

**SOLANGE DE OLIVEIRA ARAÚJO**

**PROPRIEDADES DA MADEIRAS TERMORRETIFICADAS**

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

VIÇOSA  
MINAS GERAIS - BRASIL  
2010

# **Livros Grátis**

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

## AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, a Deus, meu eterno agradecimento por tantas graças alcançadas ao longo dessa jornada. E hoje em especial minha tese, que é a realização de um sonho pessoal.

Aos meus queridos e amados pais, Noeme e Durval, pelo amor, dedicação e exemplo de luta e vida.

Ao meu irmão Murilo, pela força e torcida para que essa tese se realizasse e por seus valiosos conselhos e “puxões” de orelhas.

E ao meu irmão Wendel a quem amo tanto.

Ao meu orientador, Prof. Benedito Rocha Vital pela confiança e oportunidade.

A Professora “Cassinha”, pelos conselhos, orientação e amizade.

A grande amiga Zaíra, uma pessoa fantástica que ao longo desses quatro anos muito me ensinou.

Ao amigo Bráulio, meu “braço direito”, chave principal nesta tese, meus sinceros agradecimentos e minha eterna gratidão.

A todos os funcionários do LAPEM, por todos esses anos de amizade, mas em especial ao seu “Maninho” e Aristeu.

Aos amigos do LAPEM E LPM, Fábio (Sete), Mariana (Mainha), Carla (Chuck), Wescley, Zé Maria, Sálvio (Molhado).

Aos amigos de Viçosa que por todos esses anos foram minha família, Alécio, Xiomara, Roberto, Fabiana (Fafá), Alessandra, Juliano, Fernando, Dóris e toda sua família e muitos outros que sempre estiveram presente e torcendo pelo meu sucesso.

A todos os funcionários do LPM, pela ajuda e pela manifestação de carinho para comigo, em especial agradeço ao Osvaldo e Joel.

Aos meus estagiários Túlio, Fabrício, Gustavo e todos aqueles que por um curto período sempre estavam dispostos a ajudar.

A todos os amigos do LAPEM e do LPM , não citarei nomes pois poderia ser injusta com alguém, a vocês, meu muito obrigado e gratidão.

Ao CNPq e FAPEMIG, pelo suporte financeiro, que permitiu a realização deste trabalho.

A empresa Indusparket, pela doação da madeira e em especial ao “Barô”, que tanto se empenhou pela realização desse trabalho.

A Indústria Henkel pela doação.

*Na estrada da vida, aprendi que até hoje, e*

*possivelmente para sempre,*

*serei apenas o aprendiz da vida ....*

**João de Aruand**

## RESUMO

ARAÚJO, Solange de Oliveira. D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, julho de 2010. **PROPRIEDADES DA MADEIRAS TERMORRETIFICADAS**, Orientador: Benedito Rocha Vital. Co-Orientadores Angélica de Cássia Oliveira Carneiro e Ricardo Marius Della Lucia

Tratamento térmico aplicado na madeira provoca a sua degradação e/ou rearranjo dos seus principais constituintes químicos (principalmente celulose, hemiceluloses e lignina), melhorando algumas propriedades, tais como: aumento da estabilidade dimensional, o aumento da resistência ao ataque de organismos xilófagos e a diminuição da higroscopicidade. Isto ocorre principalmente através da degradação dos grupos OH presentes nas hemiceluloses, constituinte mais hidrófilo da madeira. O presente trabalho teve por objetivos a caracterização tecnológica da madeira termorretificada de *Aspidosperma populifolium* (Peroba Mica), *Dipteryx odorata* (Cumaru), *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus sp* e *Mimosa scabrella* (Bracatinga), avaliando-se o equilíbrio higroscópico, densidade, retratibilidade da madeira, dureza Janka, módulo de resistência a flexão estática, módulo de elasticidade na flexão estática. As madeiras foram aquecidas entre os pratos de uma prensa (presença de oxigênio), em uma estufa à vácuo sem nitrogênio (meio deficiente em oxigênio) e em uma estufa à vácuo com nitrogênio (meio inerte). Os tratamentos abrangeram as seguintes temperaturas: ambiente (testemunha), 180, 200 e 220 °C, por uma hora, após atingir a temperatura estipulada. Nas

condições experimentais aplicadas, os resultados das propriedades físico-mecânicas indicaram grande potencial do tratamento térmico aplicado na madeira. Para todas as madeiras tratadas termicamente foi observada uma redução no equilíbrio higroscópico, principalmente para o tratamento térmico na estufa à vácuo com nitrogênio. A espécie de Cumaru foi a que apresentou menor equilíbrio higroscópico. A densidade básica foi a propriedade menos afetada pelos tratamentos térmicos, no geral foi mais afetada em altas temperaturas (200 e 220 °C) independente do método utilizado. As contrações volumétricas para os métodos aqui abordados tenderam a diminuir com o aumento da temperatura, no entanto em alguns casos essas contrações foram aumentadas nos tratamentos da estufa a vácuo. Para as propriedades mecânicas foram encontrados resultados diversos, o aumento da dureza Janka não foi tão expressivo. O MOR e MOE para algumas espécies tiveram um incremento destas propriedades, e outras não. Durante os tratamentos térmicos a Bracatinga foi a espécie que menos sofreu influência. Já o *Eucalyptus Grandis* e *Eucalyptus sp* foram as espécies que mais responderam aos tratamentos térmicos, na maioria das propriedades de forma positiva.

## ABSTRACT

### PROPERTIES OF DIFFERENT SPECIES OF WOOD HEAT TREATED

Heat treatment applied to the wood leads to its degradation and / or rearrangement of its major chemical constituents (mainly cellulose, hemicellulose and lignin), improving some properties, such as increased dimensional stability, increased resistance to attack by wood decay organisms and reducing the hygroscopicity. This occurs primarily through the degradation of OH groups present in hemicelluloses, more hydrophilic constituent of wood. This study aimed to characterize the technology of wood termorretificada *Aspidosperma populifolium* (Peroba Mica), *Dipteryx odorata* (Cumaru), *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus sp* and *Mimosa scabrella* (Bracatinga), evaluating the equilibrium moisture content, density, shrinkage of wood, hardness, modulus of resistance to bending, modulus of elasticity in static bending. The woods were heated between the plates of a press (the presence of oxygen) in a vacuum oven without nitrogen (oxygen-deficient medium) and in a vacuum oven with nitrogen (inert medium). The treatments consisted of the following temperatures: ambient (control), 180, 200 and 220 ° C for one hour after reaching the prescribed temperature. Under the experimental conditions applied, the results of physical-mechanical properties showed great potential of thermal treatment applied to wood. For all heat treated wood was observed a reduction in equilibrium moisture content, mainly for heat treatment in vacuum oven with nitrogen. The kind of Cumaru showed the lowest equilibrium moisture. Basic density was less affected by the ownership thermal treatments in general was more affected at high temperatures (200 and 220 ° C) regardless of the method. The contractions to volumetric methods discussed here tended to decrease with increasing temperature, however in some cases these contractions were increased in the treatments of the vacuum oven. For the mechanical properties were found mixed results, the increased hardness was not as expressive. The MOR and MOE for some species had an increase of these properties, and no other employees'. During the heat treatment to Bracatinga species was less influenced. Already *Eucalyptus Grandis* and *Eucalyptus sp* were the species that responded most to the thermal treatments, most of the properties in a positive way.



## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	1
2. OBJETIVOS.....	3
2.1. Objetivo Geral.....	3
2.2. Objetivos específicos.....	3
3. REVISÃO DE LITERATURA.....	4
3.1. Tratamento térmico da madeira.....	4
3.2. Características químicas da madeira termicamente tratada.....	9
3.3. Efeito do calor sobre a celulose e as polioses (hemiceluloses).....	10
3.4. Efeito do calor sobre a lignina.....	13
3.5. Efeito do calor sobre os extrativos.....	15
3.6. Madeiras estudadas.....	16
3.6.1. Bracatinga ( <i>Mimosa scabrella</i> Bentham).....	16
3.6.2. Cumaru ( <i>Dipteryx odorata</i> ).....	19
3.6.3. O gênero <i>Eucalyptus</i> .....	20
3.6.4. Peroba mica ( <i>Aspidosperma populifolium</i> ).....	23
3.7. Propriedades da madeira.....	24
3.7.1. Propriedades físicas.....	24
3.7.2. Propriedades mecânicas.....	28

4. MATERIAL E MÉTODOS.....	32
4.1. Espécies estudadas.....	32
4.2. Preparação da madeira para o tratamento térmico.....	33
4.3. Tratamentos Térmicos da madeira (Termorretificação).....	35
4.3.1. Tratamento térmico na prensa.....	35
4.3.2. Tratamento térmico em Estufa a Vácuo.....	36
4.4. Ensaio físicos.....	42
4.5. Ensaio mecânicos.....	42
4.6. Condução experimental e Análises estatísticas.....	43
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	44
5.1. Propriedades físicas das madeiras termorretificadas.....	44
5.1.1. Umidade de Equilíbrio higroscópico.....	44
5.1.2. Densidade básica.....	46
5.1.3. Retratibilidade das madeiras.....	51
5.2. Propriedades Mecânicas das madeiras termorretificadas.....	60
5.2.1. Dureza Janka.....	60
5.2.2. Resistência a flexão estática.....	67
6. CONCLUSÕES.....	77
7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	80

## 1. INTRODUÇÃO

Dentre as pesquisas de novas tecnologias para melhorar a qualidade e o uso da madeira, encontra-se o tratamento térmico da madeira, também conhecido como termorreificação, retificação térmica ou madeira termo tratada, processo onde o calor é aplicado à madeira. É um tratamento obtido pelo princípio de termodegradação de seus constituintes químicos (principalmente celulose, hemiceluloses e lignina), geralmente na ausência de oxigênio ou de forte deficiência de ar. Este tratamento causa alterações químicas, físicas e mecânicas na madeira, de acordo com o aumento da temperatura (RODRIGUES, 2009). Portanto um tratamento térmico varia desde a secagem (eliminação de água livre) até a gaseificação (produção de gás). No gradiente entre esses dois extremos há eliminação e formação de diversas substâncias, segundo reações simples e complexas.

