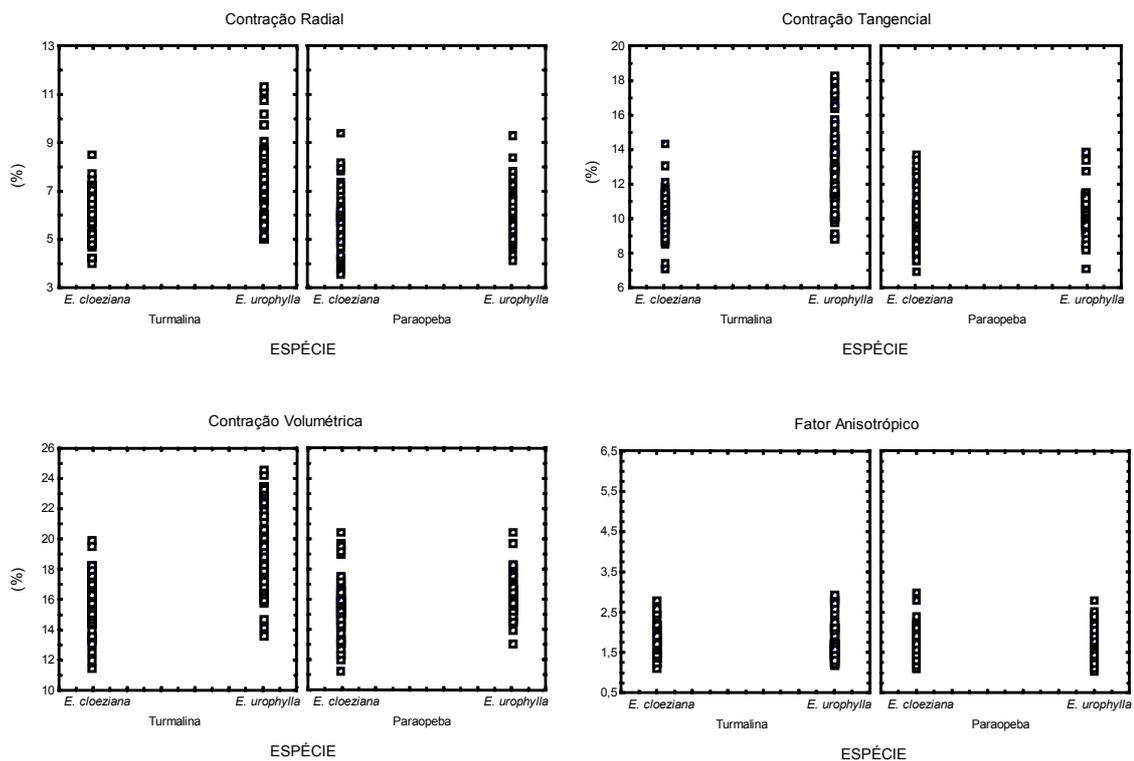


Figura 1 - Variação dos valores das contrações totais e fator anisotrópico total no sentido medula-casca das espécies de acordo com o local de plantio.

A Figura 2, demonstra graficamente, a variação dos valores médios das contrações e do fator anisotrópico, no sentido medula-casca.

Também foi observada grande variação dos valores das contrações radial e tangencial e do fator anisotrópico, no sentido medula-casca. Estes resultados demonstram a grande variabilidade da madeira destas espécies quanto à variação dimensional nesse sentido.

Shupe et al. (1995), citados por OLIVEIRA (1997), afirmaram que não existe um perfil definido de variação da retratibilidade para a madeira na direção

medula-casca, de um modo geral. Esse último autor, no entanto, ao avaliar a madeira de sete espécies de *Eucalyptus*, verificou que existe um padrão crescente da retratibilidade na direção radial para a madeira de *E. cloeziana* e *E. urophylla*.

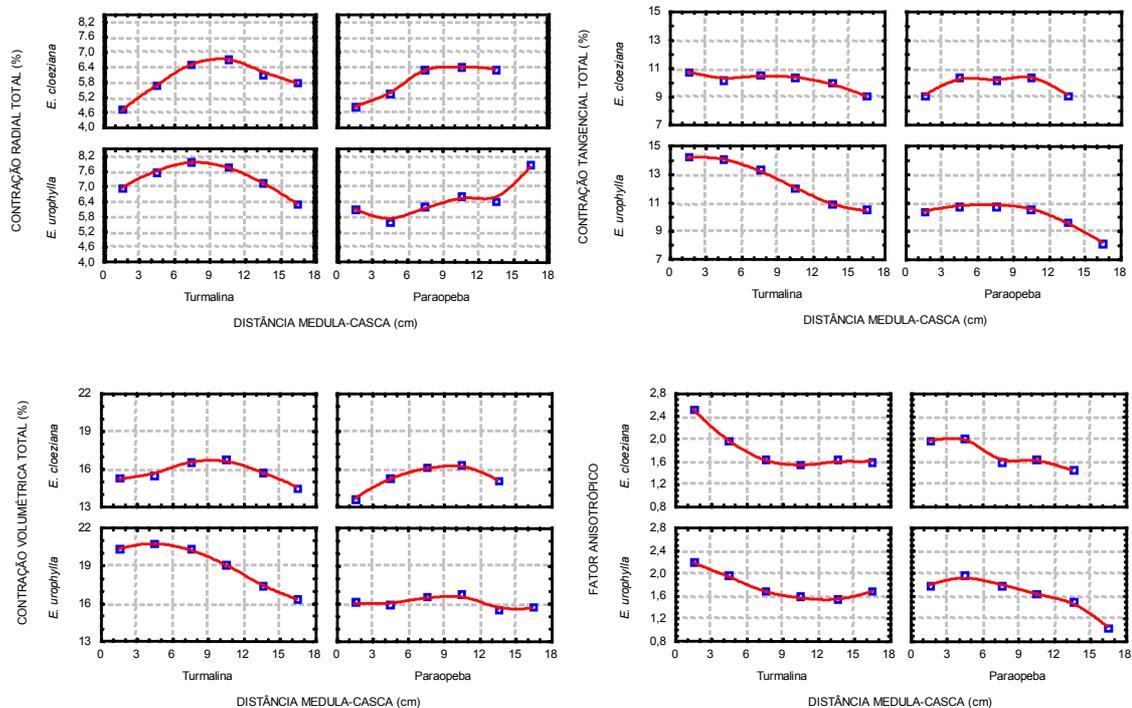


Figura 2 - Variação dos valores médios das contrações totais e fator anisotrópico total no sentido medula-casca das espécies de acordo com o local de plantio

Convém salientar que as curvas plotadas não têm por objetivo o ajuste de modelos, buscando apenas, ilustrar os perfis das variações. Para a contração radial total, verificou-se uma tendência de crescimento dos valores, seguida de reduções nas proximidades da casca, em ambas as espécies, na maioria dos casos, excetuando-se a madeira de *E. urophylla*, proveniente de Paraopeba, com pequenas oscilações. Já no caso da contração tangencial total, verificou-se uma tendência de redução dos valores, à exceção da madeira de *E. cloeziana*, proveniente de Paraopeba, que apresentou uma tendência crescente, até atingir um valor máximo, seguido de uma ligeira queda. A contração volumétrica total apresentou uma tendência de aumento a partir da medula, com posterior decréscimo. O fator anisotrópico apresentou, em ambas as espécies e nos dois locais, uma tendência decrescente, com valores inferiores desse índice na região do alburno periférico.

Os valores de fator anisotrópico de ambas as espécies, nas duas localidades, podem ser considerados normais, porém, devem ser observadas as contrações radiais e tangenciais. Essas contrações mencionadas são consideradas elevadas e estão em conformidade com o que é encontrado normalmente para espécies do gênero *Eucalyptus*.

Segundo OLIVEIRA (1997), os valores totais de retratibilidade são da maior importância, quando se trata da caracterização do material, permitindo a escolha das espécies onde a estabilidade dimensional é condição essencial. Do ponto de vista prático, torna-se importante saber o comportamento da madeira diante da variação de umidade até as condições de equilíbrio higroscópico, ou a retratibilidade parcial da madeira.

O Quadro 2 resume os valores das contrações e fator anisotrópico parciais da madeira dessas espécies, de acordo com o local de origem.

Quadro 2 - Valores médios das contrações lineares parciais (até equilíbrio higroscópico), volumétrica e fator anisotrópico de cada espécie, de acordo com o local de plantio

Propriedades	<i>E. cloeziana</i>		<i>E. urophylla</i>	
	Turmalina	Paraopeba	Turmalina	Paraopeba
Contração radial (%)	2,95 (0,52)a	2,69 (0,64)a	4,70 (1,31)a	3,20 (0,78)b
Contração tangencial (%)	5,92 (1,15)a	5,57 (1,21)a	9,38 (2,77)a	6,56 (1,07)b
Contração Volumétrica (%)	8,74 (1,29)a	8,13 (1,31)a	13,61 (3,26)a	9,54 (1,29)b
Fator anisotrópico (T/R)	2,06 (0,53)a	2,21 (0,94)a	2,10 (0,85)a	2,16 (0,64)a

Médias seguidas pela mesma letra, dentro da mesma espécie, não diferem estatisticamente entre si a 5% de probabilidade pelo teste t de Student. Os valores entre parêntesis representam o desvio padrão.

Observaram-se, conforme o esperado, menores valores de contrações parciais em relação às contrações totais, tanto da retratibilidade linear, quanto da volumétrica, para ambas as espécies de *Eucalyptus*. Não foi encontrada diferença significativa em função do local para a madeira de *E. cloeziana* em nenhuma das propriedades. Comportamento inverso, à exceção do fator anisotrópico, foi observado para a madeira de *E. urophylla*, encontrando-se diferença significativa em função do local de plantio, o que já havia sido observado para as contrações totais.

Apesar da considerável queda dos valores das contrações lineares e volumétricas em todas as espécies e locais, o fator anisotrópico apresentou valores mais elevados.

A Figura 3 apresenta graficamente a variação dos valores médios das contrações e fator anisotrópico no sentido medula-casca, de maneira semelhante ao que foi apresentado na Figura 2, para a retratibilidade total, diferindo somente com relação à magnitude dos valores.

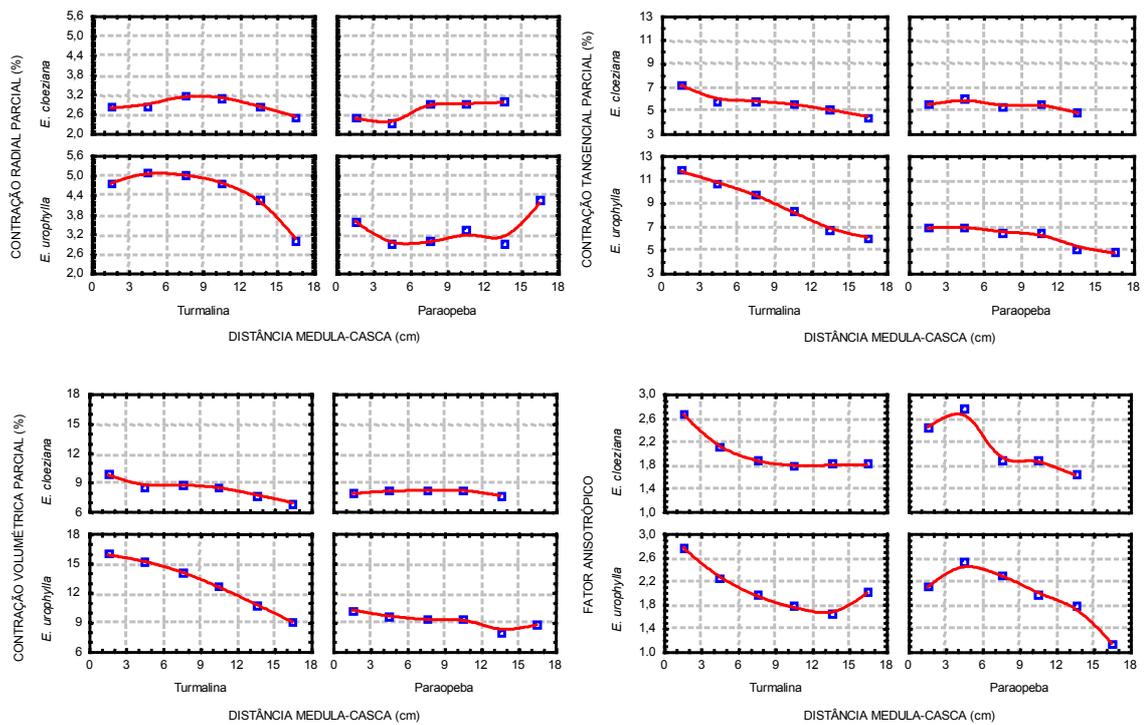


Figura 3 - Variação dos valores médios das contrações parciais e fator anisotrópico parcial no sentido medula-casca das espécies de acordo com o local de plantio

4. CONCLUSÕES

Os valores das contrações observados estão de acordo com aqueles normalmente encontrados na literatura para as espécies em questão. Apesar de se ter obtido a relação T/R inferior a 2,0, sendo considerado um valor razoável, obtiveram-se valores elevados, porém semelhantes aos encontrados para as espécies do gênero *Eucalyptus*, das contrações lineares, à exceção dos valores de contração axial.

