



REDEMAT

REDE TEMÁTICA EM ENGENHARIA DE MATERIAIS

UFOP – CETEC – UEMG



Dissertação de Mestrado

**Caracterização das Costaneiras
da Madeira de Eucalipto
para Uso na Indústria Moveleira**



Autor: Maria Rachel Menezes Leite

Orientador: Prof. Dr. Lincoln Cambraia Teixeira

Co-orientador: Prof. Dr. Sebastiana Luiza Bragança Lana



Novembro 2005



REDEMAT

REDE TEMÁTICA EM ENGENHARIA DE MATERIAIS

UFOP – CETEC – UEMG

Maria Rachel Menezes Leite

**” Caracterização das Costaneiras da
Madeira de Eucalipto
Para uso na Indústria Moveleira”**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Materiais da REDEMAT, como parte integrante dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia de Materiais.

Área de concentração: Análise e Seleção de Materiais

Orientador: Lincoln Cambraia Teixeira

Co-orientador: Sebastiana Luiza Bragança Lana

Belo Horizonte, novembro de 2005

AGRADECIMENTOS

Ao orientador, Prof. Lincoln Cambraia Teixeira e à co-orientadora Prof^{ra}. Sebastiana Luiza Bragança Lana, por sua atenção, apoio e disponibilidade durante a orientação.

Ao Prof. Edgard Mantilla Carrasco, da UFMG, por sua valiosa colaboração, orientação e apoio por colocar à disposição a marcenaria e o laboratório de seu departamento para realização de parte deste trabalho.

À CAF – Companhia Agrícola e Florestal Santa Bárbara, que através do Eng. Augusto Valência, disponibilizou a matéria prima para execução dos ensaios.

Ao Prof. Jorge Safar, Chefe do Setor de Testes Físicos do CETEC – Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais e toda sua equipe – Rosana, Ademir, Marcílio, Geraldo – responsáveis pela realização dos ensaios físicos e mecânicos.

Aos colegas de pós-graduação da REDEMAT, pela convivência agradável durante todo o decorrer dos estudos.

A todos que contribuíram de forma direta ou indireta na realização deste trabalho.

SUMÁRIO

CAPÍTULO I

INTRODUÇÃO -----	1
------------------	---

CAPÍTULO II

OBJETIVOS-----	3
----------------	---

CAPÍTULO III

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

II. 1. Madeira -----	4
----------------------	---

II. 2. Madeira de Eucalipto -----	17
-----------------------------------	----

II. 3. Costaneiras de Eucalipto -----	29
---------------------------------------	----

CAPÍTULO IV

MATERIAIS E MÉTODOS -----	33
---------------------------	----

CAPÍTULO V

RESULTADOS DOS ENSAIOS

V. 1. Propriedades Físicas -----	38
----------------------------------	----

V. 2. Propriedades Mecânicas -----	43
------------------------------------	----

CAPÍTULO VI

ANÁLISE DOS RESULTADOS / CONCLUSÕES-----	58
--	----

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS -----	63
----------------------------------	----

LISTA DE FIGURAS

Fig. III.1 – Estrutura anatômica da árvore-----	06
Fig. III.2 – Móveis construídos com madeira “lyptus” da Aracruz -----	24
Fig. III.3 – Corte transversal no tronco da árvore -----	29
Fig. IV.1 – Troncos de eucalipto selecionados, antes do desdobro-----	32
Fig. IV.2 – Desdobro – 1º corte: retirada da costaneira-----	33
Fig. IV.3 – Lote de costaneiras selecionado para ensaios-----	33
Fig. IV.4 – Corpos de prova para ensaio de dureza distintamente no cerne e alborno—	34
Fig. IV.5 – Primeiro corte nas costaneiras pra retirada das extremidades-----	35
Fig. V.1 - Processo de ensaio de resistência à compressão paralela às fibras-----	43
Fig. V.2 – Corpos de prova para ensaio de compressão paralela às fibras-----	43
Fig. V.3 – Processo de ensaio de resistência à tração normal às fibras-----	46
Fig. V.4 – Corpos de prova antes e depois dos ensaios de resist. à tração normal-----	46
Fig. V.5 – Processo de ensaio de resistência ao cisalhamento-----	48
Fig. V.6 – Corpos de prova antes e após ensaio de resistência ao cisalhamento-----	48
Fig. V.7 – Processo de ensaio de resistência ao fendilhamento-----	50
Fig. V.8 – Corpos de prova para ensaio de resistência ao fendilhamento-----	50
Fig. V.9 – Processo de ensaio de resistência à flexão-----	52
Fig. V.10 – Corpos de prova para ensaio de resistência à flexão-----	52
Fig. V.11 – Processo de ensaio de dureza-----	54
Fig. V.12 – Corpo de prova depois de submetido a ensaio de dureza-----	54
Fig. V.13 – Processo de ensaio de dureza no disco de costaneira-----	56
Fig. V.14 – Corpos de prova antes e depois de submetidos a ensaio de dureza-----	56

LISTA DE TABELAS

Tab. III. 1 – Participação da madeira de eucalipto no setor industrial de base florestal---	18
Tab. III. 2 – Ocupação do solo no Brasil com atividades agropecuárias e florestais-----	19
Tab. III. 3 – Comparação das propriedades de E.grandis com outras madeiras-----	25
Tab. V. 1 – Resultados obtidos nos ensaios de teor de umidade-----	38
Tab. V. 2 – Resultados obtidos nos ensaios de densidade básica-----	39
Tab. V. 3 – Resultados obtidos nos ensaios de densidade aparente-----	40
Tab. V. 4 – Resultados obtidos nos ensaios de estabilidade dimensional-----	42
Tab. V. 5 – Resultados obtidos nos ensaios de compressão paralela às fibras-----	44
Tab. V. 6 – Resultados obtidos nos ensaios de tração paralela às fibras-----	45
Tab. V. 7 – Resultados obtidos nos ensaios de compressão normal às fibras-----	47
Tab. V. 8 – Resultados obtidos nos ensaios de resistência ao cisalhamento-----	49
Tab. V. 9 – Resultados obtidos nos ensaios de fendilhamento-----	51
Tab. V.10 – Resultados obtidos nos ensaios de resistência à flexão-----	53
Tab. V.11 – Resultados obtidos nos ensaios de dureza-----	55
Tab. V.12 – Resultados obtidos nos ensaios de dureza, distintamente no cerne e alburno-----	56
Tab. VI. 1 – Tabela de classes de resistência das dicotiledôneas-NBR 7190/97-----	57
Tab. VI. 2 – Propriedades físicas: comparação dos resultados obtidos nesse estudo com resultados obtidos na literatura-----	58
Tab. VI. 3 – Propriedades mecânicas : comparação dos resultados obtidos nesse estudo com resultados obtidos na literatura-----	59
Tab. VI. 4 –Classificação das propriedades de resistência e rigidez das madeiras-----	61
Tab. VI. 5 – Classificação das densidades das madeiras-----	61
Tab. VI. 6 – Classificação da retratibilidade das madeiras-----	62
Tab. VI. 7 – Classificação da dureza das madeiras-----	62
Tab. VI. 8 – Qualificação da madeira para usos específicos-----	63
Tab. VI. 9 – Classificação das costaneiras de eucalipto-----	64
Tab. VI.10 – Classificação das madeiras Cedro, Mogno, Peroba rosa, Pinho do Paraná e costaneiras de eucalipto-----	66

RESUMO

No processo de industrialização da madeira de eucalipto, a exemplo de outras madeiras, o desperdício pode ultrapassar 50% do volume da tora. No desdobro primário, que visa separar a madeira útil do resíduo, ocorre a remoção das quatro costaneiras, tábuas com uma face plana e outra curvilínea, onde se encontra o alburno e parte do cerne. Este material não é utilizado como madeira serrada por duas razões principais: a presença do alburno, mais suscetível ao ataque de xilófagos e sua forma atípica, fora dos padrões e das técnicas usuais de desdobro.

Este trabalho teve como objetivo realizar estudos das propriedades físicas e mecânicas das costaneiras de eucalipto, visando sua utilização como madeira serrada na indústria moveleira, evitando o desperdício de matéria prima com possibilidade de uso efetivo e com grande potencial econômico.

Foram utilizadas madeiras das espécies *E.grandis* e *E.urophylla*, com dezessete anos de idade, provenientes de plantios comerciais da CAF – Companhia Agrícola e Florestal Santa Bárbara Ltda. Os ensaios experimentais foram desenvolvidos no Laboratório de Testes Físicos do CETEC – Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais e também no Laboratório de Estruturas de Madeira da Universidade Federal de Minas Gerais.

De acordo com os resultados obtidos neste estudo, concluímos que as costaneiras de eucalipto das espécies *E.grandis* e *E.urophylla* apresentam propriedades físicas e mecânicas com valores equivalentes aos apresentados pelo cerne da madeira de eucalipto assim como os apresentados pelo cerne de madeiras de espécies tradicionais, com amplo uso na fabricação de móveis. Assim sendo, sugere-se que este material seja aproveitado na indústria moveleira como madeira serrada, em produtos compatíveis com suas dimensões e forma.

ABSTRACT

A significant material waste occurs during the process of industrialization of the eucalyptus wood, as well as other kinds of wood, accounting for over fifty percent of the log volume. When the log is cut into planks, for the separation of the useful wood from the residue, four outer boards are removed, having each pair a plain and a curved face where the alburnun (sapwood) and part of the heartwood are found. Such a material is not used as sawn wood for two main reasons: first, the alburnun attracts the xylophage, and second, the shape of the boarders is considered unsuitable for the market pattern requirements.

This research examined the physical and mechanical properties of the eucalyptus boarders, focusing on their use as sawn wood in the furniture industry; in doing so, this study aimed at avoiding the raw material waste and thus recovering its potential applicability.

The two types of wood studied belong to *E.grandis* and *E.urophylla* species, aged 17, from the commercial plantations of CAF- a forest agricultural company. The experiments for the physical and structural tests were developed in the *Laboratório de Testes Físicos* of CETEC, Fundação Centro Tecnológico, Minas Gerais State and in the *Laboratório de Estruturas de Madeira* from the University of Minas Gerais State.

According to the analysis made we can conclude that the *eucalyptus* boards studied do present physical and mechanical properties with values which are equivalent to the ones found in the heartwood of the traditional wood species, making their usage possible in furniture manufacturing.

As a result, this paper suggests that this material can be used in the furniture industry as sawn wood, in products which are compatible with its shape and dimensions.

O Brasil é o país com a maior área de floresta tropical do mundo, onde se encontra a maior biodiversidade de espécies e ecossistemas do planeta, que protegem a circulação de 20% de toda a água doce disponível no mundo. Grande parte desse tesouro ambiental está na região Amazônica, que é, hoje, responsável por 75% da produção de matéria-prima para a indústria de processamento mecânico da madeira. Boa parte dessa produção é, ainda, realizada de forma não sustentável e predatória. A pressão dos grupos ecológicos contra o desmatamento indiscriminado, os alertas continuados dos especialistas sobre a finitude das madeiras de lei e o boicote econômico de alguns países a produtos que usam madeiras nativas, fizeram surgir o interesse por madeiras de reflorestamento, onde o eucalipto desponta como opção privilegiada. Plantações de eucalipto no Brasil estão entre os ecossistemas mais produtivos do mundo, cobrindo milhões de hectares e produzindo usualmente mais de 40m³/ha/ano de madeira. Estas taxas recordes de produtividade são possíveis devido à silvicultura intensiva, incluindo seleção genética de árvores superiores, propagação clonal, preparo intensivo do solo, fertilização, além de práticas de manejo, sob a ótica da sustentabilidade.

Entre as espécies nativas e exóticas não se encontrou qualquer outra que concorresse com o eucalipto na perfeita adequação físico-química para fins industriais, no rápido crescimento, na elevada produção de sementes, na resistência a pragas e doenças, na facilidade de tratamentos silviculturais e na grande plasticidade do gênero. Inicialmente usado principalmente para produção de carvão e polpa de celulose, a madeira de eucalipto, superando obstáculos e preconceitos, tem produzido madeira de melhor qualidade, que vai aos poucos se impondo no mercado através de madeira serrada para finalidades mais nobres, podendo futuramente substituir espécies tropicais na indústria moveleira, com o mesmo padrão de qualidade e beleza.

No processamento da madeira de eucalipto, a exemplo de outras madeiras, apenas o cerne é aproveitado como madeira serrada. O restante, as costaneiras (alburno e parte do cerne), apesar de apresentar possibilidades de uso efetivo, é considerado resíduo, sendo sub aproveitado: conversão em energia através da queima, uso doméstico, produção de carvão e queima a céu aberto. Além do desperdício, que pode ultrapassar 50% do

volume da tora, e do impacto ao meio ambiente, estes usos tradicionais não levam em conta o potencial econômico desse material. As costaneiras constituem matéria prima estratégica, considerando-se que os custos de corte e transporte já foram pagos pelo processamento primário, podendo seu valor de comercialização chegar a 10% do valor da madeira serrada. Também do ponto de vista tecnológico a prática do não aproveitamento racional das costaneiras é desaconselhável, pois o alburno, além de ser a parte do lenho que melhor se deixa impregnar por produtos antideteriorantes nos processos de preservação, apresenta, segundo alguns autores, características mecânicas satisfatórias.

O aproveitamento das costaneiras de eucalipto na indústria moveleira como madeira serrada, além de contribuir para a maximização do aproveitamento do lenho da árvore evitando o desperdício, certamente introduzirá no mercado um material de baixo custo, que poderá resultar em produtos mais acessíveis. Os produtos oferecidos no mercado pela indústria moveleira, freqüentemente estão fora do alcance da população de baixa renda, o que se deve em grande parte ao custo da matéria prima.

CAPÍTULO II

OBJETIVOS

II . 1 . OBJETIVO GERAL

Realizar estudo das propriedades físicas e mecânicas das costaneiras da madeira de eucalipto, visando sua adequação como matéria prima para uso na indústria moveleira.

II . 2 . OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Maximização do aproveitamento do lenho da madeira de eucalipto, com o aproveitamento das costaneiras para uso como madeira sólida, evitando-se o desperdício de matéria-prima com características mecânicas satisfatórias e potencial econômico importante.

Avaliar o uso desse material de baixo custo pelas indústrias moveleiras, que poderá resultar em produtos mais acessíveis à população de baixa renda.

CAPÍTULO III

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

III. 1. MADEIRA

As pesquisas com a madeira adquirem atualmente novo impulso, motivadas pelo atual conceito de sustentabilidade, que incentiva o uso de materiais recicláveis, biodegradáveis e com baixa toxicidade, propriedades essas amplamente encontradas neste material.

Material natural, constituído de polímeros orgânicos, a madeira é um produto direto do lenho dos vegetais superiores: árvores e arbustos lenhosos. É matéria prima inesgotável, pois é encontrada em contínua formação, aos milhões de metros cúbicos, em todas as partes do mundo, sob a forma de árvores, em florestas naturais ou artificiais. (HELLMEISTER, 1983).

A madeira é provavelmente o mais antigo material de engenharia utilizado pelo homem. Precedeu a própria pedra, tendo sido usada nas construções palafíticas. A facilidade de obtenção e adaptação aos fins previstos permitiu o seu emprego por populações primitivas, mesmo com os escassos meios então disponíveis (PETRUCCI, 1987).

De madeira foram os primeiros barcos, carros e trenós e as primeiras armas: o arco, a flexa, a borduna. Há não muitos anos os automóveis e caminhões ainda tinham muitos de seus componentes de madeira assim como os vagões, os barcos e os aviões (PONCE, 1995).