A celulose e outros polissacarídeos representam a maior parcela dos componentes químicos da madeira. Conseqüentemente é possível considerar que o comportamento da madeira termicamente tratada tenha uma grande dependência dos fenômenos termodegradativos ocorrendo sobre tais polissacarídeos.

O tratamento térmico trás inúmeras vantagens as propriedades tecnológicas da madeira, essas características variam principalmente em função da temperatura final do processo, do tempo do tratamento, da velocidade de aquecimento e das propriedades iniciais da madeira.

As principais alterações nas características da madeira são o aumento da estabilidade dimensional, o aumento da resistência ao ataque de organismos xilófagos e a diminuição da higroscopicidade. Porém quando se avalia propriedades mecânicas, nota-se aumento ou diminuição de tais propriedades, causando algumas dissensões entre resultados encontrados por alguns autores. Diante de algumas divergências, leva-se a acreditar que estas mudanças, variam entre espécies de madeiras e dependem dos parâmetros usados no tratamento térmico.

O tratamento térmico não emprega produtos químicos, fator este muito importante no aspecto ambiental. Além disso, por aumentar a resistência ao apodrecimento e a estabilidade dimensional da madeira, o processo pode se transformar numa opção para substituição de madeiras tradicionais, principalmente para aquelas que apresentam elevado custo de obtenção, bem como as espécies em extinção (PINCELLI,1999).

Estudos mostram que este tratamento pode beneficiar a madeira de alburno, melhorando suas características e agregando um maior valor a esta madeira que muitas vezes é desprezada (BRITO,1993).

Uma vez tratada termicamente a madeira pode ser usada para revestimentos, confecção de paredes à prova de som, assoalhos, terraços, decks de barcos, móveis para jardim, batentes de porta e janela, parques infantis, móveis externos e internos, portões, cercas, instrumentos musicais, dentre outros.

Este estudo submeteu cinco espécies de madeira - *Mimosa scabrella* (Bracatinga), *Dipteryx odorata* (Cumaru), *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus sp* e *Aspidosperma populifolium* (Peroba Mica) - ao tratamento térmico, através de diferentes métodos e temperaturas, em seguida foi feito um estudo comparativo entre os resultados obtidos, procurando obter um panorama das propriedades conseguidas para estas espécies.

## 2. OBJETIVOS

### 2.1. Objetivo Geral

Este trabalho teve por objetivo geral avaliar as propriedades físicas e mecânicas de madeiras termorretificadas de *Mimosa scabrella* (Bracatinga), *Dipteryx odorata* (Cumarú), *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus sp* e *Aspidosperma populifolium* (Peroba Mica).

### 2.2. Objetivos específicos

- Avaliar três métodos diferentes de termorretificação da madeira: Prensa, Estufa à vácuo sem nitrogênio e Estufa à vácuo com nitrogênio.
- Analisar a influência de diferentes temperaturas, 180, 200 a 220 °C, nos tratamentos térmicos.
- Avaliar o desempenho físico das cinco espécies tratadas termicamente, determinando a variação volumétrica, o fator anisotrópico, massa específica, umidade e perda de massa.
- Analisar o desempenho mecânico das espécies tratadas termicamente determinando os módulos de elasticidade (MOE) e ruptura (MOR), através de ensaios de flexão estática. Também foi estudada a dureza das madeiras, através do teste de dureza Janka.

### **3. REVISÃO DE LITERATURA**

#### **3.1. Tratamento Térmico da Madeira**

A madeira é composta principalmente por três polímeros importantes: celulose, hemiceluloses e lignina. Todas suas propriedades físicas, químicas e mecânicas são influenciadas pelas características destes compostos. Apesar das suas excelentes propriedades tecnológicas, que permite sua utilização em várias áreas, ainda existem algumas limitações que pode afetar o uso da madeira para determinados fins, como por exemplo, a instabilidade dimensional, a inflamabilidade, degradação devido à radiação UV e biodeterioração, dentre outros. Frente a essa realidade, diferentes técnicas têm sido utilizadas para melhorar essas propriedades, tais como, preservativos, pesticidas, tintas UV-absorvente, etc. No entanto, muitos deles têm impactos ambientais, por esta razão, as suas aplicações estão sendo restringidos em diferentes países devido às leis e às pressões de mídia (MOHEBBY, 2003a).

Desde as últimas décadas, os cientistas estão pesquisando novas técnicas para melhorar as propriedades da madeira, de forma a ampliar a sua utilização. Diferentes técnicas foram estudadas e empregadas, dentre elas, o tratamento térmico (calor), que já é conhecido como um dos mais antigos, mais fáceis e mais baratos métodos para melhorar as propriedades da madeira, por exemplo, a repelência à água, estabilidade dimensional e bio-resistência, considerável resistência aos microorganismos xilófagos e à ação climática, alta estabilidade dimensional e baixa higroscopicidade.

Essas benfeitorias na madeira foram comprovadas por diversos pesquisadores, dentre eles, Dirckx (1988) e Dirckx et al. (1992) que afirmam que a madeira termicamente tratada proporciona maior estabilidade na coloração da madeira, e que a descoloração causada pela luz é principalmente devido a degradação da lignina. Nesta mesma linha de pesquisa, Kalnins (1966) e Mazet (1988) verificaram que os extrativos têm propriedades antioxidantes, podendo limitar esta descoloração. Desta forma a madeira termicamente tratada proporciona melhor estabilização da cor da madeira quando submetidas à luz, o que pode ser parcialmente explicado pela condensação da lignina e dos conteúdos fenólicos (KOLLMAN & FENGEL, 1965). Essa mudança de cores que a madeira termicamente tratada adquire faz com que tenha colorações semelhantes àquelas madeiras tropicais de maior valor econômico agregado (MOURA, 2007).

Em relação à estabilidade dimensional da madeira, Borges e Quirino (2004), encontraram um aumento significativo após o tratamento, devido à redução da higroscopicidade da madeira tratada, à degradação da hemiceluloses e outras modificações ocorridas na estrutura da madeira. Também de acordo com os autores acima, Jämsä & Viitaniemi (2001), além de encontrar um aumento na estabilidade dimensional da madeira após o tratamento térmico, observaram uma redução na resistência e na densidade da madeira. Resultados similares foram observados por Brunneti et al. (2007) para a resistência das madeiras de cerejeira e nogueira tratadas entre 70 e 210°C.

Essas mudanças ocorrem por que a madeira termicamente tratada é obtida pelo princípio da termodegradação de seus constituintes. Assim, obtém-se um material com reduzida higroscopicidade pela degradação dos grupos OH presentes nas hemiceluloses, constituinte mais hidrófilo da madeira (BRITO, 1993).

Os primeiros trabalhos científicos publicados sobre o tratamento térmico da madeira foram feitos por Stamm e Hansen em 1930, na Alemanha. Em seguida por White na década de quarenta nos Estados Unidos. Na década de cinquenta, os alemães Bavendam, Runkel e Buro deram continuidade à

investigação sobre o assunto. Kollman e Schneider publicaram suas descobertas na década de sesenta e Rusche e Burmester na década de setenta. Mais recentemente, os trabalhos de pesquisas foram realizados na Finlândia, França e Holanda em 1990. Mas trabalho mais completo e abrangente foi conduzido, em 1996, pela instituição, VTT Technical Research Centre of Finland, na Finlândia (THERMOWOOD® HANDBOOK, 2003).

Somente no início do ano 2000, que o processo foi para produção em escala industrial, onde diversos processos surgiram na Europa. Militz (2002) relata que as principais diferenças entre estes processos estão relacionadas ao teor de umidade inicial da madeira, as temperaturas e tempo de exposição das peças ao tratamento e às condições da atmosfera (utilização de oxigênio ou nitrogênio, a presença ou ausência de vapor, processo seco ou úmido e a utilização de óleos). Dentre as principais tecnologias destacam-se:

**1. RetiWood** (Madeiras Retificadas), na França, emprega um sistema misto entre câmara e autoclave, a madeira apresenta um teor de umidade inicial de 12 % sendo tratada com temperaturas variando entre 210 e 240 °C na presença de nitrogênio (Vernois, 2001; Gohar & Guyonnet, 1998).