Encontrou-se diferença significativa nas contrações radial, tangencial e volumétrica em *E. urophylla* em função do local de plantio, evidenciando a maior variabilidade dessa espécie quanto a essa propriedade.

Foi observada variação das contrações em ambas as espécies no sentido medula-casca, demonstrando que cuidados na secagem da madeira devem ser tomados ao se fazer uso dessas espécies.

CAPÍTULO 3

PROPRIEDADES MECÂNICAS

1. INTRODUÇÃO

De acordo com PANSWIN e DE ZEEUW (1980), a resistência da madeira expressa a sua capacidade de suportar cargas e forças e está intimamente relacionada com a sua densidade. As características de resistência ou propriedades mecânicas são normalmente determinadas em laboratório e podem ser utilizadas para dimensionar peças de madeira em estruturas.

Segundo TSOUMIS (1991), as propriedades mecânicas da madeira são a medida da sua resistência a forças exteriores que tendem a deformar a sua massa. A resistência da madeira para tais forças depende da magnitude das mesmas e da maneira como é feito o carregamento. Em contraste com os metais e outros materiais de estrutura homogênea, a madeira exibe diferentes propriedades mecânicas nas diferentes direções de crescimento (axial, radial e tangencial).

O interesse pela determinação das características mecânicas da madeira é justificado pelo fato de que, na maioria das situações de utilização, os esforços a que a madeira está submetida devem ser conhecidos, possibilitando, assim, o correto dimensionamento dos vários componentes que formam o conjunto estrutural como um todo.

As propriedades mecânicas são divididas em características de resistência e elasticidade. Dentre as características de resistência estão incluídas a compressão e a tração paralela e perpendicular à grã, flexão estática e dinâmica, cisalhamento, fendilhamento, dureza e resiliência. Entre as de elasticidade, estão incluídos os módulos de elasticidade, que estão diretamente relacionados com a rigidez do material.

Segundo OLIVEIRA (1997), a resistência ou módulo de ruptura à flexão é uma das mais importantes propriedades da madeira como material construtivo, sendo o fator primordial na construção de casas, pontes, telhados, construções marítimas e demais construções de madeira, como, por exemplo, no dimensionamento de vigas.

De acordo com CARRASCO e MOREIRA (2003), as principais vantagens da madeira são consequência de suas propriedades físicas e mecânicas, destacando-se: excelente relação resistência-peso, baixa condutibilidade térmica, facilidade de ligação com outros materiais de construção, possibilidade de execução de obras de grandes vãos livres, como as estruturas em madeira laminada colada, bom desempenho acústico, dentre outras.

A madeira de eucalipto atende às mais diferentes exigências quanto às propriedades mecânicas. Deve-se, portanto, levar em consideração a grande variabilidade existente nesta propriedade ao longo da direção radial, além da presença de madeira juvenil, falhas de compressão e grã espiralada, que podem afetar seriamente as propriedades de resistência da madeira.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Após a retirada das baguetas para determinação da densidade e propriedades anatômicas da porção central de 50 cm, obtidas de cada tábua diametral, foram confeccionadas e identificadas ripas de comprimento superior a 30 cm, segundo sua posição medula-casca. Dessas ripas foram retirados os corpos-de-prova com dimensões nominais de 2 x 2 x 30 cm, sendo a última medida no sentido longitudinal, destinados ao ensaio de flexão estática. Com o restante desse material, foram obtidas as amostras para os ensaios de cisalhamento e compressão paralela às fibras. Foram ensaiados 258 corpos-de-prova por propriedade.

Após a confecção dos corpos-de-prova, as peças foram acondicionadas em câmara climática, à temperatura de 20 °C e umidade relativa de 65% até atingirem massa constante. Esta condição proporcionou uma umidade de equilíbrio próxima a

12%. Os valores obtidos nos ensaios de resistência mecânica, foram ajustados para 12% de umidade, conforme a norma NBR 7190 (ABNT, 1997), através da equação:

$$f_{12} = f_{U\%} \left[1 + \frac{3(U\% - 12)}{100} \right]$$

em que:

f_{12} = Valor da resistência no teor de 12% de umidade;

$f_{U\%}$ = Valor da resistência encontrado no teor de umidade ensaiado;

$U\%$ = Umidade do corpo de prova no momento do ensaio.

Os testes de flexão estática, cisalhamento e compressão paralela às fibras obedeceram às normas da ABNT 26/40 (1940) e foram realizados numa máquina universal de ensaios EMIC, gerenciada por um microcomputador.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores médios obtidos para as propriedades mecânicas estão sumarizados no Quadro 1. À exceção da resistência ao cisalhamento, destaca-se a grande variabilidade dos valores dessas propriedades para a madeira de *E. urophylla*, confirmados por meio da diferença significativa em função do local de plantio.

Para a madeira de *E. cloeziana* não foi observada influência do local de plantio para as propriedades mecânicas.

Além da variabilidade apresentada entre as médias das propriedades das espécies em cada local, buscou-se, também, descrever o comportamento de cada propriedade no sentido radial.

Quadro 1 - Valores médios das propriedades mecânicas de acordo com a espécie e local de plantio

Propriedades	<i>E. cloeziana</i>		<i>E. urophylla</i>	
	Turmalina	Paraopeba	Turmalina	Paraopeba
Resist. à flexão (MPa)	125,4 (39,6)a	125,5 (35,5)a	99,5 (27,0)a	117,1 (25,8)b
Mod. Elasticidade/Flex (MPa)	13.127 (3.500)a	12.704 (2.941)a	10.660 (2.736)a	12.400 (2.696)b
Trabalho _{L,P} (kJ/m ³)	17,5 (7,6)a	18,0 (7,8)a	11,3 (5,6)a	15,2 (5,9)b
Resist. compressão paralela(MPa)	82,5 (14,2)a	83,9 (13,1)a	71,7 (12,2)a	78,0 (11,3)b
Resist. cisalhamento (MPa)	16,3 (3,4)a	16,8 (3,3)a	13,4 (2,8)a	13,0 (2,5)a

Médias seguidas pela mesma letra, para a mesma espécie, não diferem estatisticamente entre si a 5% de probabilidade pelo teste t de Student. Os valores entre parêntesis representam o desvio padrão.

A seguir, buscou-se a descrição dessas propriedades de forma individual, visando facilitar o entendimento da variabilidade dentro das espécies, de acordo com o local de plantio. Descreveu-se, também, a variação dessas propriedades ao longo do sentido medula-casca.

3.1. Flexão estática

Do ensaio de flexão, obtiveram-se informações a respeito da resistência, do módulo de elasticidade e do trabalho até o limite de proporcionalidade.

3.1.1. Resistência à flexão (fm)

A Figura 1 demonstra graficamente os valores médios obtidos de resistência à flexão para todas as árvores avaliadas, em ambos os locais de origem.

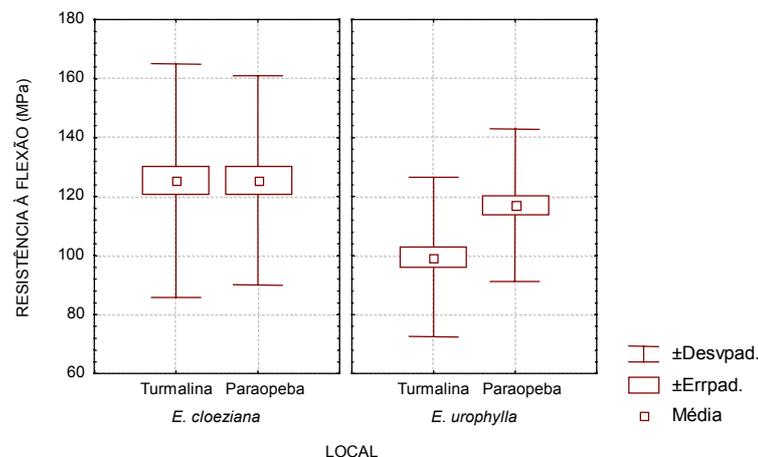


Figura 1 - Valores médios e dispersão da resistência à flexão das sete árvores de cada espécie, em cada local.

Os valores obtidos são superiores aos encontrados por OLIVEIRA (1997), que utilizou modelos estatísticos ajustados por Zhang (1991) para estimar as propriedades da madeira verde. O autor encontrou para *E. cloeziana* e *E. urophylla* valores iguais a 90 e 60 MPa, respectivamente, com elevada variabilidade na direção medula-casca. MOREIRA (1999), ao avaliar a madeira de *E. cloeziana*, quanto a esta propriedade, obteve valor médio de 130,9 MPa, valor este superior ao encontrado nesse trabalho.

SCANAVACA JUNIOR e GARCIA (2004) obtiveram 126,6 MPa e amplitude de 69,1 a 170,1 MPa para a madeira de *E. urophylla*.

A variação dos valores médios obtidos no sentido radial para esta propriedade é representada, graficamente, na Figura 2.

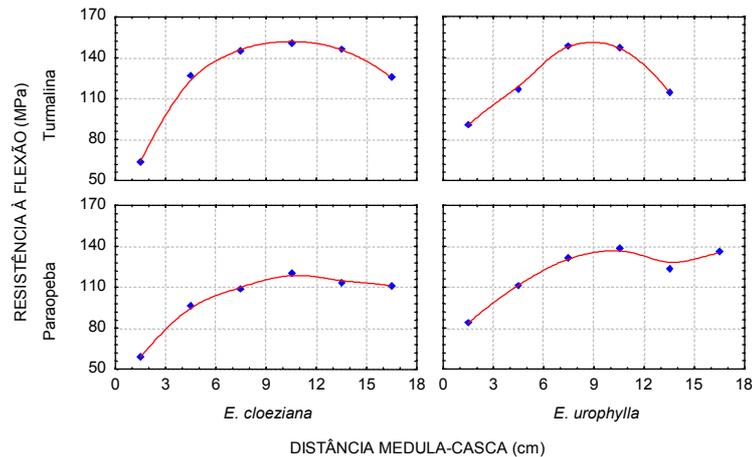


Figura 2 - Variação dos valores médios da resistência à flexão no sentido medula-casca das espécies de acordo com o local de plantio.

Observaram-se os menores valores de resistência em todas as circunstâncias para a região próxima à medula, seguido de um aumento, com posterior decréscimo dos valores nas regiões mais próximas a casca.

3.1.2. Módulo de Elasticidade à Flexão (E_f)

A Figura 3 apresenta, graficamente, os valores médios do módulo de elasticidade. OLIVEIRA (1997) estimou para as madeiras de *E. cloeziana* e *E. urophylla* valores iguais a 12.017 e 9.398 MPa, respectivamente. MOREIRA (1999) obteve 12.484 MPa para *E. cloeziana*, valor muito semelhante ao encontrado nesse trabalho.

A Figura 4 apresenta um comportamento na variação radial muito semelhante ao encontrado para a resistência à flexão. Destaca-se a grande variabilidade dos valores do módulo de elasticidade da medula para a casca. Os valores obtidos para a madeira de *E. cloeziana* variaram de 8.901 a 15.033 MPa e de 9.654 a 14.646 MPa para as localidades de Turmalina e Paraopeba, respectivamente. Já para a madeira de

E. urophylla, os valores obtidos variaram de 7.538 a 11.948 MPa e de 9.692 a 16.391 MPa para as localidades de Turmalina e Paraopeba, respectivamente.