A despeito da existência de muitos sucedâneos, a madeira tem conservado muitos usos, principalmente nos países industrializados, em virtude de suas propriedades e características quase insubstituíveis, como beleza, grande resistência mecânica em relação ao peso, facilidade de uso, baixa condutibilidade térmica, e baixa demanda de energia para sua conversão em produtos acabados. Outros produtos alternativos, como aço, alumínio e plástico, no entanto, têm tentado ocupar os seus espaços, embora tais materiais sejam comprovadamente restritivos dos pontos de vista ambiental e estratégico (SILVA, 2002).

Como material de construção, a madeira oferece muitas vantagens e algumas desvantagens para o usuário. Entre as vantagens, OLIVEIRA, apud KEENAN; ENG (1979), citam o fato da madeira ser um dos poucos materiais renováveis, requerer energia de processamento muito menor que o aço, alumínio ou concreto, fornecer um isolamento térmico, por polegada de espessura, muito maior do que os metais ou o concreto, relação resistência e rigidez para peso maior do que outros materiais, ser relativamente fácil de trabalhar, exigindo somente ferramentas simples e, em algumas circunstâncias, apresentarem alta durabilidade natural. Por outro lado, existem algumas desvantagens críticas para a utilização da madeira, que precisam ser levadas em consideração, como o fato de a madeira ser combustível, um elevado número de espécies produzir madeiras de baixa durabilidade natural, quanto ao ataque de organismos xilófagos, algumas espécies, principalmente aquelas provenientes de reflorestamento e rápido crescimento, apresentarem defeitos decorrentes da secagem mal conduzida. Tais desvantagens não devem ser encaradas como obstáculo à utilização deste material, uma vez que existem soluções tanto a níveis projetuais, como àquelas relacionadas à sua própria tecnologia.

Segundo CARRASCO (2004), a madeira é um material heterogêneo, anisotrópico, assimétrico e, na maioria das vezes, biologicamente perecível, características decorrentes de sua origem de seres vivos e organizados. Seu emprego de modo racional exige que tais deficiências sejam levadas em consideração, sendo precedido por um estudo da essência de sua estrutura interna, suas propriedades, assim como da verificação da viabilidade do emprego de um determinado tipo de madeira para um uso específico.

Ainda, de acordo com CARRASCO (2004), para entender a natureza anisotrópica da madeira é preciso conhecer sua **anatomia**. A árvore cresce segundo a direção vertical e também segundo a direção horizontal. Cada ano há um novo crescimento vertical e ao mesmo tempo formação de camadas horizontais sucessivas que vão se sobrepondo ano após ano ao redor das camadas mais antigas. Essas camadas aparecem como anéis de crescimento e são vistas em um corte transversal de um tronco de árvore, onde se pode reconhecer facilmente: a **medula**, resultante do crescimento vertical, geralmente formada por madeira mais fraca ou defeituosa e o conjunto dos anéis de crescimento que constituem o **lenho**, que aparece recoberto por um tecido especial que é a **casca** da árvore. Entre a casca e o lenho existe uma camada extremamente fina, dificilmente

visível mesmo ao microscópio, que é a parte propriamente viva da árvore, o **câmbio**, de onde se originam os elementos anatômicos que vão constituir o lenho e a casca da árvore. A seiva bruta, solução diluída de sais minerais que a árvore retira do solo através de suas raízes, sobe pela camada periférica do lenho, o alburno, até as folhas, onde se transforma juntamente com o gás carbônico do ar sob a ação da clorofila e da luz solar, em seiva elaborada, que desce pela parte interna da casca, designado floema, até as raízes, promovendo a alimentação das células vivas de toda a árvore, permitindo, assim, o crescimento e a multiplicação das mesmas. Parte da seiva elaborada é conduzida radialmente para o centro da árvore, através dos raios medulares.



Figura III.1

Estrutura anatômica do tronco da árvore

No lenho, núcleo de sustentação e resistência da árvore, se pode observar a **estrutura macroscópica** da árvore. Ele constitui a seção útil do tronco para obtenção das peças estruturais de madeira natural. Em quase todas as espécies, o lenho se apresenta com duas zonas bem contrastadas: alburno e cerne. O **alburno** é a parte do lenho situada entre a casca e o cerne, geralmente de coloração mais clara, constituída de elementos celulares ativos (quando na árvore viva). O alburno contém parênquima, tecido que tem a função de armazenagem de alimentos, e onde se encontram os vasos condutores de seiva e água. À medida que a árvore cresce, as partes internas do alburno perdem gradativamente sua atividade vital e adquirem coloração mais escura devido à deposição de substâncias fenólicas, taninos, resinas e gorduras: está formado o **cerne**, que por isso tem mais densidade, resistência mecânica e, principalmente, mais durabilidade, pois sendo constituído de tecido morto, sem seiva, não é atrativo aos insetos e outros agentes de deterioração. As camadas do lenho não se desenvolvem uniformemente durante o ano. Na primavera e no verão, formam-se células maiores, mas com paredes finas

chamadas madeira de verão. No outono e inverno formam-se células menores, mas apresentando paredes mais espessas, a madeira de inverno. Esse fenômeno permite que se tornem distintas as camadas de crescimento anual, sendo possível avaliar a idade da árvore pelos seus anéis de crescimento.

Segundo PETRUCCI (1987) a madeira apresenta, em sua anatomia, uma **microestrutura** celular. Para as funções de resistência, condução de sucos vitais e armazenamento de reservas nutritivas necessárias, o tecido lenhoso está constituído de dimensões, formas e grupamentos diferentes, dos quais decorrem a anisotropia e heterogeneidade do material, assim como as diferenças nas características físicas e mecânicas de espécie para espécie. A diferente disposição destes elementos celulares permite a perfeita identificação microscópica dos espécimes. Nas angiospermas folhosas, de madeira dura, salientam-se os seguintes elementos celulares: vasos, fibras, células parenquimáticas e raios medulares. Os **vasos** são células abertas nas extremidades e justapostas, de diâmetro uniforme e considerável, que permitem a ascensão da seiva através do lenho. As **fibras**, dispostas longitudinalmente no caule, têm extremidades afiladas e fechadas, diâmetro variável e reduzido e constituem os elementos de resistência e sustentação da árvore. As características mecânicas da madeira estão estreitamente ligadas com a densidade, textura e disposição do tecido fibroso. **Parênquima** é um conjunto de células que se assemelham às fibras, lignificadas, dispostas longitudinalmente e transversalmente ao lenho, com reservas nutritivas. Os **raios medulares** são células parenquimáticas dirigidas da medula para a periferia que funcionam como uma amarração das fibras no sentido radial, alterando as características nessa direção. Nas coníferas, a anatomia do lenho é simples, estando constituída de dois elementos principais: os traqueídes e os raios medulares.

O conhecimento da **natureza química** da madeira é importante, pois segundo OLIVEIRA (1999), este se relaciona às propriedades, que conseqüentemente influirão na sua adequação às diferentes formas de utilização. Somente através do conhecimento de sua composição, bem como das características de seus constituintes, podemos entender o seu comportamento como material, com posterior otimização do seu uso.

Segundo PATTON (1978), a madeira é um polímero natural formado por longas fibras tubulares. Tais fibras são constituídas por dois carboidratos poliméricos, chamados celulose e hemicelulose: ambas as substâncias são glucoses complexas. A glucose é um

açúcar, o que explica o fato de a madeira servir de alimento a fungos e insetos, até mesmo a animais. Essas fibras de madeiras são ligadas por um terceiro polímero, chamado lignina. Existem ainda substâncias adicionais, os chamados extrativos, nome genérico dado a um grande número de compostos, solúveis em água e solventes orgânicos.

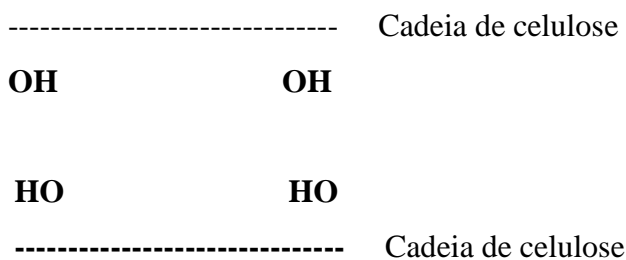
Segundo OLIVEIRA *apud* FOELKEL (1997), a composição elementar da madeira seca, é constante, com valores de:

- 50% carbono
- 44% oxigênio
- 0,6% hidrogênio
- 0,1% nitrogênio
- 0,3% cinzas (material inorgânico)

Estes elementos se combinam para formar compostos químicos bem definidos, sendo o mais importante a celulose. Em base seca, a quantidade relativa desses compostos é:

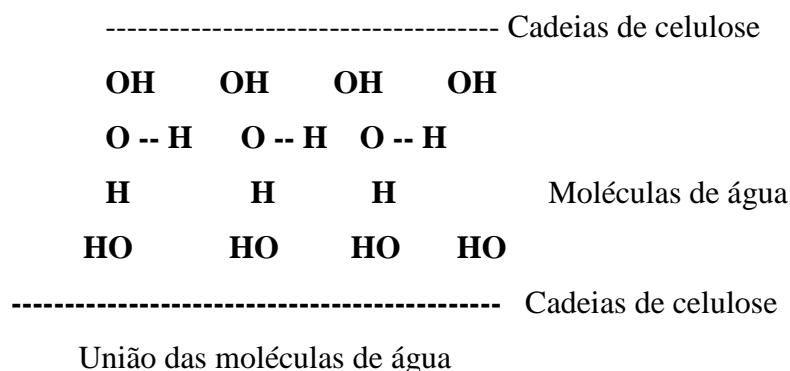
- celulose: 40-45%
- hemicelulose: 20-30%
- lignina: 18-25% em folhosas
25-35% em coníferas
- extrativos: 02-25%

Segundo CARRASCO (2004), a **celulose** é um polímero constituído por várias centenas de glicoses formando cadeias de até 3000 elementos. A fórmula geral da celulose é $n(C_6 H_{10} O_5)$. As cadeias de celulose se unem lateralmente por ligações de hidrogênio constituindo micelas. Estas, por sua vez, formam as fibrilas que constituem as paredes das fibras e dos traqueídes.



Ligações entre cadeias de celulose (pontes de hidrogênio)

Além da ligação lateral entre as cadeias de celulose, as oxidrilas da celulose podem unir-se a uma molécula de água.



Cada conjunto (C₆ H₁₀ O₅) forma três oxidrilas e, portanto, pode receber três moléculas de água. A relação 54/162 entre o peso molecular de três moléculas de água e uma de celulose dá uma indicação da porcentagem máxima (33%) de água de impregnação da celulose.

Segundo OLIVEIRA (1999), o termo **hemiceluloses** se refere aos polímeros de polissacarídeos de baixo peso molecular, que estão fortemente associados à celulose nos tecidos da madeira. O termo hemicelulose não designa um composto químico definido, mas sim uma classe de componentes poliméricos presentes em vegetais fibrosos, possuindo cada componente propriedades peculiares. Ainda, como no caso da celulose e da lignina, o teor e a proporção dos diferentes componentes encontrados nas hemiceluloses da madeira variam grandemente com a espécie e, também, provavelmente, de árvore para árvore.

A **lignina**, segundo CARRASCO (2004), é um composto aromático de alto peso molecular que exerce na madeira a função de “cimento ou adesivo”, dando rigidez e dureza aos conjuntos de cadeias de celulose. OLIVEIRA, *apud* EATON; HALE (1993) definem a lignina como um polímero tridimensional complexo, de unidades de fenilpropano, completamente amorfo, servindo como material incrustante em torno das microfibrilas. Confere considerável rigidez à parede celular e devido às suas propriedades, menos hidrofílicas, também influencia as características de inchamento da madeira.

Os **extrativos** são a fração dos constituintes da madeira que pode ser extraída por água, solventes orgânicos ou, ainda, por volatização. Segundo OLIVEIRA, *apud* BUCHMAN (1975), existe uma considerável variação na distribuição de extrativos, através da madeira de uma dada árvore. Os açúcares e outros constituintes solúveis da seiva e depósitos de alimentos de reserva tais como amido e gorduras, são encontrados no alburno. As substâncias fenólicas são normalmente depositadas no cerne. O mesmo autor acrescenta, *apud* KRAMER; KOZLOWSKI (1979), que durante a formação do cerne, uma ampla variedade de substâncias extrativas, incluindo taninos, diversas substâncias corantes, óleos, gomas, resinas e sais de ácidos orgânicos, são acumulados nos lumes das células e paredes celulares, resultando na cor escura da madeira. Algumas destas substâncias também ocorrem no alburno, mas normalmente em menores quantidades. Extrativos no cerne algumas vezes excedem a 30% do peso total da madeira e aumentam a coloração, densidade e a durabilidade da madeira. Um dos mais importantes extrativos do cerne são os polifenóis, que são compostos aromáticos com um ou mais grupos de hidroxilas fenólicas.

De acordo com BAUER (1988), a escolha da madeira de uma determinada espécie lenhosa para um determinado emprego somente poderá ser conduzida, com economia e segurança, conhecendo-se os valores médios que definem o seu comportamento físico e a sua resistência às solicitações mecânicas. Esse conhecimento é adquirido como resultado de realizações de numerosos ensaios de qualificação sobre amostras representativas de madeira da espécie lenhosa em questão. Tais ensaios de qualificação devem, necessariamente, levar em consideração todos os fatores de alteração das características do material, tanto os fatores naturais, decorrentes da própria natureza do material, como fatores tecnológicos, decorrentes da técnica de execução dos ensaios.

Dentre as **propriedades físicas** da madeira, as mais importantes são o teor de umidade, a retratibilidade e a densidade ou massa específica aparente. Apesar de não ser considerada uma característica intrínseca da madeira, o estudo da **umidade** segundo OLIVEIRA (1999), é indispensável, por se tratar de um parâmetro que afeta todo o comportamento da madeira, quanto a trabalhabilidade, estabilidade dimensional, resistência mecânica e durabilidade natural. Daí, a madeira deverá sempre ser utilizada com uma umidade próxima ao teor de equilíbrio higroscópico, que é função das condições de umidade relativa e temperatura do ar, próprios de cada região. Para as

condições brasileiras, esse teor médio de equilíbrio higroscópico para a madeira está próximo dos 15%, com algumas variações, dependente de cada região e épocas do ano. Também no caso de distribuição de umidade dentro da árvore, sabe-se existirem variações significativas, pois a maior ou menor capacidade de retenção de umidade no lenho, está diretamente relacionada à sua densidade.

Segundo CARRASCO (2004), a quantidade de água existente influi grandemente nas demais propriedades da madeira, pois a árvore, mesmo após o corte, possui significativo teor de umidade, que vai perdendo depois de cortada. Inicialmente ocorre a perda de água de embebição ou água livre, contida no interior dos vasos. Essa evaporação é rápida, provocando tensões capilares elevadas, sem alterar, contudo, as dimensões da peça de madeira. A seguir, ocorre a evaporação de água de impregnação ou de constituição, contida nas paredes dos vasos, fibras e traqueídes, que está ligada às cadeias de celulose, através das pontes de hidrogênio. É de evaporação difícil e vagarosa, seguida de variações nas dimensões da peça. Em decorrência disso, chega-se aos conceitos que estabelecem o teor de umidade da madeira: o ponto de saturação e da umidade de equilíbrio. O ponto de saturação da madeira é a umidade abaixo da qual toda água existente é de impregnação, cujo valor gira em torno de 33%. A umidade de equilíbrio é o teor de umidade em que se estabiliza a madeira, que é função da temperatura ambiente e da umidade relativa do ar. A norma brasileira especifica a umidade de 12% como referência para realização de ensaios e valores de resistência dos cálculos para fins de aplicação estrutural.