**2. PLATO WOOD:** nos Países Baixos, a tecnologia PLATO® é baseada em quatro etapas:

a) hidrotermólise: tratamento térmico a 150-180°C em condição aquosa sob pressão atmosférica (4-5 horas);

b) secagem convencional (3-5 dias);

c) tratamento térmico a 150-190°C sob condições secas (14-16 horas);

d) condicionamento de 2 a 3 dias (Tjeerdsma et al., 1998, 2000; Boonstra et al., 1998).

**3. Oil Heat Treatment (OHT):** processo realizado pela MENZ HOLZ na Alemanha, no qual a madeira é tratada em um tanque fechado imersa em óleo quente com temperaturas variando entre 180 e 220°C durante 2-4



horas não considerando o tempo de aquecimento inicial e resfriamento pós-tratamento (RAPP, 2001; RAPP & SAILER, 2002; THÉVENON, 2002).

**4. THERMOWOOD®:** processo desenvolvido pela VTT na Finlândia. Este tratamento apresenta três diferentes fases:

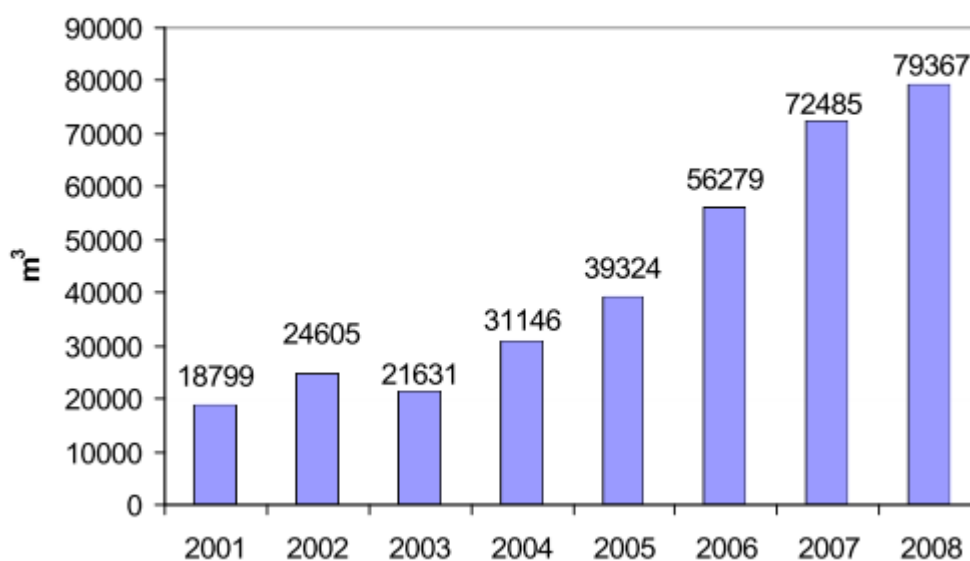
- a) secagem da madeira verde à alta temperatura (100-130°C);
- b) tratamento térmico a  $190 \pm 2^\circ\text{C}$  (Madeira Thermo-S) ou  $212 \pm 2^\circ\text{C}$  (Madeira Thermo-D) durante 2-4 horas dependendo do produto final que se deseja obter;
- c) resfriamento e reumidificação da madeira a 4-8%. (Rapp, 2001; Militz, 2002).

No processo Thermowood a letra “S” no Thermo-S’ indica estabilidade, sendo a propriedade utilizada na classificação dos produtos nesta classe de tratamento. A média tangencial do inchamento e da contração prevista para a classe de madeira tratada por este processo é de 6 a 8%. A letra “D” no Thermo-D indica durabilidade, sendo a propriedade utilizada na classificação dos produtos nesta classe de tratamento. A média tangencial prevista para o inchamento e contração da classe Thermo-D é de 5 a 6%. As classes Thermo-S e Thermo-D são classificações relativas à durabilidade, segundo o padrão EN 113. O padrão EN 113 refere-se à madeira conservada e determina se o método utilizado para proteção é eficaz contra a deterioração causada por basidiomycetos, determinando os valores de toxidez (Syrjänen & Oy, 2001; Jasma & Viitaniemi, 2001).

**5. Thermoholz,** são processos mistos das tendências anteriores utilizados na Áustria na Suíça, Bélgica (Militz, 2002).

Embora todos esses processos, utilizem temperaturas relativamente altas, esses processos não podem ser considerados torrefação propriamente dita, em função do uso final dos seus produtos não serem como combustíveis. São produtos usados para móveis para ambientes internos e externos, esquadrias, carpintaria, decks, assoalhos, saunas, paredes externas, embalagens para alimentos, entre muitos outros (Rodrigues, 2009).

Na Europa, o mercado para este produto já está consolidado visto que em 2008, a produção industrial dos produtos “termo tratados”, atingiram níveis superiores a 120.000 metros cúbicos, atendendo à demanda nas diversas áreas de utilização de madeiras. Somente na Suécia e Finlândia, os produtores associados ao ThermoWood® atingiram níveis de vendas acima de 72.000 m<sup>3</sup>/anuais (Figura 1).



**FIGURA 1** - Evolução das vendas da madeira termicamente tratada, somente os produtos associados à ThermoWood.

Fonte: Treated Wood Brazil - TWBrazil (2008).

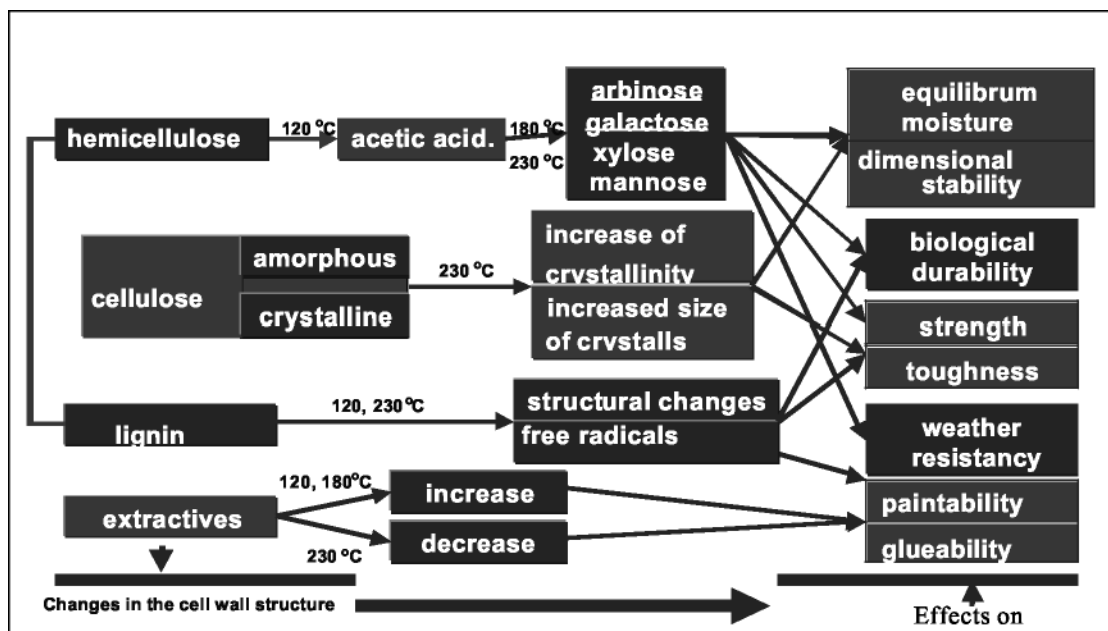
Na Europa cada empresa nomeia a madeira termicamente tratada de acordo com seu interesse e forma para atrair seus clientes, encontram-se produtos com o nome de: Envelhecimento controlado, Conversão de madeiras leves para nativas, tropicalização de coníferas, tratamento ecológico sem químicos, entre muitas outras (TWBRAZIL, 2010).

Embora os benefícios da madeira termicamente tratada sejam comprovados em espécies europeias, no Brasil a termorreificação é pouco pesquisada. No Brasil, as primeiras referências sobre o emprego da termorreificação de madeiras foram apresentadas por Brito (1993). O autor obteve resultados específicos sobre a influência da temperatura do processo

na redução da massa, alteração na densidade, composição química e capacidade de retração volumétrica de *Eucalyptus saligna*.

### 3.2. Características químicas da madeira termicamente tratada

A madeira quando aquecida passa por transformações químicas e físicas, essas alterações estão ligadas diretamente a mudanças dos principais constituintes químicos da madeira, celulose, hemiceluloses e lignina, que se degradam em diferentes formas (Figura 2). Vale ressaltar que o calor, isoladamente, não é o único responsável pelas transformações sofridas pela madeira. Existem fatores adicionais influenciando o processo, tais como o tempo de tratamento, a velocidade de aquecimento, a atmosfera, a pressão, a espécie da madeira utilizada etc. Essas interações causam importantes alterações na estrutura da madeira. Em tais casos são obtidos produtos que possuem características significativamente diferenciadas da madeira original. Portanto é possível administrar a interação de tal forma a atender um objetivo específico do processo (BRITO, 1993).



**FIGURA 2** - Mecanismos de reação de madeira tratada termicamente.  
 Fonte: VTT (1996).

A madeira começa a sofrer degradação térmica, a partir de 180 °C com a liberação de dióxido de carbono, ácido acético e alguns componentes fenólicos (GIRARD E SHAH, 1991).