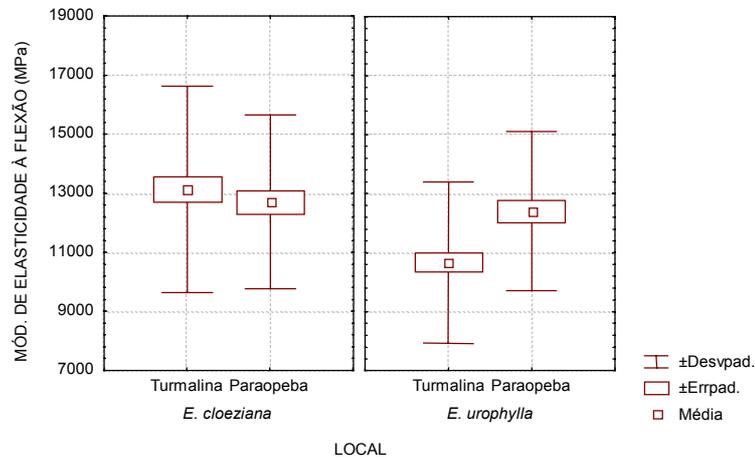


Figura 3 - Valores médios e dispersão do módulo de elasticidade à flexão das sete árvores de cada espécie, em cada local.

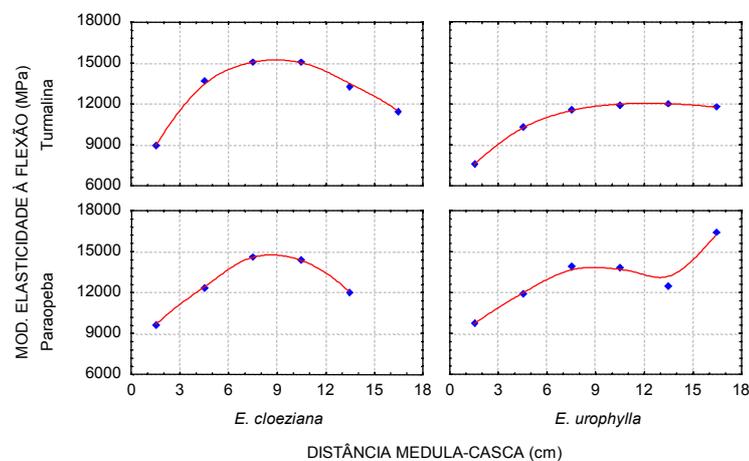


Figura 4 - Variação dos valores médios do módulo de elasticidade à flexão no sentido medula-casca das espécies, de acordo com o local de plantio.

3.1.3. Trabalho no Limite de Proporcionalidade (T_{LP})

O trabalho no limite de proporcionalidade, ou simplesmente resiliência, é a capacidade de um material absorver energia na faixa elástica. Os valores de energia obtidos dos diagramas carga/deformação dependem do tamanho da amostra e, por isso, são divididos pelo volume da mesma.

As Figuras 5 e 6, a seguir, demonstram, respectivamente, os valores médios desta propriedade e o perfil de variação radial para ambas as espécies nos dois locais de plantio.

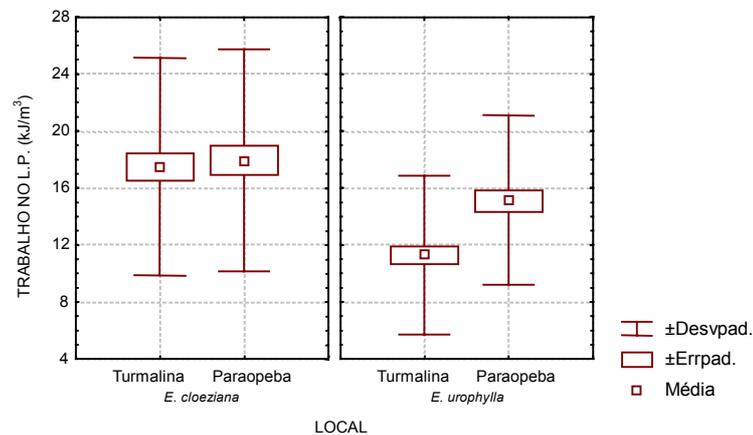


Figura 5 - Valores médios e dispersão do trabalho no limite de proporcionalidade das sete árvores de cada espécie, em cada local.

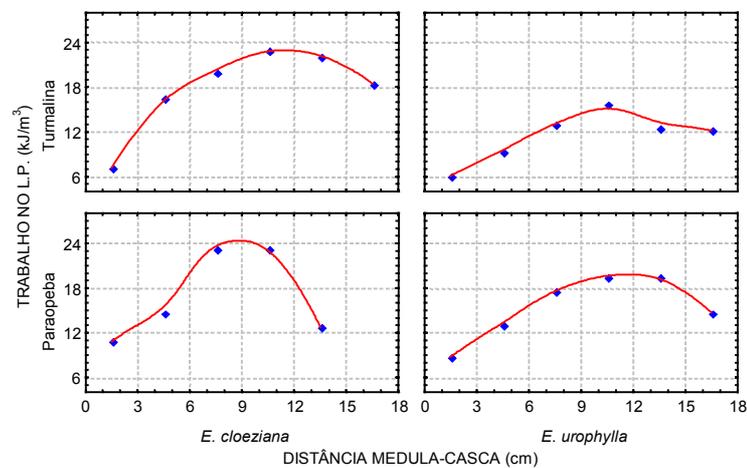


Figura 6 - Variação dos valores médios do trabalho no limite de proporcionalidade no sentido medula-casca das espécies, de acordo com o local de plantio.

3.2. Resistência à compressão paralela (f_{c0})

As Figuras 7 e 8 apresentam, respectivamente, as médias e os perfis de variação da resistência à compressão paralela no sentido radial. Os valores obtidos para a

madeira de *E. urophylla* são superiores aos encontrados por OLIVEIRA (1997); SCANAVACA JUNIOR e GARCIA (2004); já para a madeira de *E. cloeziana*, OLIVEIRA (1997) e MOREIRA (1999) obtiveram valores iguais a 46 e 55,5 MPa, respectivamente, também inferiores aos apresentados neste trabalho.

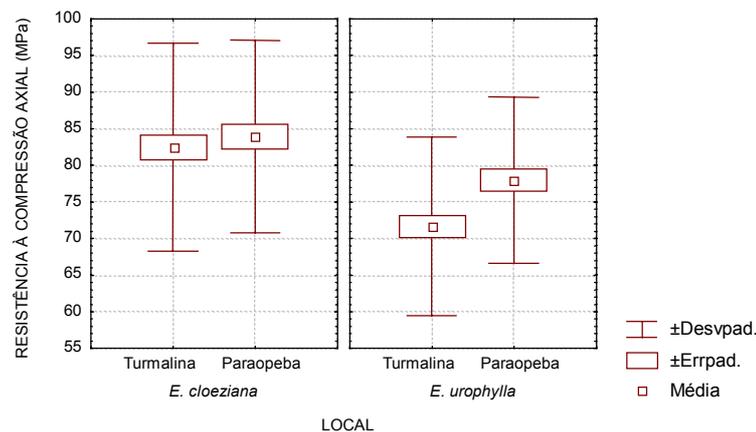


Figura 7 - Valores médios e dispersão da resistência à compressão das sete árvores de cada espécie, em cada local.

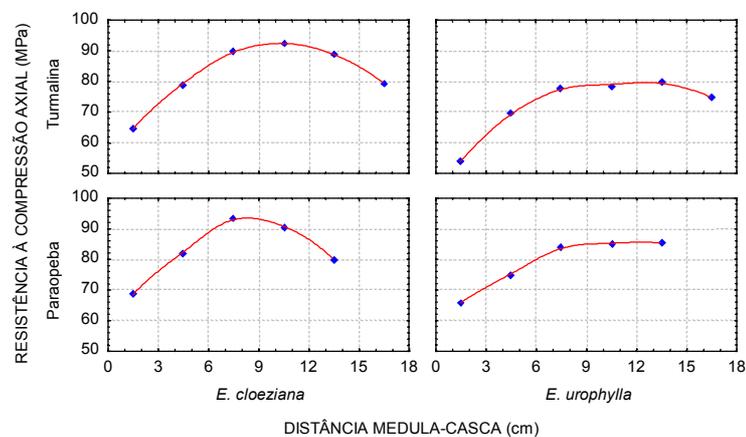


Figura 8 - Variação dos valores médios de resistência à compressão no sentido medula-casca das espécies, de acordo com o local de plantio.

3.3. Resistência ao cisalhamento (f_v)

As Figuras 9 e 10 apresentam graficamente as médias e os perfis de variação, respectivamente. OLIVEIRA (1997) estimou valores de resistência ao cisalhamento

para a madeira de *E. cloeziana* e *E. urophylla* iguais a 12 e 9 MPa, respectivamente. MOREIRA (1999) obteve para a madeira de *E. cloeziana* valor igual a 17,6 MPa, valor esse ligeiramente superior ao obtido para essa espécie nesse trabalho. SCANAVACA JUNIOR e GARCIA (2004) obtiveram para *E. urophylla* um valor médio igual a 18,64 MPa. Não se encontrou diferença significativa em ambas as espécies entre os dois locais. Foi observada uma tendência de estabilização dos valores de resistência nas regiões mais próximas à casca na maioria dos casos, à exceção de *E. urophylla* proveniente de Turmalina que apresentou uma tendência crescente desses valores.

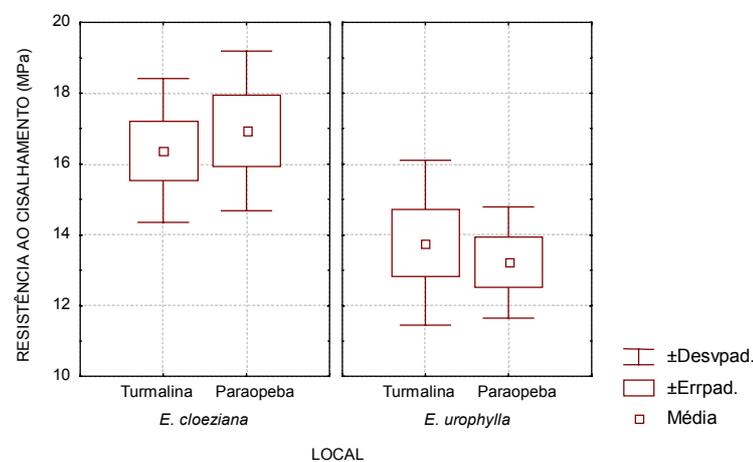


Figura 9 - Valores médios e dispersão da resistência ao cisalhamento das sete árvores de cada espécie, em cada local.

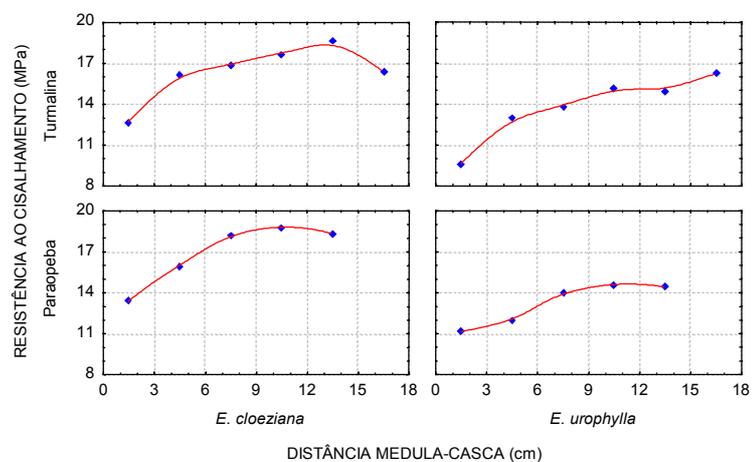


Figura 10 - Variação dos valores médios de resistência ao cisalhamento no sentido medula-casca das espécies, de acordo com o local de plantio.

4. CONCLUSÕES

À exceção da resistência ao cisalhamento, a madeira de *E. urophylla* apresentou diferença significativa em função do local de plantio para as demais propriedades mecânicas. Já em *E. cloeziana*, não se encontrou diferença significativa em nenhuma das propriedades mecânicas avaliadas.

Os valores médios de resistência variaram bastante em função da posição medula-casca, com valores baixos nas regiões mais próximas à medula, seguidos de uma tendência crescente. Em algumas propriedades, observou-se uma redução da resistência nas regiões mais próximas à casca, ao passo que, em outras, verificou-se uma tendência de estabilização dos valores.