Segundo OLIVEIRA (1999), além das variações normais, nos sentidos transversal e longitudinal do tronco, deve-se destacar também as diferenças de umidade existentes entre o cerne e o alburno de uma árvore. Principalmente para o caso de madeira de clima temperado, notam-se, para as coníferas, aumentos de até três vezes no teor de umidade do alburno, em relação ao cerne. Para as folhosas temperadas, entretanto, não existem diferenças significativas quanto ao teor de umidade do alburno em relação ao cerne. É também importante destacar que madeiras, com elevados teores de extrativos apresentam uma higroscopicidade mais baixa. Segundo o mesmo autor, uma vez seca, a uma condição de umidade em equilíbrio com as condições atmosféricas, a madeira não irá apresentar mais problemas associados a retratibilidade, como empenamentos, fendilhamentos, entre outros. Também a resistência da madeira ao ataque de organismos xilófagos, principalmente os apodrecedores, está diretamente relacionado ao teor de

umidade da madeira em serviço. Madeiras com teores de umidade abaixo de 18% estão livres de serem atacadas por fungos apodrecedores. Também operações de acabamento, como tintas e vernizes, não são bem sucedidas em madeiras com elevados teores de umidade.

A **retratibilidade** é, segundo OLIVEIRA *apud* IPT (1985), o fenômeno de variação dimensional da madeira, quando há uma alteração no seu teor de umidade. As variações nas dimensões das peças de madeira começam a ocorrer quando esta perde ou ganha umidade abaixo do ponto de saturação das fibras. O princípio da retratibilidade se deve ao fato das moléculas de água estar ligadas por pontes de hidrogênio as microfibrilas dos polossacarídeos que formam a madeira. Quando estas são forçadas a sair, deixam um espaço e as forças de coesão tendem a reaproximar as microfibrilas, causando uma contração da madeira como um todo. O fenômeno da expansão é o inverso, ou seja, quando a água adsorvida pela madeira tende a penetrar entre as microfibrilas, causa o afastamento delas e o conseqüente inchamento da peça.

Segundo CARRASCO (2004), devido à anisotropia da madeira, as retrações ou inchamentos ocorrem diferentemente segundo a direção longitudinal, radial e tangencial da peça. A diferença entre as retrações nas três direções explica a maior parte dos defeitos que ocorrem durante a secagem da madeira, como rachaduras e empenamentos. As madeiras mais estáveis são as que apresentam menores valores para as retrações e menores diferenças entre as retrações nas três direções consideradas.

As características de retração da madeira são, segundo OLIVEIRA (1999), bastante diferentes entre as espécies florestais, dependendo do modo de condução da secagem e do próprio comportamento da madeira, o que freqüentemente leva a alterações da forma e à formação de fendas e empenos. O mesmo autor acrescenta que a determinação da retratibilidade se faz através de medidas das dimensões lineares de amostras, nas três direções da madeira, ou seja, longitudinal, tangencial e radial, durante o processo de secagem. Os valores são reportados para a variação de umidade da condição acima do ponto de saturação das fibras, para uma condição de secagem completa, ou seja, até 0%. A fim de diminuir as retrações da madeira após o desdobro, esta deve ser secada ao teor de umidade que corresponde ao de sua aplicação e à do ambiente em que será utilizada.

Segundo SILVA (2002), a **densidade** da madeira é resultado de uma complexa combinação dos seus elementos constituintes internos. É uma propriedade muito importante e fornece inúmeras informações sobre as características da madeira, devido a sua íntima relação com várias outras propriedades, tornando-se um parâmetro muito utilizado para qualificar a madeira nos diversos segmentos da atividade industrial.

CARRASCO (2004) acrescenta que, como as demais propriedades físicas da madeira, a densidade depende da espécie em estudo, do local de procedência da árvore, da localização do corpo de prova na tora e da umidade. A norma brasileira apresenta duas definições de densidade a serem utilizadas em estruturas de madeira: a densidade básica e a densidade aparente. A densidade básica é uma massa específica convencional, definida pela razão entre a massa seca da madeira e o volume da madeira saturada, em metro cúbico. A densidade aparente é definida pela razão entre o peso do corpo de prova e o seu volume aparente, com teor de umidade de 12%.

De acordo com PETRUCCI (1987) todas as características físicas e mecânicas das madeiras estão diretamente relacionadas à sua massa específica aparente, pois esta é a expressão mais exata da concentração e distribuição de material resistente na estrutura do material.

Quanto à **durabilidade natural** da madeira, BAUER (1988) diz que a madeira, como material orgânico, está sujeita ao ataque de outros organismos vivos, dentre os quais se destacam os microorganismos e os insetos xilófagos. Em compensação, ao contrário dos demais materiais convencionais de engenharia, as madeiras têm boa resistência a substâncias químicas inorgânicas, ácidos, bases e sais, que somente a atacam quando fortemente concentrados e sob ação prolongada.

CARRASCO (2004) acrescenta que a durabilidade da madeira, com relação à biodeterioração, depende da espécie e das características anatômicas: certas espécies apresentam alta resistência natural ao ataque biológico enquanto outras são menos resistentes. Também é importante a diferença na durabilidade da madeira de acordo com a região da tora da qual a peça foi extraída, como visto anteriormente, o cerne e o alborno apresentam características diferentes, incluindo-se aqui a durabilidade natural, com o alborno sendo mais vulnerável ao ataque biológico. A baixa durabilidade natural pode ser compensada por um tratamento preservativo adequado, alcançando-se assim

melhores níveis de durabilidade, superiores aos apresentados pelas espécies naturalmente resistentes.

As **propriedades mecânicas** da madeira, segundo PETRUCCI (1987), referem-se à resistência que ela oferece:

- . Aos esforços principais, exercidos no sentido das fibras, relacionados com a coesão axial do material: compressão, tração, flexão e cisalhamento.

- . Aos esforços secundários, exercidos transversalmente às fibras, relacionados com a sua coesão transversal: compressão, torção e fendilhamento.

Segundo o mesmo autor, as características mecânicas da madeira estão estreitamente relacionadas, não só à anisotropia, mas também à sua heterogeneidade e à sua capacidade de absorver água; em última análise, à variedade, distribuição e concentração de seus principais constituintes celulares: fibras, vasos lenhosos, raios medulares e células parenquimáticas. Cada um desses elementos contribui de maneira diversa para a resistência mecânica do material às diferentes solicitações. As fibras, dispostas longitudinalmente no caule, constituem os elementos de resistência e sustentação da árvore. As características mecânicas da madeira produzida estão estreitamente ligadas com a textura e a disposição do tecido fibroso. Uma forte proporção de fibras dá mais rigidez; uma fraca proporção de fibras dá flexibilidade. Os vasos e canais secretores constituem vazios e, portanto, pontos fracos. Os raios medulares são também elementos de fraqueza e formam planos de menor resistência, segundo os quais podem iniciar-se fendas ou deslocamentos transversais. As células de parênquima, pouco rígidas, dão à madeira plasticidade.

Segundo SILVA, *apud* MOREIRA (1999), a fibra é considerada a fonte de elasticidade e de resistência da madeira; por outro lado, a sua estrutura tubular e sua constituição polimérica são responsáveis pela maioria das propriedades físicas e químicas. Como material anisotrópico, a madeira possui propriedades mecânicas únicas e independentes nas direções dos três eixos ortogonais: as suas propriedades, portanto, variam com a direção da carga em relação aos mesmos. O módulo de ruptura e o módulo de elasticidade são dois parâmetros normalmente determinados nos testes de flexão estática e são de grande importância na caracterização tecnológica da madeira; ambos dão uma boa aproximação da resistência do material, constituindo-se, na prática, parâmetros de grande aplicação na classificação dos materiais.

De acordo com REIS (1998), as variações de umidade da madeira, abaixo do ponto de saturação das fibras, são acompanhadas de variações dimensionais, aproximadamente proporcionais a ela. A perda de umidade causa retração, enquanto que o ganho causa expansão, sendo que ambos são bastante diversos nas três direções anatômicas principais. Disto resulta uma distinção das propriedades mecânicas em função da umidade e da seção do corte, segundo a orientação das fibras sobre a qual a madeira é solicitada.

A escolha da madeira de uma determinada espécie para um determinado emprego, segundo BAUER (1988), somente poderá ser conduzida com economia e segurança, conhecendo-se os valores médios que definem seu comportamento físico e sua resistência às solicitações mecânicas. Este conhecimento é adquirido como resultado de realizações de numerosos ensaios de qualificação sobre amostras representativas de madeira da espécie em questão. Tais ensaios devem levar em consideração todos os fatores de alterações das características do material, sejam elas naturais ou tecnológicas.

Segundo RODRIGUES, *apud* FRANCO (1986), a caracterização tecnológica de madeiras extraídas de essências florestais é feita através de ensaios físicos e mecânicos normalizados. Cada norma de ensaio apresenta uma metodologia para a determinação de uma mesma característica física ou mecânica. Basicamente, a metodologia refere-se à amostragem, marcação, dimensões e formato dos corpos de prova e ensaio propriamente dito para caracterização do material. Os ensaios normalizados geralmente consistem no levantamento de dados correspondentes ao carregamento lento e contínuo de corpos de prova especialmente preparados e das deformações resultantes. A determinação do módulo de elasticidade e das tensões limite de proporcionalidade e o limite de resistência a flexão e compressão são os ensaios mais importantes para aplicações estruturais.

De acordo com a NBR 7190:1997, as propriedades da madeira são condicionadas por sua estrutura anatômica, devendo distinguir-se os valores correspondentes à tração dos correspondentes à compressão, bem como os valores correspondentes à direção paralela às fibras dos correspondentes à direção normal às fibras. Devem também se distinguir os valores correspondentes às diferentes classes de umidade, que têm por finalidade ajustar as propriedades de resistência e de rigidez da madeira em função das condições ambientais onde permanecerão as estruturas. Ainda segundo a norma, a resistência é a

aptidão da matéria suportar tensões. A resistência da madeira é determinada, convencionalmente, pela máxima tensão que pode ser aplicada a corpos de prova do material considerado, isentos de defeito. A tensão máxima é definida quando do aparecimento de fenômenos particulares de comportamento, além dos quais há restrição de emprego do material em elementos estruturais. De modo geral estes fenômenos são os de ruptura ou de deformação específica. A rigidez é expressa pelo módulo de elasticidade, determinado na fase do comportamento elástico-linear. O módulo de elasticidade na direção paralela às fibras é medido nos ensaios de compressão paralela às fibras e o módulo de elasticidade na direção normal às fibras é medido no ensaio de compressão normal às fibras. A norma determina ainda que a caracterização mecânica das madeiras para projetos de estruturas deve seguir os métodos de ensaio especificados no Anexo B da mesma: Determinação das propriedades das madeiras para projeto de estruturas.

III . 2. MADEIRA DE EUCALIPTO

As florestas de eucalipto, segundo LIMA (1987), são uma das características marcantes da paisagem australiana. Apenas duas (*E. deglupta* e *E. urophylla*) das setecentas e duas espécies conhecidas de eucalipto não ocorrem na Austrália, e supõe-se que, no seu passado evolucionário, os ancestrais do gênero *Eucalyptus* tiveram a Austrália como centro de desenvolvimento onde, com o tempo, evoluíram para a grande diversidade hoje existente. A evolução do gênero, durante milhares de anos, em ambientes secos e solos poucos férteis, características do solo australiano, ajuda a explicar a resistência e a sua capacidade de recuperação em condições desfavoráveis. Segundo o mesmo autor, no Brasil tem-se como certa a introdução pioneira do eucalipto por volta de 1868, no Rio Grande do Sul. Em larga escala, a expansão da eucaliptocultura deveu-se ao trabalho pioneiro desenvolvido pelo engenheiro Navarro de Andrade na então Cia. Paulista de Estrada de Ferro, iniciado por volta de 1903. Daquela época até 1966 estima-se em 400.000 hectares o total de área reflorestada no país, data em que foi estabelecido o programa de incentivos fiscais para o reflorestamento, que visava atender à demanda e aos planos desenvolvimentistas das indústrias que utilizam a madeira como matéria prima, principalmente nas regiões sul e sudeste do país, onde a cobertura natural de florestas encontrava-se seriamente diminuída, devido ao alto consumo dessas empresas, principalmente as indústrias siderúrgicas.

De acordo com OLIVEIRA (1999), este programa, que permitiu a aplicação de parte do imposto de renda devido pelas empresas em atividades de reflorestamento e fez com que a área plantada saltasse para 3,7 milhões de hectares, em 1986. Os primeiros reflorestamentos incentivados foram feitos com o objetivo de se produzir matéria prima para a indústria de celulose e papel, e produção de energia para a indústria siderúrgica. A falta de conhecimento que propiciasse a utilização correta de técnicas silviculturais, de manejo e de utilização de sementes adequadas fez com que a produtividade das primeiras florestas fosse muito baixa, raramente ultrapassando 10 a 15m³/ha/ano. Como reflexo da falta de planejamento inicial, a produção de madeira apresentou padrões de qualidade muito aquém daqueles exigidos para utilizações mais nobres. Apesar dos erros cometidos, cabe destacar o empenho de algumas poucas empresas que iniciaram um trabalho sério desde àquela época, investiram maciçamente em pesquisa, melhoramento genético e seleção de material e, hoje em dia já começam a despontar

como principais lideranças na oferta de madeira de qualidade para o mercado interno e externo.

Segundo a FAO, na década de noventa as plantações florestais mundiais eram estimadas em aproximadamente 130 milhões de hectares. Desse total, cerca de 6 milhões de hectares eram de eucaliptos, sendo que 50% estavam localizados no Brasil. O setor florestal brasileiro mantém hoje cerca de 4,8 milhões de hectares de florestas de rápido crescimento em regime de produção, sendo 3 milhões de hectares de eucalipto e 1,8 milhões de hectares de pinnus (GALENO, 2004).

Tendo sido inicialmente utilizada para a produção de dormentes para estrada de ferro, lenha para locomotivas, cercas, postes e ainda para construção de estações e vilas, hoje, a madeira de eucalipto é largamente utilizada na produção de carvão, polpa de celulose, painéis, móveis e construção civil. Segundo SILVA (2003), a madeira de eucalipto no Brasil é atualmente responsável pelo abastecimento da maior parte do setor industrial de base florestal, sendo importante sua participação na economia nacional, como mostra a tabela III. 1:

Tabela III. 1 – Participação da madeira de eucalipto no setor industrial de base florestal

Produto	Produção anual
Celulose	7,8 milhões toneladas
Carvão vegetal	18,8 milhões toneladas
Energia	21 milhões toneladas
Chapa de fibra	558 mil m ³
Chapa de fibra aglomerada	500 mil m ³
Madeira serrada	500 mil m ³

(SILVA, 2003)

Apesar da grande produtividade das florestas plantadas, o Brasil continua devastando suas matas nativas. A cada ano da década de 1990 foram cortadas, em média, 2 milhões de hectares de floresta nativa, sobretudo na Amazônia. Para cada 3m³ de madeira consumida no Brasil, 2,5m³ vem de floresta plantada. Enquanto a matéria prima escasseia, o consumo aumenta 5% ao ano, pois, no Brasil a madeira alimenta: 232 indústrias de papel; 32 indústrias de celulose; 7000 serrarias (maioria na Amazônia);

189 siderúrgicas a carvão; 13500 indústrias de móveis. Essas empresas consomem juntas 300 milhões de m³ anuais de madeira (SCHART, 2003).