Celulose e lignina degradam mais lentamente e com temperaturas mais elevadas do que as hemiceluloses. Os extrativos da madeira degradam mais facilmente, e esses compostos podem volatilizar da madeira durante a termorreificação.

Muitos dos resultados encontrados na literatura sobre a ação do calor na madeira são geralmente conflitantes, pois dependem das condições em que a madeira se encontra e, principalmente, de como o processo foi conduzido.

### **3.3. Efeito do calor sobre a celulose e as polioses (hemiceluloses)**

A celulose é o composto orgânico mais comum na natureza. Ela constitui entre 40 e 50% de quase todas as plantas, perfazendo aproximadamente a metade das madeiras tanto de coníferas, como de folhosas. Celulose é um polissacarídeo que se apresenta como um polímero de cadeia linear com comprimento suficiente para ser insolúvel em solventes orgânicos, água, ácidos e álcalis diluídos, à temperatura ambiente, consistindo única e exclusivamente de unidades de  $\beta$  - D - anidroglicopiranosose, que se ligam entre si através dos carbonos 1-4, possuindo uma estrutura organizada e parcialmente cristalina. Devido a suas propriedades químicas e físicas, bem como à sua estrutura supra molecular, preenche sua função como o principal componente da parede celular dos vegetais (KLOCK et al.,2005)

Polioses (hemiceluloses) são polissacarídeos presentes na madeira (25-35%) em menor grau de polimerização que a celulose, seu peso molecular varia entre 25.000 a 35.000. Estão associadas à celulose e à lignina nos tecidos vegetais. Enquanto que a celulose é formada pela repetição da mesma unidade monomérica, nas polioses aparecem várias unidades de açúcares diferentes, de 5 ou 6 átomos de carbono. Deve-se sempre lembrar que o termo polioses não designa um composto químico definido, mas sim uma classe de componentes poliméricos presentes em vegetais fibrosos, possuindo cada componente propriedades peculiares. Como no caso da celulose e da lignina, o

teor e a proporção dos diferentes componentes encontrados nas polioses de madeira variam grandemente com a espécie e, provavelmente, também de árvore para árvore (KLOCK et al.,2005).

Durante o tratamento térmico, os constituintes químicos da madeira sofrem alterações, mas a maioria das mudanças ocorre nas hemiceluloses. O primeiro constituinte da madeira a sofrer alterações sobre a ação do calor são as hemiceluloses, que inicia a sua degradação à 225°C e está completamente degradada a 325°C (ROWELL, 2005). Quando o tratamento térmico é realizado em ambiente hermético, a degradação das hemiceluloses acontece ainda mais rapidamente, sendo catalisada pelos ácidos orgânicos (como ácido acético), que são formados como subprodutos do aquecimento inicial (MITCHELL et al., 1953).

Assim como a celulose, as hemiceluloses formam compostos de adição e substituição com seus grupos hidroxilas, podendo sofrer reações de oxidação e degradação (CABRAL, 2005).

No entanto, apesar da celulose e das hemiceluloses sofrerem reações semelhantes, há diferenças importantes entre suas reatividades. Estas diferenças são devidas muito mais à estrutura física do que à estrutura química, e são melhores caracterizadas como diferenças em acessibilidade (CABRAL, 2005).

No tratamento térmico, como a madeira é aquecida, o ácido acético é formado a partir de acetilação, que é uma reação em que ocorre a substituição dos grupamentos hidroxílicos (-OH) presentes na madeira, por grupamentos acetil, essa transformação ocorre dentro da parede celular. O ácido liberado serve como um catalisador na hidrólise de hemiceluloses de açúcares solúveis. Essa reação altera as propriedades físicas da madeira, por afetar de forma significativa a sua higroscopicidade, a madeira torna-se menos higroscópica. (THERMOWOOD® HANDBOOK, 2003).

Militz e Tjeerdsma (2001) também pesquisando o tratamento térmico da madeira, verificaram uma melhoria do desempenho da madeira, principalmente em relação a sua estabilidade dimensional, essa mudança na característica da madeira ocorre principalmente nas duas primeiras fases. Esses autores dizem

ainda, que essas mudanças são conseqüências das reações já conhecidas na própria química da madeira, ou seja, formação dos ácidos carboxílicos (ácido acético e fórmico) liberado pelas hemiceluloses. Esses ácidos acéticos deliberados das hemiceluloses promovem a catálise da divisão de carboidrato, causando a redução do grau de polimerização dos carboidratos. A degradação do ácido catalisado resulta na formação de formaldeído, furfurool e outros aldeídos.

Tjeerdsma et al. (1998) submeteu amostras de madeira termicamente tratada de beech (*Fagus silvatica L.*) e pinus scots (*Pinus sylvestris L.*) à análise de espectroscopia de Fourier Transform Infra Red spectroscopy (FTIR), esta técnica foi utilizada por ser apropriada para determinar a intensidade de ligações específicas e grupos funcionais dentro da estrutura polimérica. A divisão de grupos acetílicos da hemicelulose ocorreu na primeira fase do tratamento sobre umidade e elevada temperatura. Isto resulta na formação de ácidos carbônicos, principalmente de ácido acético.

A maioria dos grupos acetílicos foram divididos durante o tratamento da madeira a elevada temperatura, já a desacetilação (processo que reduziria a percentagem de radicais acetis evitando a formação dos ácidos orgânicos responsáveis por acelerar a degradação da madeira) ocorreu a temperaturas moderadas. A concentração de grupos hidroxílicos acessíveis foi medida através da acetilação e reduziu após o tratamento a elevada temperatura.

As reações de esterificação ocorreram sobre condições secas, a elevadas temperaturas da fase de cura, indicada pelo aumento do específico pico ester carbonil a  $1740\text{ cm}^{-1}$  no espectro FTIR. Os ésteres foram modificados para serem principalmente ligados ao complexo de lignina considerando que os grupos carbonilas formados recentemente foram encontrados na madeira tratada termicamente, contudo estavam ausentes na holocelulose isolada. A esterificação contribui para a diminuição da higroscopicidade da madeira e conseqüentemente a melhoria da sua estabilidade dimensional e durabilidade.

Fazendo uma analogia entre coníferas e folhosas, Fengel e Wegener (1989) e Siau (1971), ressaltaram que em geral as coníferas toleram melhor o

calor do que as folhosas e isto se deve à maior concentração de pentoses nas hemiceluloses das folhosas e por serem as hexoses (presentes nas hemiceluloses das coníferas) as mais tolerantes ao calor. A temperatura de decomposição das hemiceluloses é na faixa entre 200-260 ° C, e a da celulose é entre 240-350 ° C. Uma vez que a quantidade de hemiceluloses em madeira das espécies de folhosas é superior as da espécies coníferas, é mais fácil a degradação nas folhosas do que nas coníferas. No entanto, o rompimento de uma cadeia de hemiceluloses não reduz tanto a resistência da madeira, como faria a quebra das cadeias de celulose (KOTILAINEN, 2000).

Em relação ao comportamento da celulose a reação do calor, Fengel e Wegener (1989), considerando que a celulose pode coexistir em duas formas distintas quanto à sua organização estrutural: amorfa e cristalina. A primeira delas se parece muito com a hemiceluloses carregada por pentoses, assumindo uma maior sensibilidade ao calor, e segunda por ser mais forte, é muito mais resistente ao calor. Kim et al. (2001) observaram que esse tipo de celulose, cristalina, sente os efeitos do calor quando a temperatura alcança valores superiores a 300 °C e que a umidade pode contribuir para a redução da degradação total. A combinação calor + água seria o suficiente para permitir que a região amorfa se convertesse para a forma cristalina, tornando-se mais resistente (FENGEL E WEGENER, 1989). Este é um dos motivos pelos quais se torna difícil a estimativa do conteúdo de hemiceluloses em uma amostra de madeira. Não se sabe até que ponto o experimento está acompanhado apenas a perda de massa devido à hemiceluloses ou se as alterações de massa estão vinculadas as transformações da celulose de um tipo em outro (OLIVEIRA, 2009).

#### **3.4. Efeito do calor sobre a lignina**

A lignina é o terceiro componente fundamental em importância da madeira, ocorrendo entre 15 e 35% de seu peso, não ocorre sozinha na natureza e é impossível de ser removida quantitativamente da estrutura da madeira sem considerável degradação. As ligninas são a fração não-

carboidrato da madeira livre de extrativos, extremamente complexas e difíceis de caracterizar. São constituintes da parede celular, de natureza polimérica e tridimensional, extremamente complexas, formadas pela polimerização desidrogenativa, catalisada por enzimas, via radical livre, dos precursores do ácido cinâmico. É constituída de unidades de fenil-propano unidas por ligações C-O-C e C-C e com diferentes teores de grupos alcóolicos e metoxílicos dependendo da madeira. Os precursores da lignina são três álcoois aromáticos: álcool trans-coniferílico, álcool trans-sinapílico e álcool trans-para-cumárico.

Na planta, é a lignina que mantém unidas as fibras, formando um material altamente resistente e elástico, conferindo à madeira a resistência característica a esforços mecânicos. O teor de lignina varia de 25-30% e de 20-25%, em coníferas e folhosas, respectivamente, e não possuem a mesma estrutura química em todas elas. Portanto, a lignina não deve ser considerada como uma substância química única (de estrutura definida), mas sim, como uma classe de materiais correlatos, constituída de carbono, hidrogênio e oxigênio, o que faz dela uma importante fonte desses elementos (THERMOWOOD® HANDBOOK, 2003).