Os valores obtidos para as propriedades mecânicas são considerados elevados e indicam o potencial para uso em situações que demandam elevada resistência mecânica, como em estruturas de habitações, estrutura interna de móveis, assoalhos, marcos de portas etc.

CAPÍTULO 4

ANATOMIA

1. INTRODUÇÃO

De acordo com KOLLMANN (1959), a variabilidade da madeira está relacionada diretamente com suas características anatômicas, que diferem consideravelmente entre as suas diversas classes. A madeira não é, em si, um material homogêneo, de estrutura uniforme e, sim, um conjunto de células muito diferentes que no vegetal vivo devem cumprir três funções: condução de líquidos, transformação, armazenamento e transporte de substâncias nutritivas e sustentação do vegetal.

Para cada uma dessas funções vitais existem determinados tipos de células com propriedades específicas. Diante disso, não é difícil entender que, sendo a madeira um produto de um sistema biológico complexo, ela se apresenta como um material muito variável, tanto em sua estrutura anatômica como em sua composição química. Isto explica o fato de se utilizar elevados coeficientes de segurança para a madeira em comparação com outros materiais. A variabilidade da madeira, que frequentemente acompanha o crescimento da árvore, é ocasionada por fatores como fertilidade do solo, localização geográfica, carga genética, tratamentos silviculturais etc. Essas variações são determinantes da grande escala de diferenças nas propriedades físico-mecânicas, não só entre as diferentes espécies, mas, também, dentro de uma mesma espécie e entre partes distintas de uma árvore.

Segundo ESAU (1974), a composição do lenho, a estrutura e a organização de seus elementos constituintes são os fatores que determinam as propriedades físicas da madeira e a sua aptidão para o uso comercial. OLIVEIRA (1997) afirmou que o entendimento da forma, organização e, principalmente, das dimensões das células constituintes dos vários tecidos, que compõem a estrutura lenhosa, é fundamental e básico na definição dos propósitos específicos do material, quando se pretende caracterizar a madeira, visando qualquer forma de utilização final. O mesmo autor argumentou que é difícil a distinção de espécies do gênero *Eucalyptus*, através da sua constituição anatômica, por apresentarem estrutura muito semelhante. Ao realizar um estudo com sete espécies do gênero *Eucalyptus*, com dezesseis anos de idade, verificou que existe uma elevada variabilidade quanto às dimensões das fibras, tanto entre espécies como entre árvores da mesma espécie, bem como entre diferentes partes da árvore.

Para Urbinati (1998), citado por QUEIROZ (2002), muitas investigações sobre a variação anatômica no sentido radial têm mostrado que o comprimento das fibras próximo à medula é pequeno, tanto para coníferas quanto para folhosas de clima temperado, mas aumenta rapidamente nos primeiros anéis e estabiliza-se, após atingir um valor máximo. SILVA (2002), ao trabalhar com a madeira de *E. grandis* de quatro diferentes idades, verificou um aumento do comprimento das fibras para todas as idades, no sentido medula-casca.

Segundo PANSIN e DE ZEEUW (1980), a espessura da parede das fibras tende a aumentar no sentido medula-casca. MOREIRA (1999), citando vários autores, relatou a existência de relações positivas entre densidade e espessura da parede dos traqueídeos e fibras, em estudos com madeira de coníferas e folhosas.

A largura das células é uma dimensão que está relacionada, além de fatores genéticos e ambientais, também com o crescimento sazonal. Os maiores aumentos são verificados durante as estações de primavera e de verão, quando a árvore produz uma maior quantidade de hormônios. Tomazello Filho (1985), citado por QUEIROZ (2002), estudando a madeira de cinco espécies de *Eucalyptus*, verificou que a largura das fibras tende a aumentar no sentido medula-casca. De acordo com Shimoyama (1990), citado por MOREIRA (1999), a largura das fibras é uma característica que deixa dúvida quanto à sua relação com a densidade básica. Se as fibras apresentarem diâmetros grandes e paredes espessas, serão observadas correlações positivas entre ambas, se as mesmas forem largas e de paredes finas, o resultado será inverso.

SILVA (2002) observou uma tendência de diminuição do diâmetro do lume com o aumento da idade, mas situação inversa foi encontrada no sentido medula-casca.

Os vasos presentes na madeira desempenham a função de condução de líquidos e variam quanto à frequência, diâmetro, forma e arranjo dentro da árvore. Segundo PANSHIN e DE ZEEUW (1980) ocorre, na madeira, no sentido medula-casca um aumento do diâmetro dos elementos de vasos e uma redução da sua frequência ao longo dos anéis sucessivos de crescimento, tendendo à estabilização dos seus valores na madeira adulta.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Processo de maceração e mensuração das fibras

Para a realização das mensurações das fibras utilizaram-se amostras escolhidas ao acaso provenientes de 2 (duas) árvores x 2 (dois) locais x 2 (duas) espécies, totalizando 8 (oito) baguetas no sentido medula-casca. Cada bagueta foi subdividida a cada 1 cm de comprimento a partir da medula; posteriormente, de cada sub-amostra, retiraram-se palitos finos da região onde foi efetuado o corte. Estes palitos foram transferidos para tubos de ensaio devidamente identificados em relação à posição medula-casca. Os tubos de ensaio foram submetidos ao aquecimento em banho-maria por duas horas e meia em solução nitro-acética (1:5) até que os palitos adquirissem coloração branca. Após essa etapa, a solução foi transferida para cadinhos sinterizados para lavagem com água destilada, visando à retirada do excesso de ácido. As fibras foram posteriormente transferidas para um béquer contendo água destilada, sob agitação mecânica, ao mesmo tempo em que se adicionou o corante azul de astra. As fibras foram novamente transferidas para o cadinho para outra lavagem que visava à retirada do excesso do corante e, finalmente, armazenadas em tubos plásticos para as futuras mensurações.

Para se efetuar as medições, uma gota do macerado armazenado foi depositada numa lâmina, coberta com lamínula. Foram realizadas mensurações de comprimento, largura e diâmetro do lume das fibras. Para as medições de largura da fibra, espessura da parede e diâmetro do lume utilizou-se um microscópio ótico com um sistema de aquisição de imagens por meio de uma câmera acoplada, possibilitando a visualização das fibras diretamente em um monitor e posterior captura da imagem, utilizando-se a

objetiva de 40x. Foram capturadas quarenta imagens por lâmina, medindo-se quarenta fibras em cada uma. A espessura da parede celular foi obtida por meio de cálculo matemático simples, relacionado à metade da diferença entre a largura da fibra e o diâmetro do lume.

Para a medição do comprimento das fibras utilizou-se uma lupa dotada do mesmo sistema de aquisição de imagens. Foram capturadas dez imagens por lâmina, sendo medidas trinta fibras.

A Figura 1 ilustra as imagens das fibras já coradas em fase de mensuração em programa apropriado.

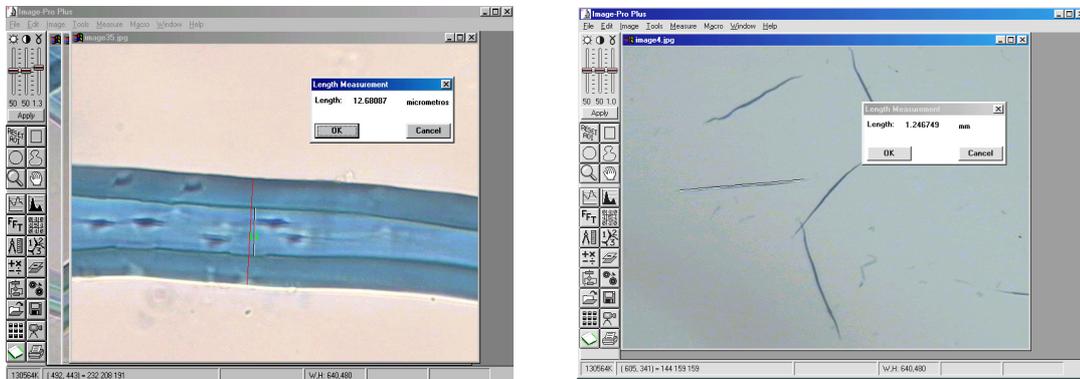


Figura 1 - Ilustração das imagens obtidas para mensuração das dimensões fundamentais das fibras.

2.2. Processos de polimento e mensuração dos vasos

Para a mensuração da frequência e diâmetro dos vasos, utilizou-se a técnica do polimento com o auxílio de diferentes lixas. Tal procedimento inicialmente buscou a total substituição do processo convencional de cortes em micrótomo, que requer maior perícia do operador e maior tempo. O polimento se mostrou eficiente para obter a frequência dos vasos, porém, necessita de melhor ajuste da metodologia para a obtenção de imagens, com maior nitidez, que possibilitem mensurar o diâmetro dos vasos. Para que fossem realizadas as mensurações dos diâmetros dos vasos, adotou-se o sistema de cortes em micrótomo e a confecção de lâminas permanentes. A seguir, são descritos os dois processos utilizados para as mensurações de interesse.

2.3. Freqüência dos vasos

Cortada a bagueta, ela foi seca ao ar e teve uma das superfícies transversais polidas em politriz metalográfica AROTEC Modelo APL-4, inicialmente com lixa de grã 50, posteriormente de 80, 120, 180, 220, 360, 600, até uma lixa final de grã 1200. Lixadas e polidas, as baguetas foram levadas ao microscópio metalográfico EUROMEX, com luz incidente, fornecida por iluminador de fibra ótica, marca EUROMEX, modelo EK-1, para verificação da qualidade e uniformidade do polimento na direção medula-casca. A Figura 2 ilustra o procedimento adotado para a obtenção das imagens.



Figura 2 - Sequência das etapas de obtenção das imagens para mensuração da freqüência dos vasos.

Após o polimento e verificação da qualidade do mesmo, as amostras de madeira foram levadas a um scanner HP (Hewlett-Packard) de alta resolução, no qual foram obtidas imagens digitais de cada amostra de madeira estudada. Essas amostras de madeira foram *scaneadas* usando uma resolução de 2400 dpi e as imagens digitais obtidas foram analisadas no programa *Adobe Photoshop 7.0* onde se obteve a freqüência de vasos por milímetro quadrado de amostra. A Figura 3 ilustra a imagem de uma bagueta polida obtida pelo scanner.



Figura 3 - Imagem de uma amostra de madeira (bagueta) obtida a partir de um *scanner* de alta resolução.

2.4. Diâmetro e área ocupada por vasos

Uma vez *scaneadas*, as baguetas foram convertidas em corpos-de-provas de 1,0 x 1,0 x 3,0 cm que foram utilizadas para a confecção de lâminas permanentes para visualização em microscópio ótico.

Para a confecção das lâminas permanentes, os corpos-de-provas foram cozidos em água e glicerina, na proporção 2:1 em panela de pressão, por cerca de duas horas. Após o cozimento, os corpos-de-prova foram cortados em micrótomo rotativo, obtendo-se somente cortes transversais da madeira, com espessura aproximada de 20 μm . Os cortes foram submetidos à coloração com safranina, desidratados em série alcoólica (BURGER e RICHTER, 1991) e as lâminas montadas com bálsamo do Canadá. Somente foram confeccionadas lâminas permanentes com o corte transversal, no qual foram colhidos os dados sobre a anatomia de madeira da medula até a casca de cada espécie. Para isto, não foi necessário fazer cortes nos planos longitudinal radial e tangencial, por não atender aos objetivos deste trabalho.

Após a confecção de todo o laminário, foi obtida a imagem digital das lâminas para cada espécie e local. Para isso, foi utilizada uma câmera digital Nikon Coolpix 4500 que foi acoplada ao microscópio metalográfico de marca EUROMEX, no qual foram obtidas as imagens digitais dos cortes transversais.

De posse das imagens digitais, foram efetuadas cinquenta medições dos diâmetros por lâmina, fazendo-se uso de um programa desenvolvido exclusivamente para tal finalidade, no programa Visual Basic 5.0.

Para a determinação da área ocupada por vasos, utilizaram-se as mesmas lâminas descritas anteriormente, porém em outro programa que, de forma semi-automática, preenchia o lume de todos os vasos presentes na imagem, registrando a área ocupada pelos mesmos.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores médios obtidos das dimensões fundamentais das fibras estão sumarizados no Quadro 1. Em todas as características analisadas, observou-se diferença significativa apenas para a largura da fibra e diâmetro do lume, para a madeira de *E. urophylla*.