Apesar da pujança de suas florestas e da sua importância econômica, as plantações de eucalipto alimentam polêmicas e não raramente geração de preconceito contra essa atividade. Segundo GALENO (2004), a grande polêmica da eucaliptocultura é quanto à diminuição da biodiversidade, o consumo de água e o empobrecimento do solo.

Quanto à biodiversidade, a monocultura extensiva do eucalipto, assim como de qualquer outra cultura, pode restringir a variabilidade de recursos para o desenvolvimento de espécies vegetais e animais, no entanto, a ocupação do solo com plantações florestais ocupa uma área ainda muito reduzida, em comparação com outras culturas, conforme se vê pela tabela III.2:

Tabela III.2 – Ocupação do solo no Brasil com atividades agropecuárias e florestais

Tipo de uso	Área (milhões de ha)	Porcentagem
Florestas primárias	444	52,5%
Plantações florestais	5	0,6%
Pastagens	177	21,0%
Agricultura	42	5,0%
Não agricultáveis	43	5,0%

(ASSIS, 2003)

Como se vê a monocultura do eucalipto não se caracteriza como uma ameaça à biodiversidade, mesmo com seu eventual crescimento, principalmente sabendo-se que ela pode ocorrer em áreas degradadas e hoje sub utilizadas, principalmente pela atividade pecuária.

De acordo com SCOLFORO (2004), atualmente é feito um planejamento técnico que considera a seleção de solos, preservação de mananciais de água e matas ciliares, além da preservação de vegetação natural entre as áreas de plantio. A criação desses corredores ecológicos, interligando os maciços reflorestados, oferece habitat para a fauna e flora, oferecendo condições de abrigo, de alimentação e mesmo de reprodução de várias espécies animais e vegetais.

Em relação à secagem do solo, numerosos estudos já foram realizados e comprovam que espécies de eucalipto têm diferentes comportamentos quanto ao consumo de água e tolerância à seca. Segundo SCOLFORO (2004) com o atual desenvolvimento tecnológico, praticamente todos os reflorestamentos utilizam mudas oriundas de clones, o que, além de tornar os plantios mais produtivos e uniformes, os tornam ambientalmente corretos, já que essas normalmente não apresentam raiz pivotante, ou seja, não ultrapassam 2,5m de profundidade e não chegam aos lençóis freáticos, quase sempre localizados em profundidades bem maiores.

ALMEIDA e SOARES (2004) realizaram em 1994, um monitoramento hidrológico intensivo em uma microbacia do município de Aracruz/ES. As medições realizadas nos plantios de eucalipto (*Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden) e em uma floresta nativa (Mata Atlântica), com estimativas a partir de modelos hidrológicos para cálculo de balanço hídrico, demonstram que as plantações de eucalipto se comparam à floresta nativa, quanto a evapotranspiração anual e ao uso de água do solo.

No que diz respeito ao empobrecimento do solo, além das plantações florestais ocorrerem, de maneira geral em solos de baixa fertilidade, sabe-se que o eucalipto absorve grande quantidade de nutrientes que são armazenados nas folhas, cascas e lenho. Quando as árvores são cortadas, exporta-se grande parte dos nutrientes absorvidos, porém, há de se considerar a camada de serrapilheira (cascas, folhas e galhos) que permanece no local e se incorpora ao solo como matéria orgânica, que contribui no controle da erosão e na reposição de nutrientes.

Segundo SCOLFORO (2004) algumas áreas do município de Aracruz/ES, que foram ocupadas com plantios de eucalipto ao longo de quase 20 anos e recentemente convertidas para outras culturas, vêm apresentando níveis de produtividade acima da média estadual. O mesmo autor acrescenta que, em outro estudo, publicado pela UFMG, UFRJ e Unileste/MG, os plantios de eucalipto são a única alternativa sócio-econômica ambiental viável para deter o processo de degradação do Vale do Rio Doce em Minas Gerais, especialmente no que diz respeito ao assoreamento dos rios.

Com o propósito de compor uma imagem hidrológica e ecológica das plantações de eucalipto, a partir das informações obtidas em inúmeros trabalhos desenvolvidos em diferentes países, LIMA (1987) publicou o livro "O Reflorestamento com Eucalipto e

seus Impactos Ambientais", que abrange os aspectos mais comumente levantados no tocante à implantação e manejo de florestas formadas à base de espécies de rápido crescimento e alta produtividade conduzidas sob ciclos curtos de rotação. O autor ressalta que, comparativamente a outras essências florestais, não há nada de errado com o gênero *Eucalyptus* no que diz respeito aos processos hidrológicos quantitativos e qualitativos, bem como às relações planta solo. Em termos hidrológicos, a maioria das espécies de eucalipto apresenta mecanismos bem desenvolvidos de controle das perdas de água por transpiração, restringindo-as com a diminuição do conteúdo de água do solo. Do ponto de vista nutricional, são espécies frugais e dotadas de eficiente mecanismo de economia de nutrientes, resultado da adaptação evolucionária a condições de baixo conteúdo de nutrientes no solo. O reflorestamento com eucalipto não aumenta as chuvas locais, mas tampouco conduz à desertificação. Pelo contrário, sua atuação sobre o solo ao longo dos anos é benéfica, diminuindo o processo de erosão, melhorando as condições de infiltração e de armazenamento de água no solo, assim como suas propriedades químicas, físicas e sua fertilidade.

De acordo com ASSIS (2003), está se formando uma consciência clara da importância e do peso dos produtos de base florestal na economia do Brasil. Após muitos anos de abandono pelos órgãos de fomento à produção no governo, finalmente o segmento florestal está despertando o interesse dos ministérios correspondentes. Puxados pela indústria de celulose e papel e pelos produtos siderúrgicos e carvão vegetal, os produtos de base florestal representam, hoje, cerca de 10% do valor total das exportações e caminham para 5% do PIB nacional, com tendência de crescimento no curto prazo, lastreado na entrada de produtos alternativos, como os móveis, cuja exportação saltou de US\$500 milhões em 2000, para US\$1 bilhão em 2005. Segundo o mesmo autor, os empregos gerados pela cadeia produtiva florestal no Brasil estão na casa dos 2,5 milhões, absorvendo parcela da população de baixa qualificação. Os avanços tecnológicos, entretanto, têm levado a uma especialização de mão de obra, como mostra a inauguração, em agosto de 2003, no SENAI do Paraná, do Centro de Operações Florestais, aparelhado com sistema virtual de treinamento para formar operadores de equipamentos de colheita florestal.

As plantações florestais podem ainda contribuir para a captação de carbono da atmosfera, contribuindo para a reversão do aumento da temperatura da terra, conhecido como "efeito estufa".

De acordo com SILVA (2001) a produção de biomassa vegetal no Brasil goza de condições especiais, devido à situação tropical predominante, onde a radiação e a temperatura influenciam na taxa de fotossíntese e, conseqüentemente, na absorção de dióxido de carbono na atmosfera. O plantio de eucalipto permite a fixação de carbono no solo, possibilita ao usuário a obtenção de madeira para fins energéticos, que substitui os combustíveis fósseis e mantém um ciclo fechado quando transforma a madeira em carvão vegetal para operações siderúrgicas, ou seja, libera dióxido de carbono para a atmosfera durante o processo de carbonização, mas fixa o elemento na base florestal.

Segundo ROSE (2003), como a maior parte do volume de carbono que circula na natureza está fixada nas plantas, os projetos de reflorestamento ambientalmente corretos e certificados são, por isso, uma das mais efetivas maneiras de se reduzir os níveis de CO² na atmosfera, sendo o eucalipto uma das melhores espécies vegetais para captação deste elemento. As florestas localizadas em clima frio demandam dezenas de anos de crescimento; o eucalipto, ao contrário, apresenta crescimento rápido, atingindo sua idade adulta em 6 e 7 anos. Este rápido desenvolvimento da planta propicia uma maior e mais rápida captação e fixação de CO². Especialistas estimam que cada árvore de eucalipto pode seqüestrar até 20kg de gás carbônico por ano. Um hectare de floresta jovem, com cerca de 6 anos, seqüestra em média 35 toneladas de CO² por ano, chegando a quase 80 toneladas de CO² seqüestrados por ano, sete anos após o plantio das árvores. Assim, os reflorestamentos com eucalipto podem representar uma importante fonte de geração de capital de investimento adicional, com base no MDL - Mecanismo de Desenvolvimento Limpo, proposto na conferência de Kyoto, em 1997. Este mecanismo prevê que, através de projetos de redução ou fixação de carbono, sejam emitidos certificados de redução de emissão que são transformados em bônus ou títulos negociáveis. Prevê-se que esses bônus possam ser negociados pelas empresas localizadas em países com altos níveis de emissão de CO², adquirindo-os de países que possuam projetos que comprovadamente fixem carbono. Em regiões onde, por diversos motivos, a recuperação vegetal se torna impraticável, a ampliação e renovação das áreas de reflorestamento com eucaliptos podem vir a gerar diversos projetos MDL, desde que tragam benefícios econômicos e sociais para a comunidade local, seguindo estritamente as normas ambientais e certificadas por empresas internacionalmente conhecidas.

A reduzida participação da madeira serrada de eucalipto na indústria moveleira se deve principalmente à baixa disponibilidade de madeira de qualidade. Segundo SILVA

(2002), quase toda madeira de eucalipto atualmente disponível foi projetada para a utilização na produção de celulose, carvão vegetal e de chapas, sendo poucos os empreendimentos que produzem a madeira ideal para a indústria moveleira. Outro fator é a desinformação e preconceitos sobre o comportamento da madeira de eucalipto em produtos acabados. Existe uma crença de que ela racha e se deforma demasiadamente, inviabilizando seu uso para finalidades mais nobres. Existem realmente certas características desfavoráveis, inerentes à madeira de eucalipto, como elevada retratibilidade, propensão ao colapso e presença de tensões de crescimento que levam a deformações, rachaduras, empenamentos e vários outros defeitos. A verdade é que toda madeira até então utilizada para usos nobres foi proveniente de plantios voltados para a produção de celulose e carvão, privada de certos cuidados especiais. Esses problemas, no entanto, podem ser minimizados através de procedimentos genéticos e silviculturais, adicionados a técnicas corretas de processamento e uso. Atualmente, a indústria moveleira está reavaliando as possibilidades de utilização da madeira de eucalipto como matéria prima básica e, aos poucos, o eucalipto ocupará espaço entre as madeiras nobres mais usadas nas linhas de produção da indústria moveleira. Pólos produtores já derrubam a resistência antiga a uma árvore que era reconhecida apenas como combustível dos fornos de carvão.

A Tecflor Industrial S.A., do grupo Aracruz Celulose S. A criou um projeto de produção de madeira especialmente plantada para fins de serraria. Para produzir e comercializar a nova madeira, instalou-se uma serraria no município baiano de Nova Viçosa, numa área total de 40 hectares. A empresa testou mais de 50 clones de eucalipto, implantou as melhores técnicas de silvicultura e manejo, realizou inúmeros testes para melhor qualificar a madeira em diferentes usos e, a partir disso, lançou no mercado uma madeira com o nome de Lyptus, partindo das espécies *E. grandis* e *E. urophylla*, cujas principais características são caules retos e, praticamente, sem galhos. Graças ao manejo diferenciado, a Aracruz conseguiu um produto de alta qualidade, adequado à produção de móveis e materiais especiais de acabamentos, uma vez que as árvores são industrializadas somente quando atingem o diâmetro mínimo de 30 cm, com a casca. Os plantios são renováveis, entremeados com áreas de florestas nativas, garantindo-se o equilíbrio do ecossistema da região.



Figura III. 2

Móveis construídos com a madeira Lyptus, da Aracruz

Uma experiência bastante positiva é, também, a participação da Klabin Florestal, tradicional produtora de celulose e papel do Estado do Paraná. Através de um programa de manejo diferenciado de uma parte de suas florestas, atualmente a empresa mantém uma parceria com várias empresas que se instalaram no município sede da empresa, Telêmaco Borba; a Klabin disponibiliza, mensalmente, em regime sustentado, o equivalente a 1 milhão de toneladas de madeira, com idade superior a 20 anos. A madeira produzida é de *E. grandis*, com excelente qualidade para serraria e laminação.

O Centro Tecnológico do Mobiliário - CETEMO/SENAI - instalado no município gaúcho de Bento Gonçalves tem realizado vários trabalhos com a madeira de eucalipto, adaptando-a ao setor moveleiro, estudando-lhe o comportamento na usinagem, colagem e vários tipos de acabamento. Os resultados são extremamente animadores, principalmente em se tratando das espécies de *E. grandis*, *saligna*, *urophylla* e *dunnii*, pela baixa densidade, fácil trabalhabilidade, boa aparência, resistência, durabilidade e fácil adaptação aos processos de colagem e acabamento superficial.

SILVA (2002) estudou a madeira de *Eucalyptus grandis* Hill ex. Maiden, de diferentes idades, visando sua utilização na indústria moveleira, realizando ensaios para determinação das propriedades físicas, anatômicas, mecânicas, composição química, resistência natural ao ataque de cupins de madeira seca e usinabilidade. Os resultados demonstraram que a idade influenciou significativamente todas as propriedades. Embora a madeira de dez anos pudesse ser utilizada na indústria moveleira, observou-se um comportamento inadequado nessa atividade, em função de valores muito reduzidos nas propriedades ligadas à massa específica, resistência mecânica, estabilidade

dimensional, resistência natural ao ataque de cupins e, principalmente, ensaios de usinagem. A madeira de quatorze anos, embora apresentasse valores adequados de algumas propriedades para a indústria moveleira, de uma maneira geral, mostrou-se, ainda, incipiente para tal uso. As madeiras de vinte e vinte e cinco anos apresentaram um comportamento semelhante e mostraram-se aptas para a utilização na indústria moveleira.

Em seu estudo, o mesmo autor apresenta tabela fornecida por COSTA (1996), que estabelece comparação entre o eucalipto e outras espécies, comprovando semelhanças entre suas propriedades físicas e mecânicas.

Tabela III.3 – Comparação das propriedades mecânicas de *E. grandis* com outras madeiras

Flexão estática	<i>E. grandis</i>	<i>Pinus elliottii</i>	Mogno
Limite de resistência (kgf / cm ²)			
Madeira verde	763	489	821
Madeira a 15% de umidade	1000	710	924
Módulo de elasticidade (madeira verde)			
Módulo (kgf / cm ²)	112.500	65.900	92.200
Limite de proporcionalidade	329	201	483
Cisalhamento (madeira verde) kgf / cm ²	98	59	111
Dureza janka (madeira verde) kgf / cm ²	485	197	504
Tração normal fibras kgf / cm ²	64	31	61
Fendilhamento kgf / cm ²	8,1	4,2	7,1

Densidade (15% de umidade) g/cm ³	0,68	0,48	0,63
Contração radial (%)	4,80	3,40	3,20
Contração tangencial (%)	10,60	6,30	4,50
Contração volumétrica (%)	17,50	10,50	8,60
Coefficiente de retrabilidade volumétrica	0,497	0,39	0,39

(COSTA, 1996)

Segundo NAHUZ (2003), a tendência de substituição das madeiras de árvores nativas pela madeira de eucalipto já é visível em alguns pólos moveleiros como Linhares (ES), Ubá (MG) e Arapongas (PR), onde a madeira de eucalipto tem sido usada em estruturas de móveis de estofados. A madeira de eucalipto já se encontra no mercado de exportação, na forma de móveis de madeira certificada em cadeia de custódia. Exemplos são vistos nas exportações de São Bento do Sul (SC) e, ainda de forma incipiente, em Bento Gonçalves (RS).