Durante o tratamento térmico, ligações entre as unidades de fenil-propano são parcialmente quebradas. As ligações éter-arila entre unidades de siringil se quebram mais facilmente do que as ligações entre unidades guaiacil. Reações termoquímicas são mais comuns para cadeias de lado alica que ligações éter aril-alquil. Quanto maior o tempo de auto-hidrólise mais reações de condensação ocorrem. Produtos da reação de condensação incluem grupos  $\beta$ -Ketone e grupos conjugados de ácido carboxílico.

De todos os constituintes da madeira, a lignina possui a melhor capacidade de suportar calor. O teor de lignina começa a diminuir somente quando a temperatura ultrapassa 200 ° C, quando as ligações éter  $\beta$ -aril começam a quebrar. A elevada temperatura, o teor de metoxilas da lignina diminui e algumas das unidades não condensadas da lignina são transformadas em unidades do tipo difenil-metano. Por conseguinte, a condensação do tipo difenil-metano é a reação mais típica no intervalo de temperatura entre 120-220°C. Esta reação tem um efeito



significativo sobre as propriedades da lignina no tratamento térmico, como a sua cor, reatividade, e dissolução.

Na segunda etapa do tratamento a realização da autocondensação da lignina deve ocorrer através da formação de pontes metilênicas conectando os anéis aromáticos. Os sítios dos anéis aromáticos são liberados pela desmetoxilação e através da divisão, C $\alpha$  benzílico carregado positivamente, esses sítios livres dos anéis aromáticos leva a criação de novas ligações químicas entre as cadeias poliméricas, aumentando o número de ligações C=C e diminuindo os grupos de hidroxilas, estas reações criariam uma nova “pseudo-lignina”, que seria mais hidrofóbica e mais rígida do que a original (DUCHEZ E GUYONNET, 1998).

### **3.5. Efeito do calor sobre os extrativos**

É conveniente diferenciar os componentes da parede celular, que são polissacarídeos e lignina, dos componentes acidentais. Os componentes acidentais são substâncias consideradas como não integrantes da parte estrutural da parede celular ou lamela média. A maioria dos componentes acidentais, são facilmente solúveis em solventes orgânicos neutros ou água, esses são chamados extrativos. Alguns outros tais como proteínas materiais inorgânicos e ácidos e sais orgânicos são parcialmente insolúveis nos solventes usados para remover os extrativos. Pode-se, portanto dividir os componentes acidentais da madeira em duas classes. A primeira classe engloba materiais conhecidos como extrativos por serem extraíveis em água, em solventes orgânicos neutros, ou volatilizados a vapor. A segunda classe engloba materiais normalmente não extraíveis nos agentes mencionados (KLOCK et al.,2005)

Os extrativos são frequentemente responsáveis por determinadas características da madeira como: cor, cheiro, resistência natural ao apodrecimento, gosto e propriedades abrasivas. Sua composição e quantidade relativa dependem de diversos fatores, como espécie, idade e região de procedência, etc. Aproximadamente de 3 - 10% da madeira seca é constituída

de extrativos sendo que, geralmente para as madeiras de coníferas esse teor fica na faixa de 5 - 8% e para as folhosas de regiões temperadas na faixa de 2 - 4%, podendo chegar a valores superiores a 10% na madeira de espécies de regiões tropicais (KLOCK et al.,2005).

Por não serem componentes estruturais da madeira, a maioria destes compostos evaporam facilmente durante o tratamento térmico. Oliveira (2009) descreve que essas substâncias quando submetidas ao tratamento térmico também podem ser observadas na superfície da madeira, como uma resina ou goma superficial. Nuopponem et al. (2003), observaram os dois comportamentos destas substâncias, especialmente as ceras e gorduras de baixa massa molecular as quais, migraram para a superfície quando as amostras foram submetidas à tratamentos térmicos entre 100 e 160 °C e evaporaram completamente quando submetidos ao tratamento em 180 °C.

### **3.6. Madeiras estudadas**

#### **3.6.1. Bracatinga (*Mimosa scabrella* Bentham)**

A bracatinga é uma espécie florestal nativa, de ocorrência natural em zonas de clima frio e úmido. Segundo Carvalho (2003) a área de distribuição localiza-se entre as latitudes 21°30'S a 29°50'S. Em relação a longitude está distribuída entre 48°30' W a 53°50' W (ROTTA & OLIVEIRA, 1981).

Existem três variedades populares de bracatinga, que são conhecidas como variedades Argentina, branca e vermelha. A bracatinga Argentina é denominada *Mimosa scabrella* var. *aspericarpa*, apesar do nome vulgar, é uma espécie que não ocorre naturalmente na Argentina. As bracatingas branca e vermelha são denominadas como *Mimosa scabrella* var. *scabrella* (EMBRAPA, 1988).

Lorenzi (1992) descreve a bracatinga como sendo uma planta semidecídua, heliófita, pioneira, bastante indiferente quanto às condições físicas do solo. A árvore pode atingir mais de 20 m de altura e o diâmetro na altura do peito (DAP) raramente ultrapassa 40 cm. Na idade mais comum de

corte, entre 6 e 8 anos, o DAP varia de 12 a 18 cm (EMBRAPA, 1988). Em maciços apresenta tronco reto, com fuste amplo. Porém, quando isolada, o tronco é curto e ramificado. A copa é arredondada e seu diâmetro, assim como a forma do tronco, varia de acordo com a localização da árvore e do plantio (ANGELI & STAPE, 2003).

A madeira da bracatinga tem pequena durabilidade natural, quando em contato com o solo, é de baixa permeabilidade a produtos preservativos (Inoue *et al*, 1984). A bracatinga apresenta óleo-resina escasso nas células do parênquima axial vasicêntrico e nos poros e em abundância nas pontoações raiovasculares (MAINIERI & CHIMELO, 1989). Uma madeira de média densidade, 0,51 a 0,61 g/cm<sup>3</sup> (STURION & SILVA, 1989).

É uma espécie muito comum em matas de pinhais na região Sul do Brasil, ocorre em áreas de devastação dos pinhais, principalmente no Paraná e Santa Catarina. Além disso é encontrada em outros estados, como Rio Grande do Sul, Minas Gerais e São Paulo. Na região de Curitiba, é tradicionalmente cultivada em sistema agroflorestal, onde a bracatinga é implantada simultaneamente com as culturas agrícolas, principalmente o milho e o feijão. Os tratos culturais são direcionados segundo as necessidades das culturas agrícolas. A partir da segunda rotação, o cultivo da bracatinga é feito através da indução da regeneração natural, pela queima dos resíduos da exploração anterior (LAURENT *et al.*, 1990).

Segundo Baggio *et. al.* (1986), é o sistema de produção de lenha mais antigo do sul do País. Sendo uma das espécies de crescimento inicial mais rápido nesta região. Os plantios na região Sul apresentam rotação estimada de quatro a sete anos para energia; em regeneração natural, também para finalidades energéticas, o ciclo de corte é de seis a oito anos, admitindo-se densidade média de 2200 plantas por hectare (CARVALHO, 1994).

A madeira é usada para compensados, aglomerados e embalagens leves, também para a obtenção de carvão vegetal, cabos de ferramentas, vigamentos, e, mais recentemente, na fabricação de móveis e pisos (Baggio & Carpanezzi, 1998). Nota-se que Carvalho (2003), esta de acordo usos da Bracatinga, onde este também direciona o uso principalmente para vigamentos,

escoras em construção civil, caixotarias, embalagens leves, cabos de ferramentas e utensílios domésticos, tacos e tábuas para assoalhos, carvão vegetal, além de peças para artesanato e marcenaria em geral.

Ainda pode-se obter da espécie um composto (trigalactosil pinitol) que possibilita a melhora na qualidade de produtos industrializados, como alimentos, fármacos, cosméticos e explosivos. Como espécie apícola, fornece um mel rico em glicose. Segundo Pegoraro *et al.* (1995) e Pegoraro *et al.* (1996) citado por ROCHADELLI<sup>1</sup> (1997) a bracatinga apresentou uma produção de 120 kg/ha de mel, sendo considerada a espécie melífera mais importante do inverno na região de Colombo-PR. Para índios de várias etnias do Paraná e de Santa Catarina, a casca era usada para combater coceiras.

Para a recuperação ambiental a bracatinga é uma facilitadora da regeneração natural criando condições favoráveis para o desenvolvimento de outras espécies, permitindo a revegetação de terrenos profundamente alterados, em regiões frias, com efeitos comprovadamente benéficos sobre o solo. Portanto é recomendada para a recuperação e a reabilitação de solos degradados (CARVALHO, 1994).

Um estudo feito pela Universidade Federal do Paraná (1979), com a bracatinga, avaliando seu potencial tecnológico para madeira serrada, concluiu que a madeira é relativamente difícil de ser cortada, mas fácil de aplainar e lixar. O acabamento superficial foi bom, liso, e o lustre mediano é bastante uniforme. Em alguns casos o aproveitamento era reduzido devido à presença de fendas nos troncos com inclusão de casca, que penetrava até a medula da (árvore. A madeira de bracatinga tem ganhado cada vez mais destaque pela sua beleza, lembrando a imbuia pela sua cor marrom escura.