Quadro 1 - Valores médios das dimensões fundamentais das fibras de acordo com a espécie e local de plantio

Propriedades	<i>E. cloeziana</i>		<i>E. urophylla</i>	
	Turmalina	Paraopeba	Turmalina	Paraopeba
Comprimento das fibras (mm)	1,1 (0,2)a	0,9 (0,2)a	0,9 (0,1)a	0,9 (0,1)a
Largura das fibras (μm)	21,6 (1,8)a	20,5 (2,1)a	19,4 (1,2)a	16,3 (0,9)b
Diâmetro do lume (μm)	9,1 (1,7)a	9,2 (2,2)a	8,9 (2,4)a	4,9 (2,0)b
Espessura da parede (μm)	6,3 (1,3)a	5,6 (1,4)a	5,3 (1,1)a	5,7 (1,2)a

Médias seguidas pela mesma letra, para a mesma espécie, não diferem estatisticamente entre si a 5% de probabilidade pelo teste t de Student. Os valores entre parêntesis representam o desvio padrão.

A seguir, buscou-se a abordagem destas propriedades de forma individual, visando facilitar o entendimento da variabilidade dentro das espécies, de acordo com o local de plantio.

3.1. Comprimento das fibras

Observou-se que o comprimento das fibras não variou significativamente em ambas as espécies nos dois locais, inclusive com valores muito próximos quando a comparação é feita entre as espécies.

A Figura 4 apresenta graficamente os valores médios obtidos para essa propriedade para as árvores avaliadas em ambos os locais de origem.

OLIVEIRA (1997), ao trabalhar com as mesmas espécies em questão, encontrou valores médios muito semelhantes aos apresentados, destacando-se, também, a semelhança quanto ao desvio padrão. MOREIRA (1999) também obteve para a madeira de *E. cloeziana* valores muito próximos aos apresentados para essa propriedade.

A variação dos valores médios obtidos no sentido radial para esta propriedade é representada graficamente na Figura 5.

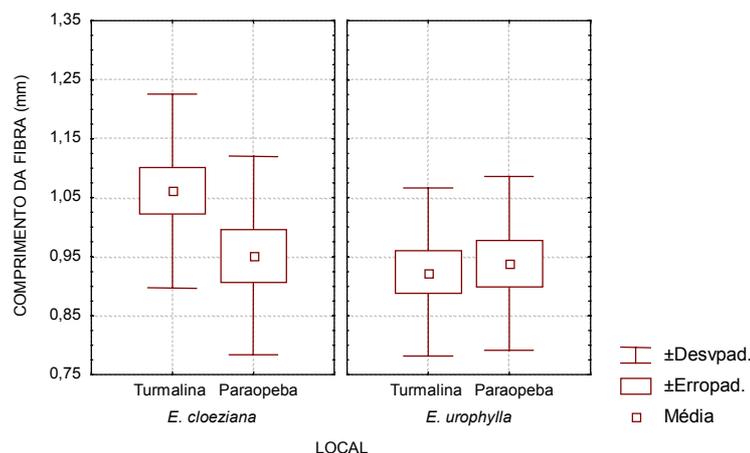


Figura 4 - Valores médios e dispersão do comprimento das fibras das árvores avaliadas de cada espécie em cada local.

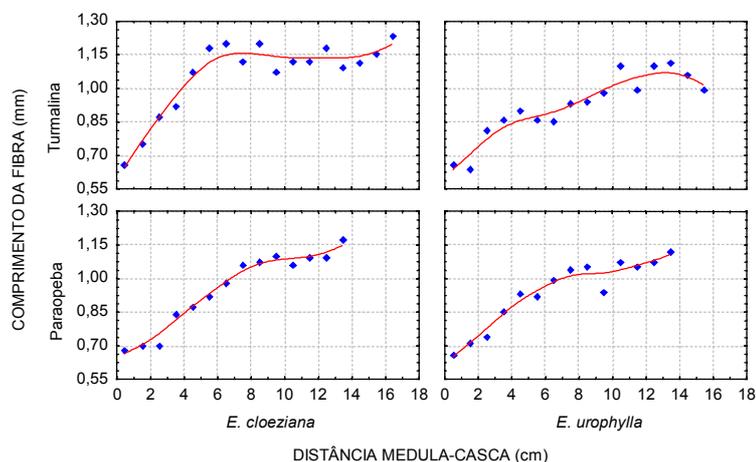


Figura 5 - Variação dos valores médios do comprimento das fibras no sentido medula-casca das espécies, de acordo com o local de plantio.

3.2. Largura das fibras

Observou-se diferença significativa em *E. urophylla* nessa propriedade, com valor 19% superior para a madeira proveniente de Turmalina. A Figura 6 apresenta graficamente os valores médios obtidos para todas as árvores avaliadas em ambos os locais de origem. OLIVEIRA (1997) obteve valores de 18 e 19,2 μm para a madeira de *E. cloeziana* e *E. urophylla*, respectivamente. MOREIRA (1999) obteve para a madeira de *E. cloeziana* valor de 19,8 μm .

A variação dos valores médios obtidos no sentido radial é representada graficamente na Figura 7.

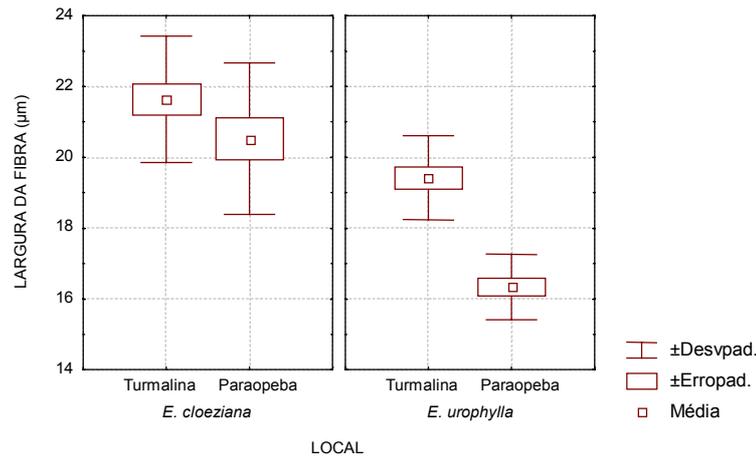


Figura 6 - Valores médios e dispersão da largura das fibras das árvores avaliadas de cada espécie em cada local.

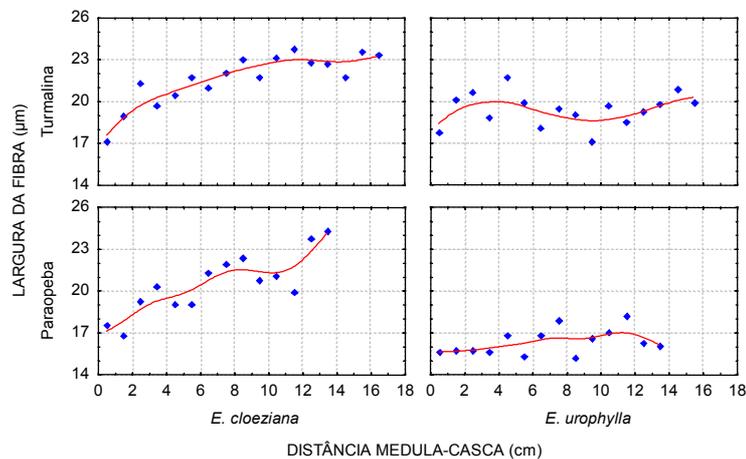


Figura 7 - Variação dos valores médios da largura das fibras no sentido medula-casca das espécies, de acordo com o local de plantio.

3.3. Diâmetro do lume

De maneira semelhante ao que foi observado para a largura das fibras, também foi observada diferença significativa para a madeira de *E. urophylla* em função do local de plantio, com uma variação extremamente elevada, em torno de 82%. A Figura 8 apresenta graficamente os valores médios obtidos dessa propriedade para todas as árvores avaliadas em ambos os locais de origem. OLIVEIRA (1997) encontrou valores de 8,1 e 11,2 μm para a madeira de *E. cloeziana* e *E. urophylla*, respectivamente. MOREIRA (1999) obteve 7,1 μm de diâmetro do lume em *E. cloeziana*.

A variação dos valores médios obtidos no sentido radial é representada graficamente na Figura 9.

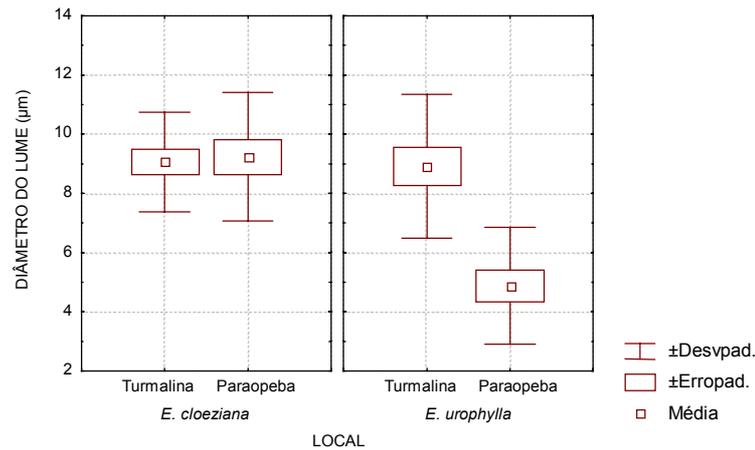


Figura 8 - Valores médios e dispersão do diâmetro do lume das fibras das árvores avaliadas de cada espécie em cada local.

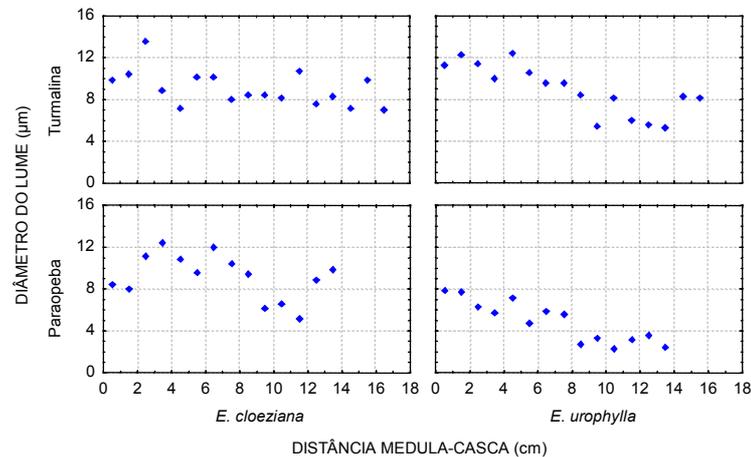


Figura 9 - Variação dos valores médios do diâmetro do lume das fibras no sentido medula-casca das espécies, de acordo com o local de plantio.

3.4. Espessura da parede

Os valores obtidos para essa propriedade são superiores aos obtidos por OLIVEIRA (1997) em ambas as espécies e muito próximos aos obtidos por MOREIRA (1999) em *E. cloeziana*.

A Figura 10 apresenta graficamente os valores médios obtidos para essa propriedade para todas as árvores avaliadas em ambos os locais de origem. A Figura 11 evidencia a tendência crescente da espessura da parede no sentido medula-casca, até certo ponto, seguida por uma estabilização. Essa tendência já era de certa forma esperada, uma vez que foi observada, na maioria dos casos, uma tendência de aumento da largura das fibras no sentido radial e uma tendência de redução do diâmetro do lume, no mesmo sentido.

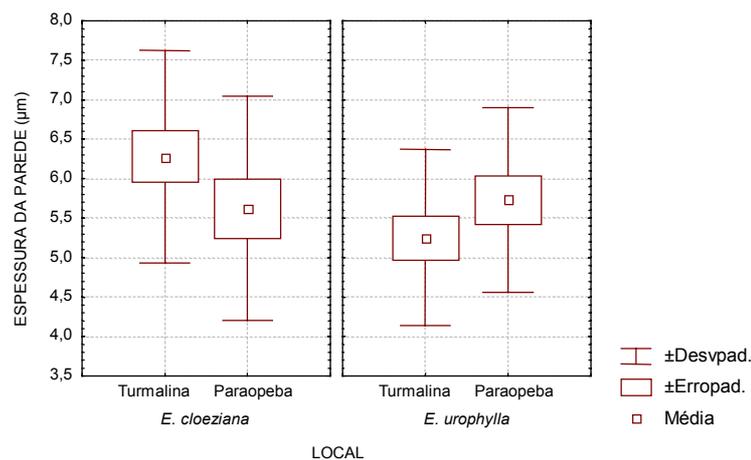


Figura 10 - Valores médios e dispersão da espessura da parede das fibras das árvores avaliadas de cada espécie em cada local.