Outra empresa com larga experiência no cultivo e processamento da madeira de eucalipto, é a CAF - Cia Agrícola e Florestal Santa Bárbara Ltda., uma empresa do conglomerado Belgo Mineira. Para atender às necessidades de carvão vegetal das unidades industriais de siderurgia do grupo, a CAF reflorestou uma extensa área de terras no Estado de Minas Gerais (cerca de 27 mil hectares) com *Eucalyptus spp*, nos municípios de Bom Despacho, Martinho Campos, Abaeté e Ibitira (CAF, 1997).

Segundo IASBIK (2003), a empresa conta com mais de 100.000 hectares de florestas de eucalipto e continua investindo na busca de tecnologias de produção e novos produtos. Em 1993, foram iniciados estudos voltados para a melhor utilização de florestas de eucalipto, o chamado "Uso Múltiplo das Florestas", que consiste na retirada da madeira da floresta para diversos usos de acordo com o seu crescimento ao longo do ciclo. Os estudos resultaram na implantação de uma "Unidade Piloto de Industrialização de Madeira", situada no município de Martinho Campos, MG. Inicialmente constituída de uma serraria projetada para produzir 800m³ de madeira serrada por mês, o processo produtivo passou por várias adaptações chegando a produzir até 1500m³/mês. Em 1996 iniciaram-se as pesquisas de secagem da madeira, juntamente com a Universidade de Hohenheim, pioneiro no Brasil, chamado de secagem solar, que terminaram em 1998, quando foram adquiridas duas câmaras com capacidade para 200m³ cada. Paralelo a isso iniciou-se uma linha de produtos tratados, onde a matéria prima é a madeira roliça em diversos diâmetros e que consiste na injeção do produto químico na madeira, através de vácuo e pressão, protegendo toda a camada permeável da peça. Sua utilização seria principalmente na área rural para cercas e currais e, também, para rede elétrica e de telefonia. Hoje, os produtos destas linhas são bem difundidos e aceitos no mercado de atuação da CAF.

Segundo CARRASCO (2003), a norma "Projetos em estruturas de madeira" NBR 7190/97 permite o uso amplo e irrestrito da madeira de eucalipto em projetos estruturais e na indústria da construção civil. Em diversos tipos de construções, como edifícios de um ou vários pavimentos, galpões e passarelas, postes e em várias etapas da mesma construção como fundação, estrutura de sustentação e coberturas, o eucalipto é utilizado com comprovada eficiência, podendo ser usado como toras ou madeira serrada ou, ainda, como matéria-prima para a fabricação de produtos industrializados (peças de madeira laminada colada, painéis etc). A utilização dos eucaliptos como MLC (madeira laminada colada) permite maior controle de qualidade das propriedades da madeira, além de maior versatilidade e variedade nas formas arquitetônicas, permitindo, ainda, fabricar peças contínuas com grandes vãos, facilitando a construção de edificações de vários andares.

Concluindo sua tese de caracterização da madeira de eucalipto para a construção civil, OLIVEIRA (1997) afirma que a madeira de eucalipto, de um modo geral, poderá ser utilizada na construção civil, nos mesmos usos conferidos às nativas. Acrescenta que a madeira de eucalipto, proveniente de idade mais avançada, poderá substituir as madeiras nativas tradicionais na construção civil, uma vez que estas tenham atingido o seu ponto de maturação, com produção de madeira com propriedades estáveis na maior parte de seu tronco. Um material tão complexo quanto a madeira do gênero *Eucalyptus* somente poderá ser utilizado em condições de igualdade com as madeiras tradicionais ou substituí-las, caso se tenha um conhecimento científico de suas características e propriedades, bem como as variações destas, que são peculiares a cada espécie, condições de crescimento e, principalmente, a idade de corte da árvore. Tendo em vista o potencial elevado do gênero *Eucalyptus*, na substituição de espécies nativas consagradas, considerando ainda a rapidez relativa de crescimento, é imprescindível a adoção de uma política sustentável de cultivo de espécies já estudadas e outras igualmente promissoras.

III . 3. COSTANEIRAS DE EUCALIPTO

De acordo com TEIXEIRA (2003) uma grande quantidade e variedade de resíduos florestais é gerada anualmente pelas diversas indústrias de base florestal. A maior parte dos resíduos gerados durante a colheita é ofertada a pequenos consumidores locais ou comercializada como combustível sólido. Folhas são geralmente deixadas nos campos para recomposição dos solos. Aqueles gerados dentro das indústrias, ou sejam: cascas de árvores, serragem, costaneiras, finos de polpa celulósica, constituem-se em matérias-primas estratégicas, considerando que os custos de transporte já foram pagos pelo processamento primário. Estes resíduos não têm sido aproveitados corretamente devido ao desconhecimento ou à inexistência de tecnologias disponíveis a serem prontamente transferidas. Assim sendo, os resíduos têm sido utilizados de forma menos valorizada, como na queima direta em sistemas de co-geração de energia. Através de uma melhor compreensão e proposição de alternativas ecologicamente corretas de utilização desses materiais lignocelulósicos, obtém-se uma expressiva agregação de valor aos processos produtivos convencionais e conseqüentes benefícios ao meio ambiente.

Segundo MACEDO (2004), o aproveitamento de resíduos da industrialização da madeira pode contribuir para a racionalização dos recursos florestais, bem como gerar uma alternativa econômica para as empresas que processam este material, aumentando a geração de renda e novos empregos. No segmento madeireiro, o aproveitamento de resíduos gerados pela extração e industrialização da madeira pode beneficiar desde indústrias de processamento primário até fábricas de móveis. Os resíduos de extração e industrialização de madeira são geralmente utilizados para conversão em energia através da queima, uso doméstico, produção de carvão e queima a céu aberto. Além do desperdício de recursos naturais e do impacto ao meio ambiente, estes usos tradicionais não levam em conta o potencial econômico destes materiais.

Segundo o Inventário Florestal Nacional (1982) lenha é o tipo de resíduo oriundo da indústria de base florestal com maior representatividade, correspondendo a 71% da totalidade dos resíduos. Por lenha, entendem-se resíduos como costaneiras, refilos, aparas, casca e outros. A serragem vem a seguir, correspondendo a 22% do total e, finalmente os cepilhos ou maravalhas, correspondendo a 7% do total. No setor moveleiro, a maior perda se dá no beneficiamento da madeira, chegando em alguns casos, ao extremo de até 80% de uma árvore desperdiçada entre o corte na floresta e a

fabricação do móvel. Utilizações mais criativas que agreguem valor a estes resíduos poderiam modificar esse panorama, produzindo uma nova demanda de produtos e serviços, gerando fonte de renda e geração de emprego (MACEDO, 2004).

Segundo PETRUCCI (1987), a produção das madeiras se inicia com o corte ou derrubada das árvores e prossegue, normalmente, com a toragem, o falquejo e o desdobro das peças. O corte deve ser realizado, preferencialmente, no inverno, pois nessa época a madeira seca mais lentamente, evitando o aparecimento de rachaduras. A toragem é o processo de desgalhar e dividir o tronco em toras de 5 a 6 metros para facilitar o transporte. Nesta oportunidade, as toras podem também se descascadas e descortiçadas. As toras são, então, transportadas para as serrarias, onde o processo de produção de peças de madeira bruta se inicia com o falquejo, que visa separar a madeira útil do resíduo. Nesta operação se processa a remoção das quatro costaneiras, tábuas com uma face plana e a outra curvilínea, onde se encontra o alburno e parte do cerne, e que é considerado resíduo. Apenas o cerne passa para a fase final de produção: o desdobro, onde a madeira é cortada em tábuas para ser comercializada.

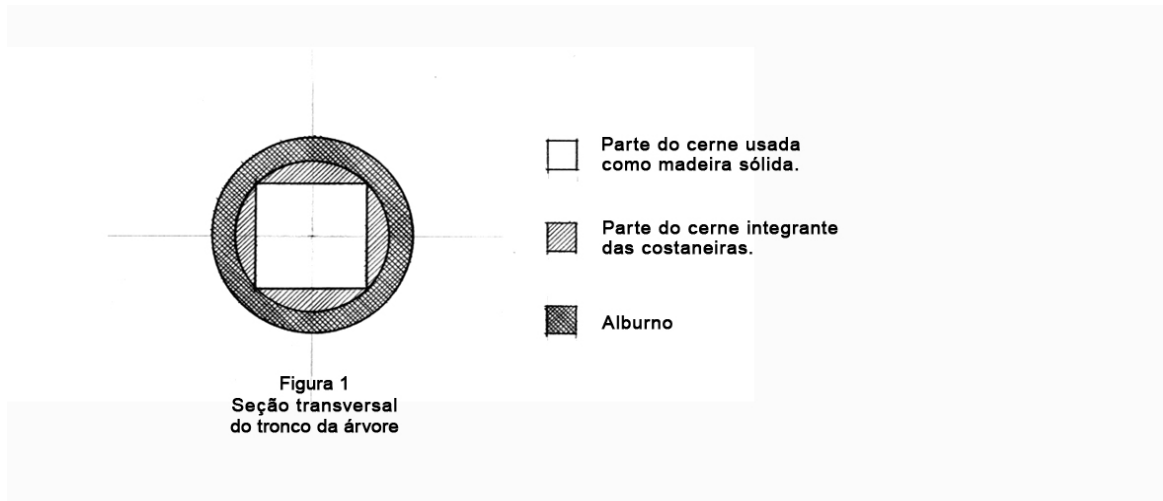


Figura III. 3 – Corte transversal no tronco da árvore

A eliminação do alburno no processo de industrialização da madeira se baseia em dois conceitos básicos: o alburno tem resistência mecânica inferior ao cerne e é mais vulnerável ao ataque de xilófagos.

Segundo BAUER (1988), é desaconselhável e antieconômica a prática do não aproveitamento racional das costaneiras, pois a proporção de alburno, que constitui a

maior parte das costaneiras, varia conforme a espécie de 25 a 50% do lenho. Essa prática é desaconselhável também do ponto de vista tecnológico, porque o alburno é a parte que melhor se deixa impregnar por produtos antideteriorantes nos processos de preservação da madeira, além de apresentar características mecânicas satisfatórias.

Artigo publicado pela REVISTA MADEIRA (2002) mostra pesquisa que avaliou a resistência natural das espécies algaroba, angico, cássia, craibeira, cumaru, pau-d'arco e pereio a cupins subterrâneos em ensaios de preferência alimentar. Entre outros resultados, observou-se que nas madeiras de algaroba e craibeira, a madeira proveniente do alburno foi menos atacada pelos cupins do que a oriunda do cerne, contrariando o citado por vários autores, que afirmam ser a madeira do alburno menos resistente ao ataque de xilófagos, quando comparada ao cerne. O mesmo artigo cita outra pesquisa, que testou cinco espécies de eucalipto e comprovou que o *E. saligna* e o *E. urophylla* sofreram um maior ataque de cupins nas regiões mais interiores do tronco.

ANGELI e STAPE, pesquisadores da ESALQ/USP, estudando a madeira *tectona grandis* (teca), concluíram que o alburno é estreito e claro, bem distinto do cerne, cuja cor é marrom viva e brilhante, é um material permeável, propriedade que facilita a aplicação de preservativos. Salienta que este tratamento somente é necessário quando a madeira ficar exposta ao tempo e que, ademais, o alburno possui todas as outras qualidades do cerne.

De acordo com PFEIL (1980), as madeiras de construção devem ser tiradas de preferência do cerne, mais durável. O alburno produz madeira imatura, não endurecida, mais sujeita à decomposição. Não existe, entretanto uma relação consistente entre as resistências dessas duas partes do tronco nas diversas espécies vegetais.

A densidade é uma das propriedades da madeira que fornece melhores informações a respeito dos potenciais empregos das diferentes espécies. Diversos autores têm considerado, que existe variação crescente da densidade no sentido medula / casca, acompanhada da correspondente variação das propriedades mecânicas. A consequência disso é a preferência pelo emprego exclusivo da madeira do cerne, em especial na indústria da construção civil.

NOGUEIRA *et al* (2000) realizaram estudo da parte lenhosa do tronco da árvore, ou seja, alburno e cerne distintamente, das espécies amescla (*Trattinickia burserifolia*) e figueira branca (*Ficus monckii*), com a determinação das respectivas densidades básica e aparente. O trabalho comprovou que a densidade básica, em ambas as espécies, aumenta na medida que se afasta da medula em direção ao alburno. Dando continuidade a este estudo, NOGUEIRA *et al* (2002) desenvolveram um trabalho cujo objetivo foi a investigação da variação da densidade da madeira no sentido medula casca, em duas espécies originárias da floresta tropical nativa do Estado do Mato Grosso: angelim pedra (*Andira anthelmia*) e farinha seca (*Albizia hasslerii*). Concluiu-se que a densidade básica foi crescente na direção medula-casca e a densidade aparente ficou aproximadamente constante na direção medula alburno para as espécies estudadas. Os resultados mostraram que não pode ser admitida a redução de densidade no sentido medula / casca, contrariando hipóteses até então consideradas adequadas por diversos pesquisadores. Como consequência, admite-se a possibilidade do emprego da madeira de todo o lenho, uma vez protegido o alburno contra a demanda biológica.

CAPÍTULO IV

MATERIAIS E MÉTODOS

O material usado neste estudo foi obtido de plantios comerciais da CAF - Companhia Agrícola e Florestal Santa Bárbara Ltda., empresa do conglomerado Belgo Mineira, oriunda do município de Martinho Campos, na região oeste do Estado de Minas Gerais. Para melhor utilização de seus plantios, a empresa utiliza o método chamado "Uso Múltiplo das Florestas", que consiste na retirada da madeira da floresta para diversos usos de acordo com o seu crescimento ao longo do ciclo.

As árvores usadas nesse estudo apresentavam dezessete anos, com desbaste aos sete anos, com as espécies *E. grandis* e *E. urophylla*.



Figura IV. 01

Troncos de eucalipto selecionados, antes do desdobro.

As toras selecionadas para este estudo foram transferidas para a serraria onde se deu início ao processo de desdobro, sendo retiradas as costaneiras que são o primeiro subproduto da linha e são normalmente comercializadas para a produção de ripa de cama ou usadas para queima de cerâmica.



Figura IV. 02

Desdobro –1º corte: retirada da costaneira:

Com o objetivo de se conseguir um material adequado para o estudo, foi selecionado um lote de 3m³ de costaneiras, com três metros de comprimento, retiradas de toras mais grossas e de qualidade superior (ausência de defeitos como tortuosidade e nós). O material selecionado foi empilhado, entabicado e levado para as estufas de secagem, onde permaneceu por 28 dias, sendo então transportado para galpões cobertos. Para medição de umidade foram coletadas quinze amostras do lote, que apresentou o valor médio de 13,66%.



Figura IV. 03

Lote de costaneiras selecionado para ensaios

O material foi transportado para Belo Horizonte e armazenado na marcenaria do CETEC - Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais, onde se iniciou a preparação das peças para retirada das amostras. Do lote de 3m³ foram selecionadas dezoito costaneiras, com dimensões adequadas para a produção dos corpos de prova. Vale ressaltar que, nesse estudo, cada peça de costaneira representa uma árvore.

Antes de iniciar o processo de amostragem propriamente dito, foram selecionadas sete costaneiras, das quais foram cortados três discos com 10cm de espessura, localizados na base, no meio e no topo da peça, totalizando 21 discos. Estes corpos de prova foram criados com a finalidade de estudar a dureza do material distintamente no cerne e alburno.



Figura IV. 4

Corpo de prova para ensaio de dureza, distintamente no cerne e alburno.