---

<sup>1</sup> ROCHADELLI, R. **Contribuição sócio-económica da bracatinga (*Mimosa scabrella* Benth.) na Região Metropolitana de Curitiba- Norte (RMC-N)**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR. 83 p. 1997.

### 3.6.2. Cumaru (*Dipteryx odorata*)

Encontrado com freqüência no Acre, Amapá, Amazonas, Pará, Rondônia e Mato Grosso. Outros países, Guianas, Venezuela, Colômbia, Bolívia, Peru e Suriname.

Por ser uma espécie de grande ocorrência em diversas regiões, adquiriu vários nomes. Também é conhecido como, camaru-ferro, cambaru, cambaru-ferro, champanha, cumaru-amarelo, cumaru-da-folha-grande, cumaru-escuro, cumaru-ferro, cumaru-rosa, cumaru-roxo, cumaru-verdadeiro, cumbari, cumbaru-ferro, muirapagé.

O cumaru é uma espécie arbórea de grande porte, atingindo até 30 m de altura na floresta primária, porém de porte mais baixo quando cultivada ou em florestas secundárias (LOUREIRO et al., 1979; CLAY et al., 1999; REVILLA, 2000). O tronco do Cumaru (*Dypterix odorata*) é como uma coluna reta a erguer sua copa. No alto da árvore, folhas, favas e flores exalam delicadamente um aroma abaunilhado. Daí seu nome científico: odorata. Possui flores vermelhas ou violetas de cheiro forte e agradável que no período de floração recobrem toda a copa.

Em relação à durabilidade natural, o cerne apresenta alta resistência ao ataque de organismos xilófagos (fungos apodrecedores e cupins). Em ensaios de campo com estacas em contato com o solo, esta espécie apresentou alta durabilidade aos organismos xilófagos e foi considerada com durabilidade superior a 12 anos de serviço em contato com o solo.

Madeira dura (0,95-1,00 g/cm<sup>3</sup>) e resistente é tida como uma das melhores madeiras para dormentes, não apenas pela sua durabilidade, mas também pela sua grande resistência a fendas quando exposta ao sol (LOUREIRO et al., 1979). Indicada também para fabricação de pisos maciços, degraus de escada, mesas, móveis, decks de piscina. Conhecido também pelos seus frutos extremamente aromáticos e com uma elevada porcentagem de óleo, por essa razão muito utilizada nas indústrias de perfumes, aromas, fragrâncias, medicina e tabaco (LORENZI, 1998).

Esta espécie é tida como importante para reflorestamentos, frutificando precocemente aos quatro anos de idade

Em relação a sua trabalhabilidade, a madeira de cumaru é difícil de ser trabalhada, mas recebe excelente acabamento no torneamento. Acabamento ruim nos trabalhos de plaina e lixa, é difícil de ser perfurada. Devido à natureza oleosa, a madeira apresenta dificuldade em ser colada. Mas aceita polimento, pintura, verniz e lustre.

É relativamente fácil de secar ao ar, com pequena tendência a rachar superficialmente, apresenta empenamento moderado. A secagem artificial é lenta, porém praticamente isenta de defeitos (LOUREIRO *et al.*, 1979).

### **3.6.3. O gênero *Eucalyptus***

O eucalipto é originário da Austrália e da Indonésia, pertencente a família Myrtaceae. Existem mais de 720 espécies pertencentes ao gênero *Eucalyptus*. É um gênero de grande plasticidade e dispersão mundial cresce satisfatoriamente em grande amplitude edafoclimática extrapolando as regiões de origem (BERNARDO *et al.*, 1998). Dentre as principais espécies plantadas em todo o mundo para fins comerciais estão o *Eucalyptus grandis*, *E. urophylla*, *E. saligna*, *E. camaldulensis*, *E. globulus*, *E. dunnii* e *E. nitens*.

A introdução do eucalipto no Brasil foi feita por Frederico de Albuquerque, no Rio Grande do Sul, em 1868. Já o primeiro cientista brasileiro a se interessar pelo seu estudo e cultivo foi Edmundo Navarro de Andrade, que trabalhou na Companhia Paulista de Estradas de Ferro. Seu objetivo principal era usar árvores plantadas para alimentar as caldeiras das locomotivas e produzir dormentes, moirões e postes. Foi ele também quem introduziu, inicialmente no Horto Florestal de Rio Claro (SP), todas as espécies de eucalipto hoje cultivadas no país.

Hoje o eucalipto é cultivado em grande parte do Brasil. A escolha do eucalipto para suprir o consumo de madeira, tanto em escala industrial como para pequenos consumidores, está relacionada a algumas vantagens da espécie, tais como rápido crescimento; características silviculturais desejáveis

(incremento, forma, desrama etc.); grande diversidade de espécies, possibilitando a adaptação da cultura às diversas condições de clima e solo; facilidades de propagação, tanto por sementes como por via vegetativa; e possibilidades de utilização para os mais diversos fins, o que justifica sua aceitação no mercado. Às características desejáveis citadas, somam-se o conhecimento acumulado sobre silvicultura e manejo do eucalipto e ao melhoramento genético, que favorecem ainda mais a utilização do gênero para os mais diversos fins (ANGELI, 2005).

Quanto as características gerais do gênero *Eucalyptus*, destaca-se o alburno delgado, com menos de 3 cm e coloração clara. O cerne apresenta cor variando desde amarelado, até vários tons pardos avermelhados e vermelhos (ALFONSO, 1987). A madeira apresenta pouco brilho, grã direita a revessa e textura de fina a média, pode ser macia, mas também moderadamente dura ao corte, com cheiro e gosto indistintos. Quanto à densidade aparente, as madeiras variam desde leve, média e aquelas bastante pesada, ou seja, valores variando de aproximadamente 0,4 a 1,2 g/cm<sup>3</sup> (ALBUQUERQUE 1991). O gênero se caracteriza por uma constituição anatômica muito homogenia entre as espécies, sendo por tanto de difícil identificação.

Em função da diversidade de espécies, quando se fala em durabilidade, existem todos os tipos de madeira, desde aquela madeira leve com baixa durabilidade, até aquelas aptas a utilizações estruturais e de relativa durabilidade, mesmo sem serem preservadas.

A possibilidade de uso da madeira de eucalipto para diversos fins tem estimulado a implantação de florestas de uso múltiplo. Dessa forma, muitos estudos estão sendo realizado para melhor se aproveitar o potencial econômico da floresta, destacando-se melhoramento de material genético e manejo silvicultural (teste de espaçamentos, idade de corte e técnicas silviculturais). De modo geral, com o uso múltiplo, pretendem-se obter de uma área implantada variados tipos de produtos, ou seja, diferentes finalidades para uma mesma floresta (ANGELI, 2005).

No Brasil a madeira de eucalipto é utilizada em diversos setores, indústria moveleira, construção civil, painéis, postes, escadas, esquadrias,

molduras, assoalhos, revestimentos, celulose e papel, carvão vegetal, óleos essenciais e com o grande número de pesquisas envolvendo este gênero a tendência é que novos usos venham surgindo a cada dia.

Entre as centenas de espécies e híbridos existentes, *Eucalyptus grandis* é uma das espécies de maior importância comercial, utilizada como base principal em vários programas de melhoramento genético ao redor do mundo, principalmente por suas características de rápido crescimento e alta densidade de madeira (NEILSON, 2000; FAO 2003).

No Brasil sua ocorrência é nos estados, do Espírito Santo, Minas Gerais, São Paulo, Goiás, Mato Grosso, Paraná, Rio Grande do Sul e Bahia. Também ocorre em outros países, como, Zimbábue, Nigéria, Malawi, África do Sul, Quênia, Congo, Zaire, Nova Zelândia.

Como características gerais, a espécie apresenta o cerne e alburno distintos pela cor, cerne castanho rosado, alburno bege-rosado, pouco brilho, cheiro e gosto imperceptíveis, densidade baixa, macia ao corte, grã direita textura fina a média.

Quanto a sua durabilidade natural e trabalhabilidade química é uma madeira considerada com moderada durabilidade aos fungos apodrecedores e cupins, e com baixa durabilidade aos fungos de podridão mole e cupins-de-solo (*Nasutitermes* sp.). O cerne é difícil de ser tratado, entretanto, o alburno é permeável.

No processamento tem um excelente trabalhabilidade para serraria, no entanto, requer o uso de técnicas apropriadas de desdobro para minimizar os efeitos das tensões de crescimento. Apresenta boas características de aplainamento, lixamento, torneamento, furação e acabamento.

Quando se fala em secagem, em geral, as madeiras de espécies de eucalipto são consideradas como difíceis de secar, podendo ocorrer defeitos como colapso, empenamentos e rachas. A secagem em estufa deve ser feita de acordo com programas suaves, combinando, por exemplo, baixas temperaturas com altas umidades relativas. É recomendável a secagem ao ar, ou o uso de pré-secador, antes da secagem em estufa.

Na construção civil é usado em ripas e partes secundárias de estruturas,



cordões, guarnições, rodapés, forros e lambris, pontaletes e andaimes. Além da construção civil é usado para móveis e, também, partes internas de móveis, laminados compensados, embalagens, paletes, produção de papel e celulose.