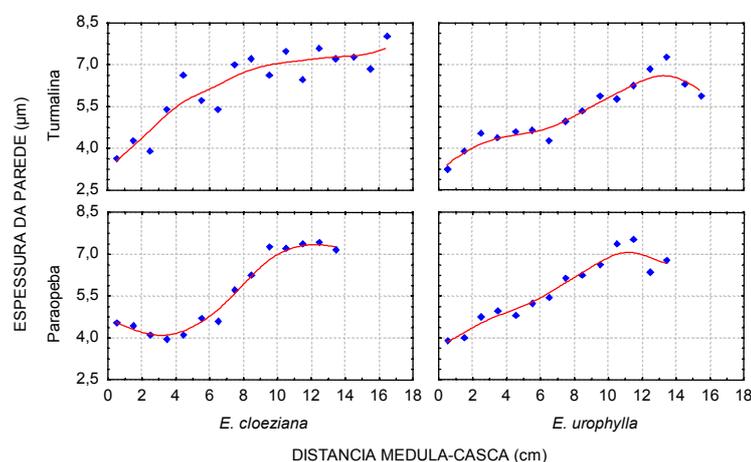


Figura 11 - Variação dos valores médios da espessura da parede das fibras no sentido medula-casca das espécies, de acordo com o local de plantio.

3.5. Freqüência de vasos

Observam-se, no Quadro 2, maiores valores médios e diferença significativa quanto a esta propriedade em *E. cloeziana* que depende, portanto, do local de plantio.

Esses valores médios são fortemente afetados pela grande quantidade de vasos nas regiões mais próximas à medula. A Figura 12, apresenta a distribuição do número de vasos em função da distância medula-casca.

Um modelo assintótico pode ser ajustado a esses dados e oferece uma boa descrição do fenômeno da redução do número de vasos. A assíntota representa a

tendência de estabilização do número de vasos. Em *E. cloeziana*, a assíntota vale 10,5 vasos por mm², em Turmalina, e 12,0 vasos por mm², em Paraopeba, assim confirmando que há, de fato, uma diferença entre os locais. Da mesma maneira, no que diz respeito ao *Eucalyptus urophylla*, a assíntota prevê uma estabilização por volta de 8,6 e 8,5 vasos por mm², respectivamente, em Turmalina e Paraopeba.

Quadro 2 - Valores médios do número de vasos/mm² das espécies em cada local

Espécie	Localidade	
	Turmalina	Paraopeba
<i>E. cloeziana</i>	12,88 (4,42)a	15,13 (5,72)b
<i>E. urophylla</i>	11,37 (5,31)a	10,89 (4,34)a

Médias seguidas pela mesma letra, dentro da mesma espécie, não diferem estatisticamente entre si a 5% de probabilidade pelo teste t de Student. Os valores entre parêntesis representam o desvio padrão.

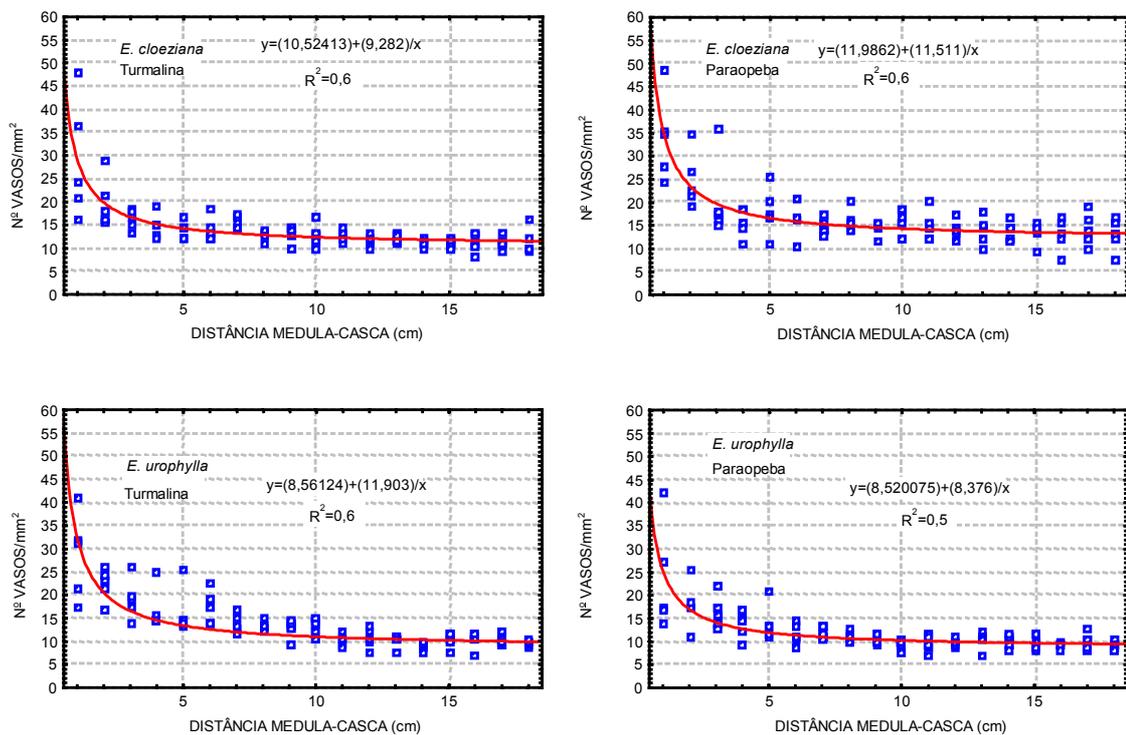


Figura 12 - Distribuição do número de vasos no sentido medula-casca de acordo com a espécie e local de plantio.

3.6. Diâmetro dos vasos

Conforme apresentado no Quadro 3, observaram-se diferenças significativas em função do local de plantio para ambas as espécies.

Quadro 3 - Valores médios do diâmetro de vasos (em micrometros) das espécies em cada local

Espécie	Localidade	
	Turmalina	Paraopeba
<i>E. cloeziana</i>	92,56 (33,99) a	80,89 (27,35) b
<i>E. urophylla</i>	96,09 (34,96) a	105,84 (29,67) b

Médias seguidas pela mesma letra, para a mesma espécie, não diferem estatisticamente entre si a 5% de probabilidade pelo teste t de Student. Os valores entre parêntesis representam o desvio padrão.

A Figura 13 representa o comportamento da variação dos diâmetros dos vasos ao longo da distância medula-casca. Verificou-se uma tendência de crescimento dos diâmetros a partir da medula em direção à casca, em todas as situações.

A espécie *E. cloeziana* proveniente de Turmalina, ao que tudo indica, apresentou uma tendência de estabilização dos diâmetros a partir de 6 cm no sentido radial. Já nos demais casos, esta estabilização não se demonstrou muito nítida. As Figuras 14 e 15 ilustram a distribuição das classes de diâmetro, de acordo com o número de observações, para as espécies *E. cloeziana* e *E. urophylla*, de Turmalina.

Os valores obtidos das mensurações das características anatômicas podem constituir parte da explicação para a diferença estatística significativa verificada para os valores de densidade básica para *E. urophylla* em função do local de plantio. Podem ser destacados a menor espessura da parede, maior largura da fibra, maior diâmetro do lume e maior quantidade de vasos por milímetro quadrado, que podem ter refletido na menor densidade em *E. urophylla* proveniente de Turmalina, mesmo apresentando maior idade. Já para *E. cloeziana*, a idade pareceu não exercer influência na densidade, haja vista a inexistência de diferença significativa em função do local de plantio e maior uniformidade das características anatômicas, em especial os valores obtidos das mensurações das fibras.

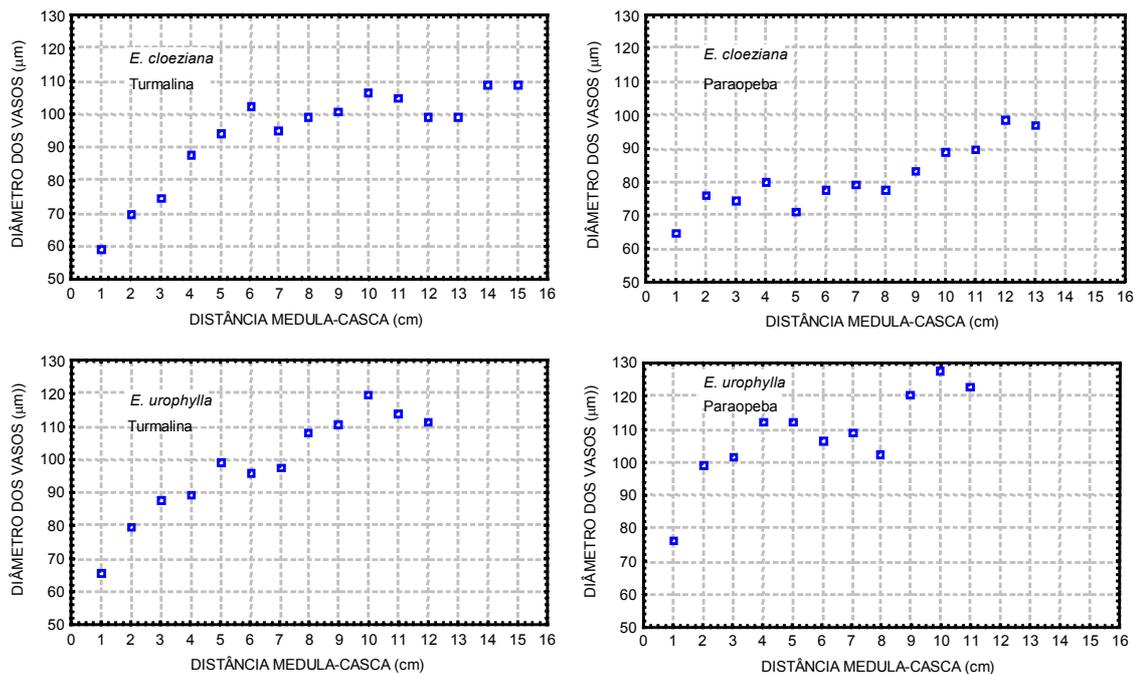


Figura 13 - Distribuição dos valores médios do diâmetro dos vasos no sentido medula-casca de acordo com a espécie e local de plantio.

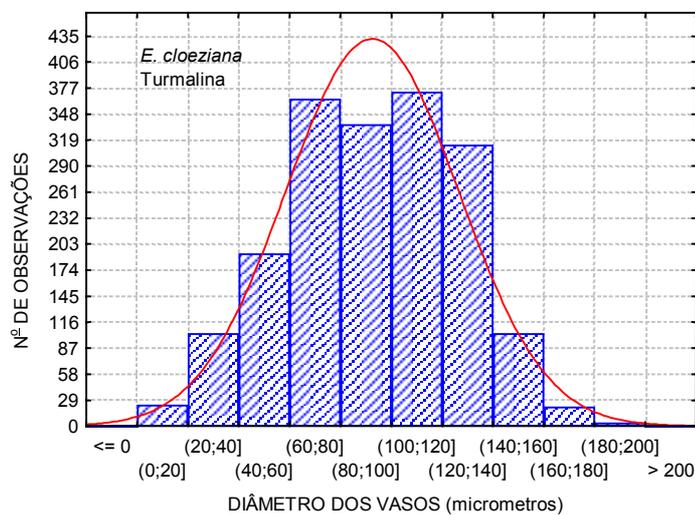


Figura 14 - Distribuição das classes de diâmetros dos vasos em *E. cloeziana* de Turmalina

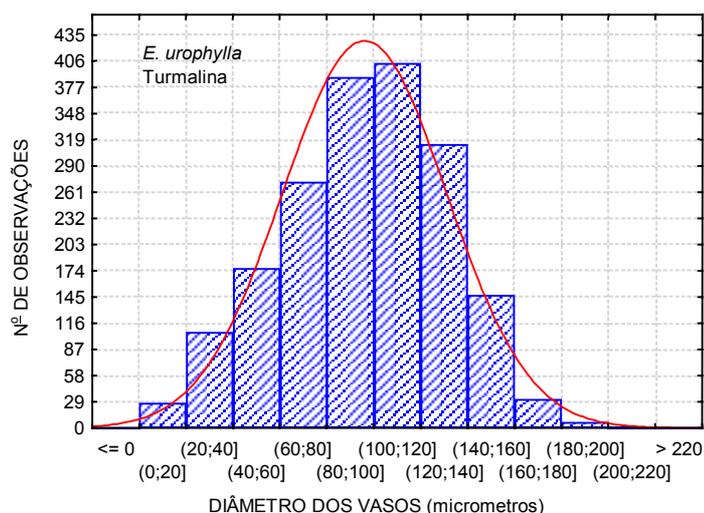


Figura 15 - Distribuição das classes de diâmetros dos vasos em *E. urophylla* de Turmalina.