Em seguida, foram retiradas as duas extremidades laterais de cada costaneira, colocando a peça em condições de iniciar a retirada das amostras.



Figura IV. 5

Primeiro corte nas costaneiras para retirada das extremidades

Este material, foi transferido para o setor de testes físicos do CETEC, onde se iniciou o processo de fabricação dos corpos de prova, cujo dimensionamento seguiu a determinação da NBR 7190/97, anexo B. Apenas os corpos de prova para os ensaios de compressão paralela às fibras e flexão, foram dimensionados de acordo com a ASTM D143 97, para se adaptarem ao equipamento disponível no CETEC.

É importante salientar que a retirada dos corpos de prova teve que sofrer adaptações às dimensões atípicas do material. A metodologia adotada foi a seguinte: para cada ensaio, foram escolhidas aleatoriamente quatro árvores e foram retiradas três amostras de cada uma, totalizando doze corpos de prova para cada ensaio. Houve o cuidado de se retirar a amostra de modo que ela contivesse alburno e cerne, sempre que possível, em partes iguais.

A caracterização do lote de costaneiras de eucalipto foi feita através de ensaios que obedeceram às normas da NBR 7190/97 - Anexo B: Determinação das propriedades das madeiras para projeto de estruturas.

Os ensaios das propriedades físicas foram feitos com os seguintes equipamentos: Balança Analítica (160g) marca “Mettler”, modelo P163; Estufa de secagem e esterilização - circulação mecânica, marca “Fanem”, modelo 320-SE. Os ensaios de compressão normal às fibras foram realizados através de uma Máquina Universal de

Ensaio de 20tf – hidráulica, marca MFL, modelo UPD20. Os outros ensaios foram realizados numa Máquina Universal de Ensaio, com transdutor de força de 5kN, marca Instron, modelo 5869, gerenciada por um microcomputador. Todos esses ensaios foram realizados no Laboratório de Testes Físicos da Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais – CETEC, a saber:

1. Densidade básica e densidade aparente
2. Estabilidade dimensional: retração e inchamento
3. Resistência à compressão paralela às fibras
4. Resistência e rigidez à tração paralela às fibras
5. Resistência à tração normal às fibras
6. Resistência e rigidez à flexão
7. Resistência ao cisalhamento
8. Resistência ao fendilhamento
9. Dureza Janka

CAPÍTULO V

RESULTADOS DOS ENSAIOS

Os resultados obtidos nos ensaios serão apresentados neste capítulo em tabelas que incluem os seguintes itens:

- . Resultado do ensaio de cada corpo de prova
- . Média dos valores obtidos nas doze repetições
- . Valor característico, estimado pela expressão:

$$X_{wk} = \left[2 \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n - 1}{\frac{n}{2} - 1} - x_{\frac{n}{2}} \right] 1,1$$

onde os resultados devem ser colocados em ordem crescente $x_1 \leq x_2 \leq \dots \leq x_n$, desprezando-se o valor mais alto se o número dos corpos de prova for ímpar, não se tomando para X_{wk} valor inferior a x_1 , nem a 0,7 do valor médio (x_n). (NBR 7190/97)

Os resultados serão apresentados em Mpa para os valores das propriedades de resistência e elasticidade, em g/cm³ para valores de densidade e em porcentagem para os valores das retrações lineares e volumétricas.

V.1 . PROPRIEDADES FÍSICAS

Teor de umidade

Para determinação do teor de umidade do lote foram utilizados 12 corpos de prova de formato prismático com seção transversal retangular de 2,0cm x 3,0cm e de comprimento ao longo das fibras de 5,0cm e os procedimentos dos ensaios obedeceram às determinações da NBR 7190/97. O teor de umidade da madeira, que corresponde à relação entre a massa da água nela contida e a massa da madeira seca, foi calculada pela equação:

$$U\% = \frac{m_i - m_s}{m_s} \times 100 \quad \text{onde} \quad m_i \quad \text{é a massa inicial da madeira, em gramas}$$
$$m_s \quad \text{é a massa da madeira seca, em gramas}$$

Tabela V.1 – Resultados obtidos nos ensaios de teor de umidade

CP	Massa inicial(g)	Massa seca (g)	U %
1	25,175	22,093	13,95
2	25,406	22,308	13,88
3	28,179	24,980	12,80
4	28,196	25,052	12,54
5	27,300	24,440	11,70
6	27,074	24,195	11,89
7	27,293	24,200	12,78
8	26,242	23,411	12,09
9	26,650	23,689	12,49
10	26,507	23,576	12,43
11	23,291	20,829	11,82
12	23,985	21,331	12,44
Média	26,274	23,342	12,56

Após a determinação da umidade do lote, deu-se início aos demais ensaios.

Densidade Básica

Para determinação da densidade básica do lote de madeira em estudo foram utilizados 12 corpos de prova de formato prismático com seção transversal retangular de 2,0cm x 3,0cm e comprimento ao longo das fibras de 5,0cm e os procedimentos dos ensaios obedeceram as determinações da NBR 7190/97.

A densidade básica é definida como sendo a relação entre a massa seca e o volume saturado do corpo de prova, sendo dada pela equação:

$$\rho_{bas} = \frac{ms}{V_{sat}} \quad \text{onde: } ms = \text{massa seca de madeira, em quilogramas}$$

$$V_{sat} = \text{volume da madeira saturada, em m}^3$$

Tabela V.2 – Resultados obtidos nos ensaios de densidade básica

CP	Massa seca (g)	Volume Saturado (g)	Densidade Básica g / cm ³
1	22,093	31,322	0,705
2	22,308	31,711	0,703
3	24,980	31,881	0,783
4	25,052	32,139	0,779
5	24,440	32,075	0,762
6	24,195	31,815	0,760
7	24,200	30,056	0,781
8	23,411	31,087	0,738
9	23,689	32,537	0,727
10	23,576	32,574	0,723
11	20,829	30,371	0,685
12	21,331	30,969	0,688
Média	23,342	31,586	0,738

Densidade Aparente

Para determinação da densidade aparente do lote de madeira em estudo foram utilizados 12 corpos de prova de formato prismático com seção transversal retangular de 2,0cm x 3,0cm e comprimento ao longo das fibras de 5,0cm e os procedimentos dos ensaios obedeceram as determinações da NBR 7190/97.

A densidade aparente é definida como sendo a relação entre a massa e o volume dos corpos de prova, ambos com teor de umidade de 12%, sendo dada pela equação:

$$\rho_{ap} = \frac{m_{12}}{V_{12}}$$

onde: m^{12} = massa da madeira a 12% de umidade, em kg

V^{12} = volume da madeira a 12% de umidade, em m³

Tabela V.3 – Resultados obtidos nos ensaios de densidade aparente

CP	Massa 12%	Volume 12%	Densidade Aparente g/cm ³
1	25,175	29,286	0,8596
2	25,406	29,701	0,8553
3	28,179	29,573	0,952
4	28,196	29,559	0,953
5	27,300	29,320	0,931
6	27,074	29,375	0,921
7	27,293	29,370	0,929
8	26,242	29,806	0,880
9	26,650	29,672	0,898
10	26,507	29,721	0,891
11	23,291	27,892	0,835
12	23,985	28,677	0,836
Média	26,274	29,329	0,895

Estabilidade Dimensional

Para determinação da estabilidade dimensional do lote de madeira em estudo foram utilizados 12 corpos de prova de formato prismático com seção transversal retangular de 2,0cm x 3,0cm e comprimento ao longo das fibras de 5,0cm e os procedimentos dos ensaios obedeceram as determinações da NBR 7190/97.

A estabilidade dimensional da madeira é caracterizada pelas propriedades de retração e inchamento que devem ser determinadas nas três direções preferenciais, ou seja: 1.axial, 2.tangencial e 3. radial, em função das respectivas dimensões da madeira saturada e seca.

A retração é calculada pelas expressões:

$$\varepsilon_{r1} = \left(\frac{L_{1sat} - L_{1sec a}}{L_{1sat}} \right) \times 100$$

$$\varepsilon_{r2} = \left(\frac{L_{2sat} - L_{2sec a}}{L_{2sat}} \right) \times 100$$

$$\varepsilon_{r3} = \left(\frac{L_{3sat} - L_{3sec a}}{L_{3sat}} \right) \times 100$$

O inchamento é calculado pelas expressões:

$$\varepsilon_{i1} = \left(\frac{L_{1sat} - L_{1sec a}}{L_{1sec a}} \right) \times 100$$

$$\varepsilon_{i2} = \left(\frac{L_{2sat} - L_{2sec a}}{L_{2sec a}} \right) \times 100$$

$$\varepsilon_{i3} = \left(\frac{L_{3sat} - L_{3sec a}}{L_{3sec a}} \right) \times 100$$

Para determinação da variação volumétrica usam-se as dimensões dos corpos de prova nos estados saturado e seco, sendo usada a seguinte equação:

$$\Delta V = \frac{V_{sat} - V_{sec a}}{V_{sec a}} \times 100 \quad (\%)$$

$$\text{onde: } \begin{aligned} V_{sat} &= L_{1sat} \times L_{2sat} \times L_{3sat} \\ V_{sec a} &= L_{1sec a} \times L_{2sec a} \times L_{3sec a} \end{aligned}$$

Tabela V.4 – Resultados obtidos nos ensaios de estabilidade dimensional

CP	ε_{r1} (C) %	ε_{r2} (L) %	ε_{r3} (H) %	ε_{i1} (C) %	ε_{i2} (L) %	ε_{i3} (H) %	Var. vol. %
1	0,15	5,72	4,70	0,15	6,07	4,94	11,47
2	0,24	5,75	4,61	0,24	6,10	4,83	11,49
3	0,20	5,90	5,41	0,20	6,26	5,72	12,57
4	0,24	5,95	5,02	0,24	6,33	5,29	12,22
5	0,13	5,99	5,48	0,13	6,37	5,80	12,68
6	0,21	6,19	5,18	0,21	6,60	5,46	12,66
7	0,11	5,81	4,35	0,11	6,17	4,55	11,12
8	0,17	5,63	4,27	0,17	5,97	4,46	10,66
9	0,22	5,63	4,67	0,22	5,97	4,90	11,41
10	0,19	5,80	4,94	0,19	6,16	5,20	11,90
11	0,05	5,61	4,16	0,05	5,94	4,34	10,61
12	0,18	5,49	4,28	0,18	5,80	4,47	10,73
Média	0,17	5,79	4,76	0,17	6,14	5,00	11,63

V. 2. PROPRIEDADES MECÂNICAS

Resistência à Compressão Paralela às Fibras (f_{co})

O objetivo deste ensaio é a determinação da resistência à compressão paralela às fibras da madeira do, que é dada pela relação entre a carga máxima de compressão aplicada ao corpo de prova e a área inicial de sua seção transversal, sendo dada por:

$$f_{co} = \frac{F_{co\max}}{A} \quad \text{onde:}$$

$F_{co\max}$ é a máxima força de compressão aplicada ao corpo de prova durante o ensaio, em newtons;

A é a área inicial da seção transversal comprimida, em metros quadrados.

Para este ensaio foram utilizados 12 corpos de prova com seção transversal quadrada de 2,5cm de lado e 10,0cm de comprimento, dimensões estabelecidas pela ASTM/D143. Esta dimensão do corpo de prova foi adotada para se adequar ao equipamento disponível no laboratório do CETEC e é aceita pela NBR 9170/97, que norteou os procedimentos dos ensaios.



Figura V.1

Processo de ensaio
de compressão paralela às fibras



Figura V.2

Corpos de prova para ensaio de compressão
paralela às fibras

Tabela V.5 – Resultados obtidos nos ensaios de Compressão paralela às fibras

CP	f_{co} (MPa)
01	62,30
02	60,89
03	61,53
04	73,28
05	65,49
06	69,98
07	62,09
08	60,91
09	64,68
10	63,34
11	66,63
12	58,29
Média	64,11
Valor Característico	65,10

Resistência à Tração Paralela às Fibras (f_{to})

O objetivo deste ensaio é a determinação da resistência à tração paralela às fibras da madeira, que é dada pela relação entre a carga máxima de tração aplicada ao corpo de prova e a área inicial da seção transversal do trecho central do corpo de prova, sendo

dada por:
$$f_{to} = \frac{F_{to\ max}}{A} \quad \text{onde:}$$

$f_{to\ max}$ é a máxima força de tração aplicada ao corpo de prova durante o ensaio (N)

A é a área inicial da seção transversal tracionada do trecho central do corpo de prova (m²)

Foram utilizados 12 corpos de prova alongados com trecho central de seção transversal retangular, uniforme, com extremidades mais resistentes para se garantir a ruptura no trecho central, conforme a NBR 7190/97. Estes ensaios foram realizados nos laboratórios do Departamento de Estruturas da Universidade Federal de Minas Gerais (Máquina Emic DL30000N) e os procedimentos adotados obedeceram as normas estabelecidas pela NBR 7190/97.

Tabela V.6 – Resultados obtidos nos ensaios de tração paralela às fibras

CP	f_{to} (MPa)
01	123,60
02	106,56
03	111,13
04	84,44
05	98,58
06	88,78
07	103,45
08	94,20
09	140,62
10	109,24
11	110,12
12	98,28
Média	105,75
Valor Característico	90,48

Resistência à Tração Normal às Fibras (f_{t90})

O objetivo deste ensaio é a determinação da resistência à tração normal às fibras da madeira, que é dada pela máxima tensão de tração que pode atuar em um corpo de prova alongado com trecho central de seção transversal uniforme de área A e comprimento não menor que $2,5\sqrt{A}$, com extremidades mais resistentes que o trecho central e com concordâncias que garantam a ruptura no trecho central, sendo dada por:

$$f_{t90} = \frac{F_{t90\max}}{A_{t90}} \quad \text{onde}$$

f_{t90} é a máxima força de tração normal aplicada ao corpo de prova, em newtons

A_{t90} é a área inicial da seção transversal tracionada do trecho alongado do CP, em m^2 .

Os procedimentos adotados nos ensaios, assim como as dimensões dos corpos de prova, obedeceram as normas estabelecidas pela NBR 7190/97.

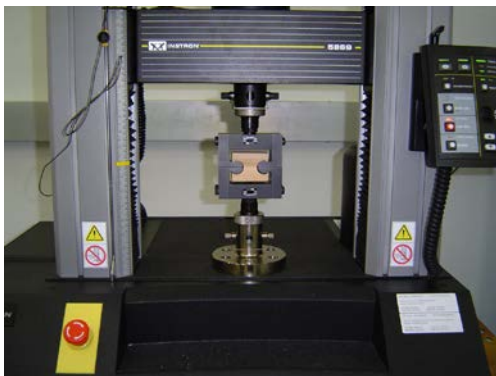


Figura V.3

Processo de ensaio de resistência à tração normal às fibras



Figura V.4

Corpos de prova antes e após ensaios

Tabela V.7 – Resultados obtidos nos ensaios de tração normal às fibras

CP	f_{t90} (MPa)
01	3,83
02	5,32
03	3,67
04	2,62
05	2,41
06	2,19
07	4,35
08	4,27
09	5,39
10	4,05
11	7,24
12	3,80
Média	4,10
Valor Característico	2,24

Resistência ao Cisalhamento (f_{vo})

O objetivo deste ensaio é a determinação da resistência ao cisalhamento paralelo às fibras da madeira do lote em estudo, que é dada pela relação entre a carga máxima de cisalhamento aplicada ao corpo de prova e a área inicial da seção crítica do corpo de prova, fabricado com o plano da seção crítica paralelo à direção radial da madeira, sendo dada por:

$$f_{vo} = \frac{F_{vo\max}}{A_{vo}} \quad \text{onde:}$$

$f_{vo\max}$ é a máxima força cisalhante aplicada ao corpo de prova, em newtons;

A_{vo} é a área inicial da seção crítica do corpo de prova, em um plano paralelo às fibras, em m².