#### **3.6.4. Peroba mica (*Aspidosperma populifolium*)**

A espécie *Aspidosperma populifolium* pertence à família Apocynaceae e distribui-se naturalmente na região amazônica e no Centro-Oeste do Brasil, nos estados do Amazonas, Pará, Rondônia e Mato Grosso. Ocorre principalmente nas Florestas Ombrófilas Densas e Abertas, Submontanas e dificilmente ultrapassa 30 m de altura, podendo alcançar até 75 cm de diâmetro. Apresenta fuste alto e muito cilíndrico, com a copa geralmente concentrada no ápice da árvore.

A ramificação é cimosa e a copa é aberta e capitata umbeliforme. Suas folhas são simples, alternas, com exsudação leitosa pegajosa na abscisão foliar. Sua casca é profundamente fissurada e corticosa, com ritidoma pardo a acastanhado, de deiscência granular. A casca viva, após oxidação, adquire a cor amarelo queimado e apresenta gosto muito amargo.

A madeira dessa espécie é densa (  $\rho_{ap,12\%} \cong 0,73 \text{ g / cm}^3$  ), com cerne marrom-acastanhado claro, com veios mais escuros, sendo pouco distinto do alburno, que geralmente é mais claro. Escurece em exposição o ar, é lisa ao tato e recebe acabamento opaco a pouco lustroso.

Sua textura é fina, a grã é ondulada, o cheiro é indistinto e o gosto é amargo. É resistente ao ataque de fungos e xilófagos. Floresce de agosto a setembro e frutifica de novembro a dezembro. Sua madeira é muito utilizada na construção civil, como vigas, caibros e ripas para pisos, e na indústria de carpete de madeira, como lâmina de capa, na fabricação de móveis de qualidade superior, em acabamento de interiores e para fabricação de portas e batentes.

### **3.7. Propriedades da madeira**

#### **3.7.1. Propriedades físicas**

Para se obter o uso mais apropriado para a madeira é preciso conhecer seu comportamento mediante as situações adversas. Uma das maneiras de conhecer tal desempenho é o estudo das suas propriedades físicas, mecânicas, anatômicas e energéticas. O desconhecimento das propriedades da madeira pode transformar vantagens em desvantagens durante a sua utilização (RODRIGUES, 2009). Neste contexto, Moura (2000) afirma que algumas características da madeira limitam sua utilização e podem, dependendo da solicitação, desqualificá-la, causando, em alguns casos, a sua substituição por outros materiais.

As madeiras podem ser agrupadas e classificadas segundo as suas propriedades, estabelecendo o uso mais adequado, como por exemplo, estruturas, usos de ambientes internos e externos de habitações, móveis, painéis, embalagens, entre outros (ARAÚJO, 2002).

Vale ressaltar que nestas classificações devem levar sempre em consideração que a madeira é um material heterogêneo e anisotrópico, e, as características dessas propriedades irão variar entre espécies, em indivíduos de uma mesma espécie e até mesmo dentro de uma mesma árvore.

Algumas propriedades físicas da madeira são representativas e determinantes de cada espécie. As propriedades mais importantes e abrangidas pela MB-26 (1940) da ABNT, IPT (1956) e ABNT (1997), são o teor de umidade, a retratibilidade e massa específica aparente (densidade).

Muito embora a umidade não seja uma característica intrínseca da madeira, seu estudo é indispensável por se tratar de um parâmetro que afeta o comportamento do material durante as fases de processamento, secagem e preservação (RESENDE et. al. 1995). Além disso, o teor de umidade da madeira é fator determinante para outras propriedades como massa específica, estabilidade dimensional, resistência entre outros (RODRIGUES, 2009). Também estudando a importância da umidade, Lovatti (2008), cita que a

umidade da madeira é um parâmetro que afeta todo o comportamento do material, como a trabalhabilidade, resistência natural, resistência mecânica.

As várias espécies de árvores podem conter de 30% a 200% de água distribuída dentro das cavidades celulares e entre as células (água livre) e aderida às microfibrilas (água de adesão). O limite entre essas duas formas determina o ponto de saturação das fibras (PSF), que é a umidade quando já não há água livre, de 22% a 30% em função da espécie (MARTINS, 1988). Abaixo do ponto de saturação das fibras ocorrem alterações que podem comprometer seu uso.

Esse teor de umidade é influenciado pela umidade relativa do ar, temperatura, espécie, relação cerne/alburno e pelo teor de extrativos, tendendo-se a equilibrar com o ambiente (LOVATTI, 2008).

Outra propriedade física importante é a massa específica. A densidade ou massa específica reflete a quantidade de massa da madeira por unidade do seu volume. É considerada por muitos autores como uma das propriedades mais importantes da madeira (ZOBEL<sup>2</sup>, 1961 citado por CASTELO, 2007; STEWART e POLAK, 1975; HELLMEISTER, 1983). Uma vez que dela dependem a maior parte de suas propriedades físicas e tecnológicas, servindo na prática como uma referência para a classificação da madeira (MORESCHI, 2005).

Sabe-se que a massa específica está relacionada diretamente a outras propriedades da madeira, sendo, portanto, um importante índice de qualidade. A massa específica influencia a higroscopicidade, a contração e o inchamento, as propriedades mecânicas, térmicas, acústicas, elétricas e outras propriedades básicas, bem como as propriedades relacionadas ao processamento industrial da madeira (CASTELO, 2007).

A massa específica é influenciada por fatores internos e externos à madeira. Como fator interno destaca-se a estrutura anatômica do lenho. Dentre os fatores externos citam-se aspectos do local de crescimento das árvores, tais como, clima, solo, altitude, umidade do solo, declividade, vento, espaçamento e

---

<sup>2</sup> ZOBEL. B. J. Inheritance of Wood properties in conifers. *Silvae Genetica*, Frankfurt, v.10, p.65-70. 1961.

associação de espécies, bem como intervenções silviculturais do tipo adubação, poda, desbaste e densidade do povoamento (KLITZKE,...)

Para Panshin e de Zeeuw (1980), as variações da massa específica são resultados das diferentes espessuras da parede celular, das dimensões das células, das inter-relações entre esses dois fatores, da quantidade de componentes extratáveis presentes por unidade de volume. Em concordância com esses autores, Dinwoodie (1981), além de relatar que a massa específica altera com a variação na espessura da parede celular, ressalta que essas modificações ainda estão relacionadas com as alterações no volume de espaços vazios existentes no interior da madeira.

Segundo Garcia (1995), tão importante quanto o estudo da variabilidade da massa específica entre indivíduos é o diagnóstico dessa variabilidade dentro da árvore, tanto no sentido transversal ou radial (da medula para a periferia do tronco), quanto longitudinal (da base para o topo).

Diante de tantas variáveis que podem alterar a massa específica, Tomazello Filho (1994) considera uma característica complexa, considerando-se que é o resultado de diferentes porcentagens de diversos tipos de células que, por sua vez, variam em diâmetro, espessura de parede e comprimento, contendo teores variáveis de extrativos.

A massa específica pode ser calculada de quatro maneiras distintas que consideram o teor de umidade. A massa específica verde é determinada em condições de umidade acima saturação das fibras, a seca é medida com a madeira à 0% de umidade, a básica considera a massa seca e o volume verde e a denominada densidade aparente é determinada em um teor de umidade definido, comumente entre 12 e 15% (MELO, 2003).

Outra propriedade física importante é a retratibilidade da madeira. Essas variações de dimensões na madeira ocorrem quando a madeira perde ou ganha umidade, abaixo do ponto de saturação das fibras (OLIVEIRA, 1997). Segundo Calil et. al. (2003) essas variações dimensionais são ocasionadas, pela diminuição ou aumento da quantidade de água de impregnação que aproximam ou afastam as cadeias de celulose e as microfibrilas, ocasionando as correspondentes variações dimensionais de retração ou inchamento.

As variações dimensionais e anisotropia são características indesejáveis da madeira, limitando o seu uso para diversas finalidades, exigindo técnicas específicas de processamento e utilização (DURLO e MARCHIORI, 1992).

As alterações dimensionais na madeira não são isotrópicas, ocorrendo de forma diferenciada nas direções radial, longitudinal e tangencial. Essas alterações são responsáveis pelos principais defeitos de secagem como empenamentos, rachaduras etc. As variações dimensionais, aliadas às características anisotrópicas, são indesejáveis do ponto de vista prático, e vários pesquisadores têm tentado minimizá-las através de tratamentos químicos ou físicos (GALVÃO; JANKOVSKY, 1985; PARAYNO, 1984).

Segundo, Lelles e Silva (1997) a contração na direção tangencial é, aproximadamente, 1,5 a 2 vezes maior do que ocorre na direção radial. Essa diferença entre as dimensões tangenciais e radiais é atribuída à forma de organização dos elementos celulares, dispostos tanto transversalmente como radialmente ao longo do tronco da árvore (PINHEIRO, 1999). A razão entre a contração tangencial e radial (relação T/R), chamado de fator de anisotropia, é o índice mais importante para se avaliar a estabilidade dimensional da madeira (DURLO e MARCHIORI, 1992). Os autores estabelecem que, madeiras que apresentam o coeficiente de anisotropia entre 1,2 a 1,5 são excelentes (ex. cedro, sucupira, balsa, etc.), entre 1,5 a 2,0 normais (ex. ipê, pinus, peroba rosa, teca, etc.) e acima de 2,0 ruins (ex. araucária, imbuia, jatobá, etc.), desta forma, quanto menor esse índice, mais estável dimensionalmente é a madeira, tornando-a menos propensa a ocorrência de defeitos como empenamento e fendilhamento. A anisotropia de contração no valor igual a 1,0 é a situação considerada ideal e que não provocaria formação de tensões internas.