3.7. Área ocupada por vasos

Observou-se diferença significativa em ambas as espécies nos dois locais de origem para essa propriedade, conforme demonstrado no Quadro 4.

Quadro 4 - Valores médios da área ocupada por vasos (em %) das espécies em cada local

Espécie	Localidade	
	Turmalina	Paraopeba
<i>E. cloeziana</i>	14,34 (4,38) a	11,87 (2,99) b
<i>E. urophylla</i>	13,52 (3,65) a	14,86 (2,99) b

Médias seguidas pela mesma letra, dentro da mesma espécie, não diferem estatisticamente entre si a 5% de probabilidade pelo teste t de Student. Os valores entre parêntesis representam o desvio padrão.

De maneira semelhante ao que foi feito para a frequência e diâmetro dos vasos, buscou-se determinar a tendência da variação da área ocupada por vasos ao longo da distância medula-casca.

Observou-se, na maioria das vezes, uma elevada dispersão dos valores das repetições dentro de cada posição radial, o que dificultou o estabelecimento de uma tendência de comportamento. Em apenas um dos casos, representado na Figura 16, pôde-se verificar uma tendência crescente dos valores médios da área ocupada por vasos em *E. cloeziana* procedente de Turmalina.

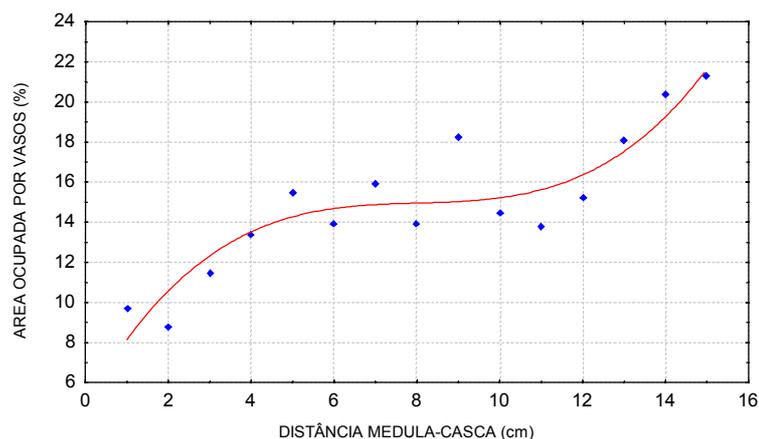


Figura 16 - Tendência da variação dos valores médios da área ocupada por vasos no sentido medula-casca em *E. cloeziana* proveniente de Turmalina.

4. CONCLUSÕES

Em se tratando das duas espécies estudadas e no tocante às dimensões das fibras, observou-se uma diferença significativa em função do local de plantio apenas para a largura e diâmetro do lume, em *E. urophylla*. Já no caso das mensurações referentes aos vasos, somente não se encontrou diferença significativa em *E. urophylla*, em se tratando da frequência dos mesmos.

As dimensões das fibras variaram acentuadamente em função da posição radial, o que pode explicar, em parte, a variação das demais propriedades da madeira.

Observou-se maior concentração de vasos/mm² em ambas as espécies na região da medula, seguida de uma tendência decrescente até atingir a estabilização. Em se tratando dos diâmetros dos vasos, verificou-se que existe uma tendência crescente a partir da medula, apresentando uma tendência de estabilização apenas em *E. cloeziana* da cidade de Turmalina.

O processo de polimento em substituição ao micrótomo mostrou-se muito promissor para as finalidades exploradas nesse trabalho, necessitando de alguns aperfeiçoamentos, tais como, por exemplo, tempo de lixamento e outras variações de granulometria das lixas, para a obtenção de imagens com nitidez, ainda maior, para a obtenção dos diâmetros dos vasos.

CAPÍTULO 5

CORRELAÇÕES

1. INTRODUÇÃO

Baseando-se nos resultados apresentados nesse trabalho, ficou evidenciada a grande variabilidade da madeira dessas espécies. Nesse capítulo, serão apresentadas algumas correlações simples que podem, de certa forma, facilitar o entendimento da variabilidade da madeira no sentido radial e verificar a relação existente entre algumas propriedades.

O estudo das correlações entre as diversas propriedades da madeira é justificado pelo fato de representar uma estratégia que pode fornecer indícios úteis aos diversos segmentos do setor florestal. O conhecimento de determinada propriedade pode fornecer subsídios para entender o comportamento de outras, principalmente através dos modelos de regressão que, muitas vezes, predizem determinada propriedade, com grande confiabilidade.

De acordo com Carvalho (1997), citado por SILVA (2002), vários são os parâmetros utilizados para a determinação da qualidade da madeira para determinado uso ou o conjunto deles. Esses parâmetros são normalmente classificados como químicos, anatômicos e físico-mecânicos. No que se refere aos parâmetros anatômicos, destacam-se a porcentagem e a dimensão de fibras, vasos, raios e parênquima. Quanto aos parâmetros físico-mecânicos destacam-se a densidade, a retratibilidade e a

resistência aos esforços de flexão estática (módulos de ruptura e elasticidade). O conhecimento das correlações entre esses parâmetros e das variáveis que os afetam facilita a interpretação das variações que ocorrem na madeira.

2. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Em se tratando das características anatômicas, já havia sido demonstrado graficamente que a magnitude dos valores variou muito no sentido medula-casca. No Quadro 1, é possível observar a existência de elevadas correlações positivas para o comprimento das fibras e a espessura da parede com a posição radial.

Quadro 1 - Coeficientes de correlação de Pearson entre as dimensões das fibras e a distância medula-casca para a madeira das duas espécies em cada local

Espécie	Localidade	Coeficiente de Correlação (r) (p<0,05)			
		Comprimento	Largura	Diâmetro do lume	Espessura da parede
<i>E. cloeziana</i>	Turmalina	0,73	0,83	-0,50	0,85
<i>E. urophylla</i>		0,89	n.s	-0,81	0,91
<i>E. cloeziana</i>	Paraopeba	0,95	0,83	n.s	0,91
<i>E. urophylla</i>		0,92	n.s	-0,90	0,93

Essas elevadas correlações foram válidas para ambas as espécies nos dois locais. Já para a largura das fibras, não se observou diferença significativa para a madeira de *E. urophylla*, em ambos os locais, fato não ocorrido com a madeira de *E. cloeziana*, que apresentou correlações positivas elevadas para essa característica em função da distância medula-casca. O diâmetro do lume apresentou correlações negativas elevadas em *E. urophylla*, apresentando correlações não significativas ou relativamente baixa em *E. cloeziana*, em função da posição radial. Os valores apresentados podem explicar, em parte, a tendência de aumento da densidade básica no sentido medula-casca, para ambas as espécies.

No intuito de buscar o entendimento para a tendência de aumento da densidade básica a partir da medula em direção à casca observaram-se, no Quadro 2, elevadas correlações positivas do comprimento e da espessura da parede das fibras com esta propriedade.

Quadro 2 - Coeficientes de correlação de Pearson entre as dimensões das fibras e a densidade básica para a madeira das duas espécies em cada local

Espécie	Localidade	Coeficiente de Correlação (r) (p<0,05)			
		Comprimento	Largura	Diâmetro do Lume	Espessura da parede
<i>E. cloeziana</i>	Turmalina	0,84	0,83	-0,53	0,88
<i>E. urophylla</i>		0,84	n.s	-0,77	0,74
<i>E. cloeziana</i>	Paraopeba	0,84	n.s.	-0,60	0,83
<i>E. urophylla</i>		0,78	n.s	-0,90	0,89

A largura da fibra não apresentou correlação significativa na maioria dos casos, à exceção da madeira de *E. cloeziana* proveniente de Turmalina, que apresentou uma correlação positiva elevada. Em relação ao diâmetro do lume, este se mostrou correlacionado negativamente em todos os casos, principalmente em *E. urophylla*.

Correlações positivas semelhantes para a espessura da parede e a densidade básica foram encontradas por OLIVEIRA (1997), nas mesmas espécies aqui avaliadas. O mesmo autor não encontrou diferença significativa para a largura das fibras em ambas as espécies, não exercendo, de forma isolada, influência sobre a densidade básica. Destacou, ainda, citando vários autores que avaliaram essas propriedades da madeira de outras diversas espécies de *Eucalyptus*, que o número de características anatômicas que exerceram influência sobre a densidade básica foi pequeno, destacando-se a espessura da parede e diâmetro do lume das fibras.

Observaram-se no Quadro 3, de modo geral, baixos coeficientes de correlação para as contrações lineares, volumétrica e fator anisotrópico.

Quadro 3 - Coeficientes de correlação de Pearson entre a retratibilidade linear, volumétrica e fator anisotrópico total e a distância medula-casca para a madeira das duas espécies em cada local

Espécie	Localidade	Coeficiente de Correlação (r) (p<0,05)			
		C.R	C.T	C.V	F.A
<i>E. cloeziana</i>	Turmalina	0,44	n.s.	n.s.	-0,44
<i>E. urophylla</i>		n.s.	-0,57	-0,49	-0,43
<i>E. cloeziana</i>	Paraopeba	0,51	n.s.	0,41	-0,39
<i>E. urophylla</i>		0,27	n.s.	n.s.	-0,33

C.R = Contração radial; C.T = Contração tangencial; C.V = Contração volumétrica; F.A = Fator anisotrópico

Apesar de apresentar valores baixos de correlação, a contração radial demonstrou ter uma tendência de aumento no sentido medula-casca. A contração tangencial não apresentou diferença significativa na maioria dos casos, excetuando-se em *E. urophylla* proveniente de Turmalina, que apresentou uma tendência de redução a partir da medula em direção à periferia do tronco. Destacaram-se, também, os coeficientes de correlação negativos para ambas as espécies nos dois locais para o fator anisotrópico, tendência esta podendo ser justificada pelo aumento da contração radial na maioria dos casos avaliados.

Apesar dos estudos de diversos autores que revelam não ser muito clara a correlação existente entre a retratibilidade e a densidade da madeira, procurou-se determinar eventual relação entre a retratibilidade volumétrica total e a densidade. Os resultados são apresentados no Quadro 4.

Quadro 4 - Coeficientes de correlação de Pearson entre a retratibilidade volumétrica total e a densidade básica (DB), densidade aparente a 15% (DA) e densidade absolutamente seca (DAS)

Espécie	Localidade	Coeficiente de Correlação (r) (p<0,05)		
		DB	DA (15%)	DAS
<i>E. cloeziana</i>	Turmalina	0,46	0,52	0,56
<i>E. urophylla</i>		-0,29	n.s.	n.s.
<i>E. cloeziana</i>	Paraopeba	0,59	0,66	0,45
<i>E. urophylla</i>		n.s.	0,27	0,28

Para *E. urophylla* não se encontrou diferença significativa e, na maioria dos casos, encontraram-se valores muito baixos de correlação entre densidade e retratibilidade. Já para a madeira de *E. cloeziana*, essa correlação, apesar de não ser muito elevada, observou-se uma tendência de aumento da retratibilidade volumétrica total com o aumento da densidade em todas as condições apresentadas. Os valores obtidos para essa espécie são bem inferiores aos obtidos por OLIVEIRA (1997), que encontrou coeficientes de correlação entre essas propriedades superiores a 0,9. Para *E. urophylla*, o mesmo autor não encontrou diferença significativa ou obteve correlações muito baixas entre tais propriedades.