As dimensões dos corpos de prova e os procedimentos adotados nos ensaios obedeceram as normas estabelecidas pela NBR 7190/97.



Figura V. 5

Processo de ensaio de resistência ao cisalhamento



Figura V. 6

Corpos de prova após ensaio de resistência ao cisalhamento

Tabela V.8 – Resultados obtidos nos ensaios de resistência ao cisalhamento

CP	f_{vo} (MPa)
01	23,09
02	25,15
03	10,30
04	08,90
05	10,50
06	07,50
07	16,10
08	10,40
09	14,70
10	10,80
11	09,60
12	09,70
Média	13,06
Valor Característico	08,80

Resistência ao Fendilhamento (f_{so})

O objetivo deste ensaio é a determinação da resistência ao fendilhamento paralelo às fibras da madeira, que é dada pela relação entre a carga máxima aplicada ao corpo de prova e a área crítica da seção transversal do mesmo, sendo dada por:

$$f_{so} = \frac{F_{so\max}}{A_{so}} \quad \text{onde:}$$

f_{so} é a máxima força aplicada ao corpo de prova, em newtons;

A_{so} é a área crítica da seção transversal do corpo de prova, resistente ao fendilhamento, metros quadrados. em

As dimensões deste e os procedimentos adotados nos ensaios obedeceram as normas estabelecidas pela NBR 7190/97.



Figura V.7

Processo de ensaio de resistência
ao fendilhamento



Figura V.8

Corpos de prova para ensaio de
resistência ao fendilhamento

Tabela V.9 – Resultados obtidos nos ensaios de resistência ao fendilhamento

CP	f_{so} (MPa)
01	0,70
02	0,63
03	0,75
04	0,52
05	0,59
06	0,72
07	0,73
08	0,72
09	0,52
10	0,53
11	0,98
12	0,69
Média	0,67
Valor Característico	0,52

Resistência à Flexão (f_M)

O objetivo deste ensaio é a determinação da resistência e da rigidez da madeira à flexão. A resistência da madeira à flexão é um valor convencional, dado pela máxima tensão que pode atuar em um corpo de prova no ensaio de flexão simples, calculado com a hipótese de a madeira ser um material elástico, sendo dada por:

$$f_M = \frac{M_{\max}}{W_e} \quad \text{onde:}$$

M_{\max} é o máximo momento aplicado ao corpo de prova, em newtons-metro;

W_e é o módulo de resistência elástico da seção transversal do corpo de prova, dado por $bh^2/6$, em metros cúbicos.

A rigidez da madeira à flexão é caracterizada pelo módulo de elasticidade, e foi determinada de acordo com procedimentos estabelecidos pela NBR 7190/97. Para se adaptar ao equipamento disponível nos laboratórios do CETEC, foram utilizados corpos de prova com seção transversal de 5,0cm de lado e 76cm de comprimento, dimensões estabelecidas pela ASTM/D 143.



Figura V.9

Processo de ensaio de resistência
à flexão



Figura V.10

Corpos de prova para ensaio de resistência
à flexão

Tabela V.10 – resultados obtidos nos ensaios de resistência à flexão

CP	f_M (MPa)	E_{MO} (MPa)
01	108,69	14250
02	99,80	15413
03	100,55	11907
04	115,95	14658
05	109,72	15567
06	97,21	13946
07	118,96	14849
08	90,79	12180
09	90,81	10728
10	104,82	13963
11	98,87	11519
12	110,33	13195
Média	103,87	13498
Valor Característico	99,48	

Determinação da Dureza (f_H)

O objetivo deste ensaio é a determinação da dureza da madeira, pelo método Janka, que é determinado convencionalmente pela tensão que atua em uma das faces de um corpo de prova prismático, produzindo a penetração de uma semi-esfera de aço com área diametral de 1 cm², sendo dada por:

$$f_H = \frac{F_{\max}}{A_{\text{seçãodiametral}}} \quad \text{onde:}$$

F_{\max} é a máxima força aplicada ao CP necessária à penetração de uma semi esfera de seção diametral com 1 cm² de área, na profundidade igual ao seu raio, em N;

$A_{\text{seçãodiametral}}$ é a área da seção diametral da esfera, igual a 1cm², em cm².

Para este ensaio foram utilizados 12 corpos de prova com seção transversal quadrada de 5,0cm e 15,0cm de comprimento, ao longo das fibras. O ensaio foi realizado nas direções paralela e normal às fibras da madeira, com carregamento monotônico crescente aplicado até que a esfera penetrasse a uma profundidade igual ao seu raio, em um período de, pelo menos, 1 minuto, procedimentos esses normalizados pela NBR 7190/97. Os ensaios de dureza na direção normal às fibras foram feitos distintamente no cerne e no alburno do corpo de prova.



Figura V.11

Processo de ensaio de dureza

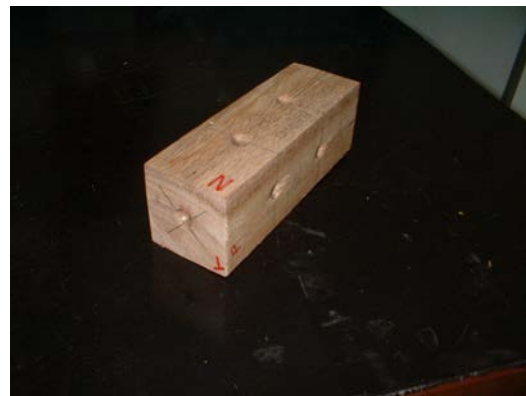


Figura V.12

Corpo de prova após submetido a ensaio de dureza

Tabela V.11 – Resultados obtidos nos ensaios de dureza

CP	f_{ho} (MPa)	f_{h90} (MPa)	f_{h90} (MPa)
		cerne	alburno
01	82,98	98,18	87,00
02	81,17	75,84	83,28
03	89,45	79,20	84,54
04	87,72	95,60	80,36
05	96,29	95,83	88,14
06	92,01	98,09	84,45
07	75,19	70,66	83,49
08	63,88	75,71	72,34
09	90,00	70,96	71,49
10	92,79	99,60	92,75
11	75,38	66,88	67,76
12	86,84	86,06	83,91
Média	84,47	84,38	81,62
Valor Característico	71,06	71,30	73,26

Determinação da dureza paralela às fibras, distintamente no cerne e alburno

Ensaio introduzido com o objetivo de estudar a dureza paralela às fibras, distintamente no cerne e alburno da costaneira. Para isso foi criado um corpo de prova atípico: um disco cortado transversalmente da peça de costaneira. Como descrito anteriormente, das sete árvores selecionadas foram retirados de cada uma três discos (base, meio e topo da peça), totalizando 21 discos. Foram feitas duas perfurações no alburno e quatro perfurações no cerne de cada disco, totalizando 42 perfurações no alburno e 84 no cerne.



Figura V.13

Processo de ensaio de dureza
no disco de costaneira



Figura V.14

Corpos de prova antes e após ensaio

Tabela V.12 – Resultados obtidos nos ensaios de dureza paralela às fibras, distintamente no cerne e alburno

Posição	f_{ho} (MPa)	f_{ho} (MPa)
CP	alburno	cerne
base	77,70	118,52
meio	91,62	124,21
topo	88,81	132,56
média	86,04	125,09

Os resultados constantes na tabela em base, meio e topo, se referem à média dos resultados obtidos em cada uma das sete peças, nas três posições citadas.

CAPÍTULO VI ANÁLISE DOS RESULTADOS / CONCLUSÕES

Neste capítulo serão apresentados procedimentos para conduzir a análise dos resultados obtidos nos ensaios, objetivando indicar os empregos compatíveis com as propriedades do material em estudo.

Os resultados serão analisados através de estudo comparativo com dados da literatura existente.

VI. 1. Estudo comparativo dos resultados obtidos com a tabela de classes de resistência das dicotiledôneas

Inicialmente far-se-á a comparação dos resultados obtidos com a tabela de classes de resistência das dicotiledôneas, item 6.3.5. da NBR 7190/97, onde a espécie é classificada em quatro níveis de resistência, a saber:

Tabela VI. 1 – Tabela de classes de resistência das dicotiledôneas

Classes	f_{cok} (MPa)	f_{vk} (MPa)	$E_{co.m}$ (MPa)	$\rho_{bas.m}$ g/cm ³	$\rho_{aparente}$ g/cm ³
C 20	20	4	9500	0,50	0,65
C 30	30	5	14500	0,65	0,80
C 40	40	6	19500	0,75	0,95
C 60	60	8	24500	0,80	1,00

Fonte: NBR 7190/97

Os resultados obtidos nos ensaios de densidade básica e densidade aparente apresentaram respectivamente os valores médios de $0,73\text{g/cm}^3$ e $0,89\text{g/cm}^3$. Ambos os valores qualificam o material entre as classes C 30 e C 40.

Analisando as propriedades mecânicas, os resultados de compressão paralela às fibras (f_{co}), apresentaram valores de $64,11\text{ MPa}$, se enquadrando na classe C 60. Para a resistência ao cisalhamento (f_{vo}), o material em estudo apresenta valor superior ao valor de referência para a classe C 60: $13,06\text{ MPa}$. Os ensaios de rigidez na de flexão (E_{MO}), apresentam um valor de 13498 MPa , colocando o material em estudo entre as classes C 20 e C 30.

De acordo com os parâmetros da norma brasileira, as costaneiras de eucalipto em estudo se colocam na classe superior para as propriedades de resistência à compressão paralela às fibras (f_{co}) e cisalhamento (f_{vo}), na classe inferior para o módulo de elasticidade na flexão (E_{MO}) e na classe intermediária, no que se refere às densidades básica ($\rho_{bas.m}$) e aparente ($\rho_{aparente}$).

VI. 2. Estudo comparativo dos resultados obtidos com resultados de outros estudos realizados com o cerne da madeira de eucalipto

Utilizou-se dados obtidos pelos seguintes estudos: NOGUEIRA (1991); SILVA (2002); OLIVEIRA (1997) e RODRIGUES (2002), para análise comparativa.

Tabela VI. 2 – Propriedades Físicas

Material	Dens. Bas. g/cm ³	Dens. Ap. g/cm ³	Ret.Radial (%)	Ret.Tang. (%)	Ret. Axial (%)	Var. Vol. (%)
Costaneiras Eucalipto	0,73	0,89	4,76	5,79	0,16	11,63
E.grandis NOGUEIRA	0,50	0,63	6,20	9,15	0,87	
E.urophylla NOGUEIRA	0,57	0,74	5,93	9,28	0,78	
E.grandis SILVA	0,47	0,60	6,72	13,14	0,32	
E.grandis OLIVEIRA	0,46	0,55	5,00	10,10	0,40	15,90
E.urophylla OLIVEIRA	0,52	0,67	7,90	15,30	0,30	
Eucalipto RODRIGUES	0,66	0,73				

Tabela VI. 3 – Propriedades Mecânicas

Material	f_{co} (MPa)	f_{to} (MPa)	f_{t90} (MPa)	f_{vo} (MPa)	f_{so} (MPa)	f_M (MPa)	f_{ho} (MPa)	f_{h90} (MPa)	E_{MO} (MPa)
Costaneiras Eucalipto	64,11	108,40	4,10	13,06	0,67	103,87	84,47	83,00	13498
E.grandis NOGUEIRA	40,10	70,30	3,00	11,60	0,66	71,90	40,70	48,40	12086
E.urophylla NOGUEIRA	46,00	84,20	4,20	13,90	0,87	87,70	57,30	64,30	13416
E.grandis SILVA						97,90			14912
Eucalipto RODRIGUES	68,63			13,39		127,69			19224

Os resultados dos ensaios de densidade básica ($\rho_{bas.m}$) e densidade aparente ($\rho_{aparente}$) (tabela VI.2), relativos às amostras de costaneiras mostram-se superiores aos encontrados na literatura relacionados ao cerne dos eucaliptos. A maior densidade encontrada nas costaneiras, material tido anteriormente como de baixa qualidade estrutural, provavelmente se comportaria, pelo menos nesta característica, como uma madeira com resistência suficiente para ser utilizada como madeira serrada.

Os resultados dos ensaios de retratibilidade (tabela VI .2), apresentaram valores mais baixos que os encontrados na literatura, principalmente nas retrações tangencial e axial, o que nos leva a crer que as costaneiras poderão ser um material mais estável que o cerne das madeiras de eucalipto.

Os resultados da tabela VI.3, evidenciam que, com exceção da dureza (f_{ho}, f_{h90}), todas as outras propriedades mecânicas das costaneiras de eucalipto são equivalentes aos valores encontrados na literatura referentes ao cerne dos eucaliptos, o que nos a crer que este material poderá ser utilizado da mesma maneira que se usa a madeira de eucalipto existente no mercado.

Uma vez que as amostras das costaneiras apresentaram maiores valores referentes à densidade, era de se esperar que a dureza acompanhasse essa tendência.

Numa tentativa de se pesquisar a variação da dureza somente nas costaneiras, ficou evidente que, a mesma é maior no cerne da costaneira do que no alburno. Isto é evidente nas tabelas V.11 e V.12.