Os coeficientes de correlação, apresentados no Quadro 5, demonstram a estreita relação existente entre a densidade básica e as propriedades mecânicas. Observaram-se correlações positivas em ambas as espécies nos dois locais.

Quadro 5 - Coeficientes de correlação de Pearson entre algumas propriedades mecânicas e a densidade básica para a madeira das duas espécies em cada local

Espécie	Localidade	Coeficiente de Correlação (r) (p<0,05)				
		R.Flex	MoeFlex	Trab _{LP}	R.Comp	R.Cisal
<i>E. cloeziana</i>	Turmalina	0,87	0,75	0,78	0,85	0,66
<i>E. urophylla</i>		0,82	0,72	0,60	0,84	0,78
<i>E. cloeziana</i>	Paraopeba	0,70	0,73	0,67	0,77	0,70
<i>E. urophylla</i>		0,84	0,73	0,72	0,84	0,67

R.Flex = Resistência à flexão; MoeFlex = Módulo de elasticidade à flexão; Trab_{LP} = Trabalho até o limite de proporcionalidade; R.Comp = Resistência à compressão; R.Cisal = Resistência ao cisalhamento

Buscou-se, também, o estabelecimento de correlações entre o módulo de elasticidade e a resistência à flexão, fazendo-se, nesse caso, o agrupamento por espécie, independentemente do local de plantio, com o objetivo de verificar o grau de associação estatística entre essas propriedades. Em ambas as espécies, observou-se uma alta correlação, o que é interessante, porque se poderia estimar, com uma certa confiança, a resistência baseando-se no módulo de elasticidade, que é obtido de um ensaio não destrutivo. SILVA (2002), ao estabelecer a correlação para as mesmas propriedades em *Eucalyptus grandis*, obteve coeficiente igual a 0,83. As Figuras 1 e 2 apresentam, graficamente, a correlação existente entre essas propriedades para as espécies *E. cloeziana* e *E. urophylla*, respectivamente.

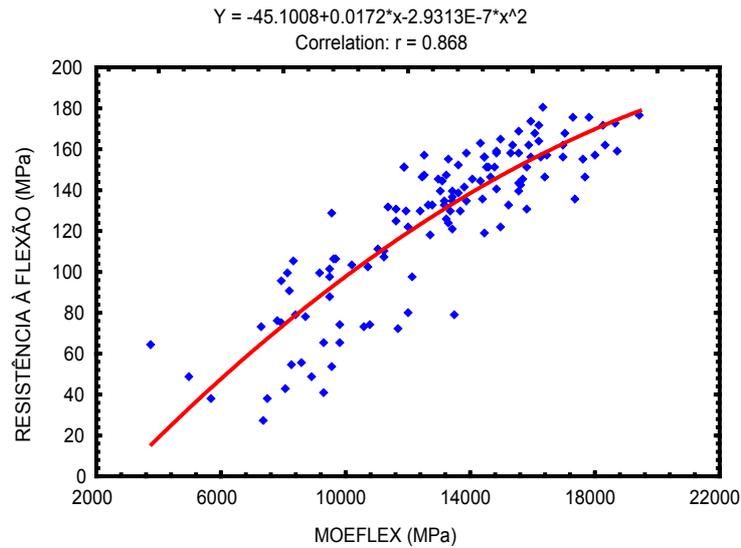


Figura 1 - Correlação entre o módulo de elasticidade e a resistência à flexão em *E. cloeziana*.

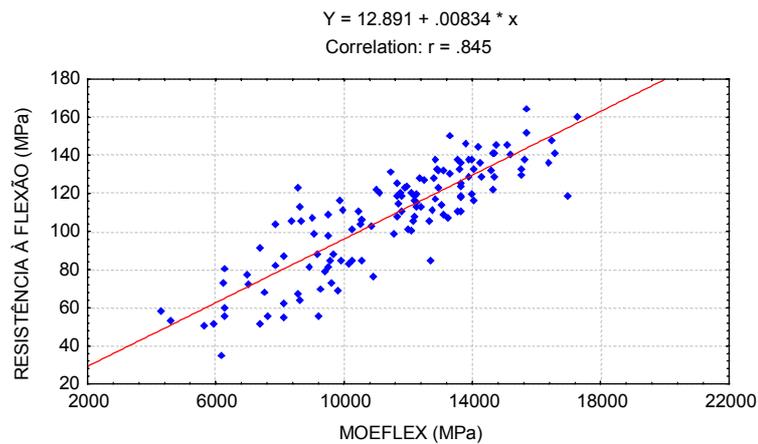


Figura 2 - Correlação entre o módulo de elasticidade e a resistência à flexão em *E. urophylla*.

3. CONCLUSÕES

As características anatômicas, em especial, a espessura da parede e o diâmetro do lume das fibras, podem explicar, em parte, a variação da densidade básica ao longo do sentido medula-casca.

A densidade básica apresentou elevados coeficientes de correlação com a maioria das propriedades mecânicas.

A relação entre a densidade básica, seca ao ar e absolutamente seca com a retribuição volumétrica não se mostrou muito clara, apresentando baixos coeficientes de correlação ou com correlações não significativas.

Foram observadas importantes correlações entre as propriedades dessas duas madeiras e delas com a posição medula-casca. Esse fato poderia servir de estímulo para trabalhos posteriores.

4. CONCLUSÕES GERAIS

- A espécie *Eucalyptus urophylla* apresentou diferença estatística significativa na grande maioria das propriedades de modo geral, em função do local de origem, demonstrando ser mais heterogênea em suas propriedades, em relação à espécie *E. cloeziana*.
- Ambas as espécies apresentaram valores de densidade muito variáveis dentro da árvore, com valores muito superiores nas regiões próximas à casca em relação aos valores obtidos nas regiões mais próximas da medula.
- Apesar de os fatores anisotrópicos serem considerados normais para as duas espécies, as mesmas apresentaram elevados valores de contrações lineares, o que implica na necessidade de cuidados especiais relativos a secagem da madeira e quanto ao uso final.
- Os valores obtidos para as propriedades mecânicas são considerados elevados para as duas espécies e indicam o potencial para uso em situações que demandam elevada resistência mecânica, devendo ser observada a grande variabilidade encontrada no sentido medula-casca.
- As dimensões das fibras e vasos variaram acentuadamente em função da posição radial, o que pode explicar, em parte, a variação das demais propriedades da madeira.
- Foram encontradas correlações elevadas entre algumas propriedades, tais como entre a densidade básica e algumas propriedades mecânicas, e, entre a densidade básica e as características anatômicas (espessura da parede e o diâmetro do

lume das fibras). Também foram encontradas correlações significativas importantes entre muitas das propriedades e a distância medula-casca.

- Os resultados obtidos nesse trabalho devem ser utilizados com cautela ao se fazer qualquer tipo de extrapolação, uma vez que apresentaram grandes diferenças nas magnitudes de muitas propriedades avaliadas, em especial na espécie *Eucalyptus urophylla*. Essa cautela é essencialmente importante no projeto de elementos estruturais, recomendando-se, nesse caso, que madeiras de uma terceira localidade tenha suas propriedades mecânicas mais importantes novamente caracterizadas. Também deve ser considerada a peculiaridade dessas madeiras quanto à idade, tratamentos silviculturais, etc, que não foram o alvo específico desse trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRADE, E. N. **O eucalipto**. 2.ed. Jundiaí: Companhia Paulista de Estradas de Ferro. 1961. 667 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE MADEIRA PROCESSADA MECANICAMENTE - ABIMCI. . Madeira Processada Mecanicamente – estudo setorial 2001/2. Disponível em: <<http://www.abimci.com.br>>. Acesso em: 12 jul. 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **Ensaaios físicos e mecânicos da madeira - MB-26/40**. Rio de Janeiro: ABNT. 1940. 16 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **Projeto de estruturas de madeira – NBR 7190**. Rio de Janeiro: ABNT. 1997. 107 p.

BROWN, H. P.; PANSIN, A. J.; FORSAITH, C. C. **Textbook of wood technology**. v.2. New York: McGraw-Hill. 1952. 783p.

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

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

CARRASCO, E. V. M.; MOREIRA, L.E. Uso da madeira de eucalipto em projetos construtivos. In: MADETEC, 2., 2003, Belo Horizonte. **Anais...** Viçosa: SIF, 2003. p.105-129.

CHUDNOFF, M.; GEARY, T. F. On the heritability of wood density in *Swietenia macrophylla*. **Turrialba**, v. 23, n. 3, p. 359-362, 1973.

- COPANT – Descripción de características generales, macroscópicas de las maderas angiospermas dicotiledóneas. **COPANT**, v. 30, 1974.
- COWN, T. J. Wood density of radiata pine: its variation and manipulation. **New Zealand Journal of Forestry**, v. 19, p. 84-92, 1974.
- COWN, T. J. Comparison of the effect of two thinning regimes on some wood properties of radiata pine. **New Zealand Journal Forest Science**, v. 4, n. 3, p. 540-551, 1974.
- DIAS, F. M.; ROCCO, F. A. Estimativa de propriedades de resistência e rigidez da madeira através da densidade aparente. **Scientia Forestalis**, n. 65, p. 102-113, 2004.
- DURLO, M. A.; MARCHIORI, J. N. **Tecnologia da madeira: Retratibilidade**. Santa Maria: UFSM. 1992. 33 p.
- ESAU, K. **Anatomia das plantas com sementes**. Tradução: Berta Lange de Morretes. São Paulo: Edgard Blücher, 1974.
- HILLIS, W. E.; BROWN, A.G. (Eds.). **Eucalyptus for wood production**. Melbourn: CSIRO. 1978. 434 p.
- INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLOGIAS - IPT. **Tabelas de resultados obtidos para madeiras nacionais**. 2.ed. São Paulo: 1956. 62 p. (Boletim Técnico, 31)
- JANKOWSKY, I. P.; GALVÃO, A. P. **Secagem racional da madeira**. São Paulo: Nobel, 1985. p. 40-43.
- KOLLMANN, F. F. P.; COTÊ, W. A. **Principles of wood science and technology**. Berlim: Springer-Verlag. 1968. v.1. 592 p.
- KOLLMANN, F. **Tecnologia de la madera y sus aplicaciones**. Madrid: Gráficas Reunidas. 1959. 675 p.
- LIMA, T. G. **Variações nos sentidos radial e longitudinal de algumas propriedades das madeiras de *Eucalyptus microcorys* F. Muell. e *Eucalyptus pilularis* Sm.** 1996. 108 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1996.
- MOREIRA, W. S. **Relações entre propriedades físico-mecânicas e características anatômicas e químicas da madeira de 23 espécies**. 1999. 105 f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1999.
- OLIVEIRA, J. T. S. **Caracterização da madeira de eucalipto para a construção civil**. 1997. 2v. 429 f. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1997.
- PANSHIN, A. J., ZEEUW, C. **Textbook of wood technology**. Structure, identification, properties, and uses of the commercial woods of the United States and Canada. New York: McGraw-Hill. 1980. 472 p.

PARKER, M. L.; HUNT, K.; WARREN, W. G.; KENNEDY, R. W. Effect of thinning and fertilization on intra-ring, characteristics and kraft pulp yield of Douglas fir. **Applied Polymer Symposium**, v. 28, p. 1075-1086, 1976.

QUEIROZ, S. C. S. **Efeito das características anatômicas e químicas na densidade básica da madeira e na qualidade da polpa de clones híbridos de *Eucalyptus grandis* x *urophylla***. 2002. 74 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2002.

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

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

SILVA, J. C. Espécies de eucalipto. **Revista da Madeira**, (Edição especial), p.17-22, 2001. In: Eucalipto – A madeira do futuro.

SKOLMEN, R. G. **Specific gravity variation in *Robusta eucalyptus***. Berkeley: U.S. Department of Agriculture, 1972. 7 p. (Research Paper, PSW-78).

TSOUMIS, G. **Science and technology of wood: Structure, properties and utilization**. New York: Van Nostrand Reinold. 1991. 494 p.

VITAL, B. R. **Métodos de determinação da densidade da madeira**. Viçosa: UFV/SIF. 21p. 1984. (Boletim Técnico, 1).

VITAL, B.R.; TRUGILHO, P. F. Variação dimensional e uso da madeira de *Eucalyptus*. **Informe agropecuário**, v. 18, n.186, p. 57-61, 1997.