VI. 3. Estudo comparativo dos resultados obtidos com os critérios para classificação das madeiras, propostos por SALLENAVE E NAHUZ

As tabelas VI.4 a VI .8 apresentam os critérios para classificação de madeiras segundo SALLENAVE (1955, 1964, 1971), NAHUZ (1974) e ainda segundo tabelas do LaMEM - Laboratório de Madeiras e de Estruturas de Madeiras, da Escola de Engenharia de São Carlos / USP. Segundo SALLENAVE, a classificação das madeiras pode ser feita através da análise das propriedades físicas e mecânicas, obedecendo a prescrições contidas nos métodos de ensaio da Association Française de Normalization (AFNOR). O objetivo do trabalho de NAHUZ foi estudar madeiras existentes no norte do Brasil. Neste estudo propôs vários critérios para fazer a sua classificação final, com base em parâmetros de resistência, durabilidade, tratamentos preservativos e usos previstos. (NOGUEIRA, 1991)

Tabela VI. 4. Classificação das propriedades de resistência e rigidez das madeiras

Propriedades	Fraca (MPa)	Média (MPa)	Forte (MPa)
Resistência à compressão paralela às fibras	até 45	45,1 a 75	acima de 75,1
Resistência à tração paralela às fibras	até 75	75,1 a 100	• acima de 100,1
Resistência à tração perpendicular às fibras	1,0 a 2,5	2,5 a 4,5	4,5 a 6,5
Resistência ao cisalhamento	5,0 a 7,0	7,1 a 10,0	10,1 a 16
Resistência ao fendilhamento	até 1,5	1,6 a 3,0	acima de 3,1
Resistência à flexão	até 110	110,1 a 180	acima de 180
Módulo de elasticidade na tração paralela às fibras	até 16000	16000 a 20000	• acima de 20000

Fonte: NOGUEIRA (1991)

Tabela VI. 5. Classificação da densidade das madeiras

Classe	Densidade (g/cm³)
Muito leve	abaixo de 0,500
Leve	0,500 a 0,649
Semi pesadas	0,650 a 0,790
Pesadas	0,800 a 0,950
Muito pesadas	acima de 0,951

Fonte: NOGUEIRA (1991)

Tabela VI. 6. Classificação da retratibilidade das madeiras

Classe	Retratibilidade %		
	radial	tangencial	volumétrica
Fraca contração	abaixo de 4	abaixo de 7	abaixo de 10
Média contração	5 a 7	8 a 11	11 a 15
Forte contração	acima de 8	acima de 12	acima de 16

Fonte: NOGUEIRA (1991)

Tabela VI. 7. Classificação da dureza das madeiras

Classe	SALLENAVE	NAHUZ
	Dureza normal às fibras (Mpa)	Dureza paralela às fibras (Mpa)
Muito brandas	2,7 a 20,4	abaixo de 10,0
Brandas	20,5 a 40,9	10 a 40
Semi duras	41,0 a 81,7	40 a 90
Duras	81,8 a 122,6	90 a 140
Muito duras	122,7 a 272,4	acima de 140

Fonte: NOGUEIRA (1991)

Tabela VI. 8. Qualificação da madeira para usos específicos, em relação à dureza normal às fibras

Cota de dureza (Mpa)	Qualificação	Tipo de comparação
40,8 a 81,7	pequena	Madeira de carpintaria
81,7 a 122,6	normal	Madeira industrial
122,6 a 163,4	forte	Madeira p/ usos especiais

Fonte: NOGUEIRA (1991)

A cota de dureza é obtida através da fórmula:

$$CD = \frac{Rdn}{(D_{12})^2} \quad \text{onde} \quad CD = \text{cota de dureza}$$

Rdn = dureza JANKA normal às fibras em daN

D_{12} = densidade aparente em umidade a 12%, em g/cm³

Comparando os resultados obtidos nos ensaios com as tabelas acima, podemos concluir que as amostras analisadas das costaneiras de eucalipto podem ser assim classificadas:

Tabela VI. 9 – Classificação das costaneiras de eucalipto

Propriedades	Fraca	Média	Forte
Resistência à compressão paralela às fibras		X	
Resistência à tração paralela às fibras			X
Resistência à tração perpendicular às fibras		X	
Resistência ao cisalhamento			X
Resistência ao fendilhamento	X		
Resistência à flexão	X		
Dureza paralela às fibras			dura
Dureza normal às fibras		semi dura	
Densidade			pesada
Retração radial		X	
Retração tangencial	X		
Variação volumétrica		X	

Aplicando-se a fórmula da cota de dureza aos valores obtidos nos ensaios com as costaneiras, obtemos o valor de 104,8Mpa, donde se conclui que o material poderá ser classificado, em relação à dureza normal às fibras, como madeira normal e industrial.

O trabalho apresentado pela SUDAM/IPT (1981) apresenta os requisitos técnicos necessários para aplicação das madeiras na construção civil. De acordo com o mesmo, os resultados da tabela VI.9 nos permitem concluir que a madeira das costaneiras de eucalipto poderia ser usada para construção civil leve, ou seja:

- Decorativa: lambris, painéis, molduras, perfilados e guarnições.
- Utilidade geral: cordões, forros, guarnições, rodapés.
- Estrutural: vigas, caibros, ripas.

Os requisitos técnicos necessários para essas aplicações na construção civil são similares aos requisitos necessários para a construção de móveis, donde podemos concluir que a madeira das costaneiras de eucalipto poderá ser usada na indústria moveleira.

VI. 4. Estudo comparativo dos resultados obtidos com classificação de madeiras de espécies tradicionais

Finalmente vamos comparar a classificação das costaneiras de eucalipto com quatro espécies tradicionais, de qualidade consolidada no comércio madeireiro, com amplo uso na indústria moveleira, ou seja: cedro, mogno, peroba rosa e pinho do Paraná.

Tabela VI. 10 – Classificação das madeiras Cedro, Mogno, Peroba rosa, Pinho do Paraná e costaneiras de eucalipto.

Madeira	Densidade	Contração Volumétrica	Módulo de Elasticidade na flexão	Resistência à flexão	Resistência à compressão paralela	Resistência ao cisalhamento	Dureza
Cedro	média	média	muito fraca	fraca	média	baixa	branda
Mogno	média	média	fraca	média	média	média	dura
Peroba Rosa	pesada	média	fraca	média	forte	média	dura
Pinho	média	média	fraca	média	média	baixa	branda
Costaneiras	pesada	média	fraca	fraca	média	forte	dura

Fonte: OLIVEIRA (1997) apud MAINIERI; CHIMELO (1989)

A tabela acima mostra que a madeira das costaneiras de eucalipto apresenta propriedades físicas e mecânicas semelhantes às das madeiras citadas.

Portanto, cumprindo o objetivo principal deste projeto: "realizar estudo das propriedades físicas e mecânicas das costaneiras da madeira de eucalipto, visando sua adequação como matéria prima para uso na indústria moveleira", concluímos que:

- 1) No que se refere à densidade, as costaneiras de eucalipto se apresentam como uma madeira mais pesada que o cedro, o mogno e o pinho, mas apresenta a mesma classificação da peroba rosa.
- 2) Quanto ao módulo de elasticidade na flexão (E_{MO}), as costaneiras de eucalipto se comparam ao mogno, à peroba rosa e ao pinho, além de ter rigidez superior ao cedro, nesta propriedade.
- 3) A fraca resistência à flexão (f_{co}) não apresenta total impedimento à sua utilização em construção de móveis, visto que o cedro, que apresenta a mesma classificação nesta propriedade, é amplamente utilizado na indústria moveleira.
- 4) A forte resistência ao cisalhamento (f_{vo}) coloca a madeira das costaneiras de eucalipto em posição favorável em relação às madeiras citadas.
- 5) Os altos valores de dureza (f_{ho}, f_{h90}) obtidos nos ensaios, não chegam a comprometer a utilização das costaneiras de eucalipto na fabricação de móveis, visto que também o mogno e a peroba rosa apresentem altos valores nessa propriedade, e são largamente utilizados na indústria moveleira.

Do ponto de vista do design, é importante ressaltar aqui o valor estético das costaneiras: contendo cerne e alburno em uma só peça, o material apresenta duas tonalidades, visual inédito nas madeiras usadas normalmente na Indústria moveleira, característica que pode agregar valor ao produto.

Sugestões para trabalhos futuros

Para uso efetivo desse material seria importante proceder aos seguintes estudos:

- 1) Biodeterioração das costaneiras.
- 2) Técnicas de desdobro das costaneiras para uso como madeira serrada.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. Projeto de Estruturas de Madeira. NBR - 7190. Rio de Janeiro, 1997. 107p.

ALMEIDA, A .C. e SOARES, J. V. Comparação entre Uso de Água em Plantações de *Eucalyptus grandis* e Floresta Ombrófila Densa (Mata Atlântica) na Costa Leste do Brasil. Rev. Árvore, Vol.27, nº 02, mar/abr 2003, p. 159-170.

ASSIS, J.B. Base Florestal de Minas Gerais. In: II Seminário de Produtos Sólidos de Madeira de Eucalipto - II MADETEC, 2003, Belo Horizonte, Minas Gerais. Anais...2003. p.32-53.

AZEVEDO, T.R. Cadeias Produtivas e um Prognóstico do Setor Florestal no Brasil, In: II Seminário de Produtos Sólidas de Madeira de Eucalipto - II MADETEC, 2003, Belo Horizonte, Minas Gerais. Anais... 2003. p. 1-11.

BAUER, C.A.F. Materiais de Construção 2. 3ª Edição. Rio de Janeiro: LTC - Livros técnicos e científicos, 1988.

CAF SANTA BÁRBARA LTDA. Impactos advindos da implantação da serraria de *Eucalyptus* na sócio economia regional e prognóstico da situação emergente. Setembro 1997.

CARRASCO, E.V.M. e MOREIRA, L.E. Uso da Madeira de Eucalipto em Projetos Construtivos. In: II Seminário de Produtos Sólidos de Madeira de Eucalipto - II MADETEC, 2003, Belo Horizonte, Minas Gerais. Anais... 2003. p.105-129.

CARRASCO, E.V.M. Estruturas Usuais de Madeira. Belo Horizonte: Escola de Engenharia, UFMG, 2004.

DE PAULA, J.J.F. Materiais de Construção - Madeiras. Belo Horizonte: Escola de Engenharia, UFMG, 1960.

FOLZ, R. R. Mobiliário na Habitação Popular. São Paulo: Ed. Rima, 2003.

GALENO, R. A. Eucalipto, problema ou solução? Revista Encontro Rural, junho 2004, pg. 34.

GUERRA, C. B. Meio Ambiente e Trabalho no Mundo do Eucalipto. 2ª Edição. Belo Horizonte: Associação Agencia Terra, 1995.

HELLMEISTER, J.C. Madeira e suas características. In: Encontro Brasileiro em Madeiras e Estruturas de Madeira, I EBRAMEM, 1983. São Carlos/ SP. Anais...1983. p.1-35.

IASBIK, P.F. Processamento da Madeira de Eucalipto - Uma Experiência CAF. In: II Seminário de Produtos Sólidos de Madeira de Eucalipto - II MADETEC, 2003, Belo Horizonte, Minas Gerais. Anais...2003. p. 71-80.

LIMA, W. P. Os Reflorestamentos com Eucalipto e seus Impactos Ambientais. São Paulo: Editora Artpress, 1987.

LIMA, C.E.O.N. Estratégias e Prioridades para o Desenvolvimento Sustentável de Minas Gerais. In: II Seminário de Produtos Sólidos de Madeira de Eucalipto - II MADETEC, 2003, Belo Horizonte, Minas Gerais. Anais...2003. p.12-17.

MACEDO, M. Quantificação e Qualificação de Resíduos e Modelagem de Sistemas Tecnológicos para o Aumento da Competitividade da Cadeia de Madeira e Móveis. Paraná, 2004. Disponível em: www.ibpqr.org.br/projetos/MADRES. Acesso em: 10/03/04.

NAHUZ, M.A.R. Produtos de Maior Valor Agregado: Novos Produtos. Novos Mercados. In: II Seminário de Produtos Sólidos de Madeira de Eucalipto - II MADETEC, 2003, Belo Horizonte, Minas Gerais. Anais...2003. p.143-155.

NOGUEIRA, M.M.J.A. Indicações para o emprego de dezesseis espécies de eucalipto na construção civil. 1991. 116f. Dissertação de Mestrado. Escola de Engenharia de São Carlos. Departamento de Arquitetura e Planejamento/USP/SP, 1991.

NOGUEIRA, M.C.J.A.; NOGUEIRA J.S.; GOMIDE L.C. e GOUVÊIA H.E. Caracterização física para cerne e alburno distintamente na madeira da região. In: Encontro Brasileiro de Madeiras e Estruturas de Madeira, VII EBRAMEM, 2000, São Carlos/SP. Anais, São Carlos, USP – EESC – LaMEM, 2000.

NOGUEIRA, M.C.J.A. ; NOGUEIRA J.S. e LAHR F.A.R. Variação da densidade no sentido medula-alburno. In: Encontro Brasileiro de Madeiras e Estruturas de Madeiras, VIII EBRAMEM, 2002, Uberlândia/MG. Anais, São Carlos, USP – EESC – LaMEM, 2002.

OLIVEIRA, J.T.S. Caracterização da Madeira de Eucalipto para a Construção Civil. 1997. 429f. Tese (Doutorado Engenharia de Construção Civil e Urbana). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Construção Civil/USP/SP, 1997.

OLIVEIRA, J.T.S. Problemas e Oportunidades com a Utilização da Madeira de Eucalipto. In: Workshop - Técnicas de Abate, Processamento e Utilização da Madeira de Eucalipto, 1999, Viçosa, Minas Gerais. Anais... 1999, p.39-52.

PFEIL, W. Estruturas de Madeira. Rio de Janeiro: LTC - Livros Técnicos e Científicos, 1980.

PETRUCCI, E.G.R. Materiais de Construção. São Paulo: Globo, 1987.

PATTON, W.J. Materiais de Construção para Engenharia Civil. São Paulo: EPU, USP, 1978.

PONCE, R.H. Madeira Serrada de Eucalipto: Desafios e Perspectivas. In: Seminário Internacional de Utilização da Madeira de Eucalipto para Serraria, 1995, São Paulo, SP. Anais...1995. p. 50-58.

REIS, A. A . Estudo do Comportamento de Amostras de Eucalyptus grandis Tratadas pelo Processo Sol-Gel Direcionado para aplicação em Design Industrial. 1998. 95f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Materiais) - REDEMAT/ UFOP, Ouro Preto, 1998.

ROCCO L. et al. Comparação entre o Cerne e o Alburno de Madeira Tropical. Revista Agricultura Tropical, UFMT, v.05, dezembro 2001. Disponível em: www.ufmt.br. Acesso em 13 10.03.

RODRIGUES, A . D. Variabilidade das propriedades físico-mecânicas em lotes de madeira serrada de eucalipto para construção civil. 2002. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Madeiras) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, USP, 2002.

ROSE, R. O Mecanismo de Desenvolvimento Limpo e o Reflorestamento. Disponível em: www.nossomeio.com.br/preservação. Acesso em 31.10.2003.

SCHARF, R. Falta madeira na terra do Pau Brasil. Revista Galileu, Ed. Globo, nº 42, maio 2003, pág. 55.

SCOLFORO, J. R. Eucalipto, meio ambiente e gente: uma receita de sucesso. Jornal Estado de Minas, Suplemento Agropecuário, 09.02.2004, pág. 2.

SILVA, J. C. Caracterização da Madeira de Eucalyptus grandis Hill ex. Maiden, de Diferentes Idades, Visando sua Utilização na Indústria Moveleira. 2002. 160 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Setor de Ciências Agrárias /UFPR, Curitiba, 2002.

SILVA, J.C. A Madeira de Eucalipto para a Produção de Móveis. In: II Seminário de Produtos Sólidos de Madeira de Eucalipto - II MADETEC, 2003, Belo Horizonte, Minas Gerais. Anais...2003. p. 175-190.

SILVA, J.C. Vantagens Comparativas e Competitivas da Madeira de Eucalipto. Viçosa, Minas Gerais, 2003. Disponível em: amda.org.br. Acesso em: 20/10/03

SILVA, J.C. Impactos Ambientais. Revista da Madeira Especial : Eucalipto a Madeira do Futuro. Curitiba, PR, p. 24 -29, setembro, 2001.

TEIXEIRA, L.C. Resíduos Florestais: Tecnologias Disponíveis e suas Tendências de Uso. In: II Seminário de Produtos Sólidos de Madeira de Eucalipto - II MADETEC, 2003, Belo Horizonte, Minas Gerais. Anais...2003. p. 191-203.

REVISTA MADEIRA. Estudo avalia resistência de madeira a cupins.Revista Madeira, nº 67, outubro, 2002. Disponível em: www.redema.com.br. Acesso em: 31/10/03.

L533c Leite, Maria Rachel Menezes.
Caracterização das costaneiras da madeira de eucalipto para uso
na indústria moveleira. [manuscrito] / Maria Rachel Menezes Leite. - 2005.
viii, 73 f.: il.; color.; tabs.

Orientador: Prof. Dr. Lincoln Cambraia Teixeira.
Co-orientadora: Prof^ª. Dr^ª. Sebastiana Luiza Bragança Lana.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Ouro Preto.
Escola de Minas. Rede Temática em Engenharia de Materiais.
Área de concentração: Processo de Fabricação.

1. Madeira - Tese. 2. Eucalipto - Tese. 3. Indústria madeireira - Tese.
4. Costaneiras - Tese. 5. Madeira - Produtos - Tese. I. Universidade
Federal de Ouro Preto. Escola de Minas. Rede Temática em
Engenharia de Materiais. II. Título.

CDU: 674.23

Catálogo: sisbin@sisbin.ufop.br