As características de retração da madeira são bastante diferentes de espécie para espécie. Estudando a contração volumétrica da madeira de várias espécies de eucalipto e várias espécies de nativa de Minas Gerais, Mori et. al. (2003), observaram que a madeira de eucalipto apresentou valores de contração volumétricas muito maiores que os apresentados pelas espécies nativas. Do mesmo modo retrações da madeira variam em relação à posição da árvore. Em geral, ela é maior na madeira juvenil, ou seja, mais próxima à

medula, decrescendo rapidamente da medula para a casca, estando essa mudança relacionada com a rápida redução do ângulo microfibrilar na parede celular, com o aumento do comprimento das células e do teor de celulose (PANSWIN e DE ZEEUW, 1980).

### **3.7.2. Propriedades mecânicas**

O conhecimento das propriedades mecânicas da madeira é fundamental para o aprofundamento dos estudos em relação à qualidade e tecnologia da madeira. As propriedades mecânicas definem o comportamento da madeira quando submetida a esforços de natureza mecânica. Toda vez que a madeira se quebra ou se deforma, ela esteve sujeita à ação da alguma força, portanto, expressa alguma propriedade mecânica. Essas características são importantes em diversas indústrias que utilizam a madeira como matéria prima ou em parte do seu processo produtivo. Pois em diversas situações a madeira pode ser solicitada por esforços de flexão, cisalhamento, resistência ao choque, resistência a compressão, tração, etc.(WANGAARD, 1950<sup>3</sup> citado por VIEIRA, 2009 e MACHADO et. al. 1988).

Segundo Moreschi (2005), as propriedades que normalmente influenciam o comportamento mecânico da madeira incluem o ângulo microfibrilar, comprimento das fibras e densidade, sendo este um composto de porcentagem de lenho tardio, espessura da parede celular e diâmetro do lume. Além dos fatores citados acima, Kollmann e Cote (1968) e Forest Products Laboratory (1999), asseguram que o teor de umidade, temperatura, apodrecimento, duração da tensão e da deformação, radiação nuclear, falhas na madeira, presença de nós e outros defeitos, também influenciam fortemente as propriedades mecânicas da madeira.

Sendo a madeira um material anisotrópico, vale ressaltar que as propriedades mecânicas da madeira são únicas e independentes nas direções

---

<sup>3</sup> WANGAARD, F. F. The mechanical properties of wood, New York, John Wiley & Sons , 337p. 1950.

dos três eixos ortogonais, portanto variam com a direção da carga aplicada em cada um dos seus três eixos (FOREST PRODUCTS LABORATORY, 1999).

As propriedades mecânicas da madeira baseiam-se em dois conceitos: a tensão e a deformação. A tensão é a medida das forças internas em um material sob aplicação de uma força externa e pode ser determinada pela tração, pela compressão ou pelo cisalhamento de uma peça ou ainda pela combinação das três, a flexão. A deformação é a medida da alteração da forma inicial de um material sob aplicação de carga (ROWELL et. al., 2005).

Uma propriedade mecânica importante é a dureza da madeira, que é definida como a capacidade da madeira de resistir à abrasão superficial, além de dar uma idéia de resistência ao desgaste, bem como a penetração de ferramentas. Os métodos gerais de medição da dureza nos materiais podem ser divididos em dois grupos: O primeiro grupo é caracterizado por medir a força necessária à penetração de uma peça - uma esfera, por exemplo - com deformação previamente especificada. O segundo grupo é caracterizado por medir a deformação (penetração) causada por um instrumento com dimensão e carga de penetração pré-estabelecidos.

A dureza proposta por Janka, autor o qual originou o nome do método, é determinada convencionalmente pela tensão que, atuante em uma das faces de um corpo de prova prismático, produz a penetração de uma sem-esfera de aço com área diametral de  $1 \text{ cm}^2$  (NBR 7190, 1997). Assim, neste caso, fixa-se a profundidade de penetração da esfera na madeira e avalia-se a força para conseguí-la. Essa propriedade é um importante critério na escolha de madeiras para usos estruturais que sofrem grandes intervenções por ferramentas constantes, madeiras que precisam ser furadas ou pregadas, como no caso de pontes. Também é importante para escolha de madeiras para piso, por estar sujeito ao arraste de móveis, pisoteio com diversos tipos de solados e saltos, queda de objetos e outras situações semelhantes, a formação dos pisos de madeira necessita de uma matéria-prima com valores de dureza específicos.

Embora seja uma propriedade de efeito localizado, na medida em que seus resultados são atribuíveis somente a uma pequena região da peça - nas circunvizinhanças do ponto de endentação da esfera - seus resultados

apresentam boa correlação com a resistência à compressão paralela às fibras da madeira, parâmetro utilizado na atribuição de classes de resistência ao material (COLENCI, 2006).

Dentre as propriedades de resistência da madeira, a dureza revela suas potencialidades e pode ser utilizada como ferramenta na caracterização das espécies florestais.

Pode-se dizer que a dureza Janka apresenta boas correlações com outras importantes propriedades mecânicas da madeira, como por exemplo, a compressão paralela e normal às fibras (IBAMA, 1993; COLENCI, 2002). GERARD et. al. (1995) e CHIMELO (1980) afirmaram que a dureza da madeira se apresenta correlacionada com a retratibilidade e com a densidade (massa específica).

Outra propriedade mecânica muito importante é a flexão estática, considerada por muitos autores como uma das mais importantes. A resistência da madeira à flexão é um valor convencional, dado pela máxima tensão que pode atuar em um corpo de prova. A tensão máxima é definida quando do aparecimento de fenômenos particulares de comportamento. De modo geral esses fenômenos são os de ruptura ou de deformação específica excessiva (NBR 7190/97).

A deformação é a medida da alteração da forma inicial de um material sob aplicação de carga. A deformação é proporcional ao carregamento aplicado até chegar a um ponto em que esta proporcionalidade deixa de existir. O limite desta relação é conhecido como limite de proporcionalidade. A partir deste ponto, à medida que a carga cresce se atinge o regime plástico, onde as deformações são irreversíveis (RODRIGUES, 2009). Portanto o módulo de ruptura (MOR) e o módulo de elasticidade (MOE) são dois parâmetros normalmente avaliados em testes de flexão estática, sendo o módulo de elasticidade de maior importância na caracterização tecnológica da madeira, pois representa a resistência do material submetido a uma força aplicada perpendicularmente ao eixo longitudinal da madeira (SCANAVACA JÚNIOR e GARCIA, 2004). Tsoumis (1991) considera o MOE e o MOR, como os mais importantes parâmetros mecânicos para caracterização de madeira sólida, pois



os seus valores expressam a combinação de diversos fatores, incluindo a constituição morfológica, anatômica e química da madeira.

O módulo de elasticidade fornece uma idéia da rigidez da madeira ou a sua maior ou menor capacidade de deformar-se em função da carga aplicada no esforço de flexão. Segundo Matos (1997) e Rocha et. al (1998), mede a rigidez dos materiais e expressa o esforço hipotético em que um corpo de 1 cm<sup>2</sup> de área transversal pode ser estendido ao dobro do comprimento original. Na verdade, o valor real do módulo de elasticidade é impossível de se atingir, uma vez que nunca se conseguirá uma deformação da grandeza do comprimento do próprio corpo por certo, antes que tal situação aconteça, ocorrerá à ruptura do material. No entanto, para Klock (2000), embora o módulo de elasticidade não ofereça informações completas e reais sobre o comportamento de um determinado material, pode-se concluir que valores altos de MOE indicam alta resistência e baixa capacidade de deformação do material, qualificando-o para determinados fins.

Vale ressaltar que assim como ocorre em outras propriedades da madeira, o módulo de elasticidade também varia de espécie para espécie. Entretanto, Wangaard (1950) observou que, no sentido radial o MOE é consideravelmente maior.

Módulo de ruptura ou resistência à flexão é expresso em termos de esforços por unidade de área, representando o máximo de esforços que é aplicado sobre as fibras no extremo superior e inferior da seção transversal da peça (OLIVEIRA, 1997). Segundo Green et. al. (1999) o módulo de ruptura reflete a capacidade de carga máxima de uma peça em flexão e é proporcional ao momento máximo exibido pela amostra

## 4. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido nos Laboratórios de Painéis e Energia da Madeira (LAPEM), Celulose e Papel (LCP) e Propriedades da Madeira (LPM), da Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Minas Gerais.

### 4.1. Espécies estudadas

Foram utilizadas cinco espécies listados no Quadro 1. Quatro espécies, Bracatinga, Cumaru, *Eucalyptus sp.* e Peroba Mica foram doadas pela empresa Indusparket, localizada na cidade Tietê, São Paulo, fabricante nacional de pisos de madeira maciça.

A quinta espécie, *Eucalyptus grandis*, foi adquirida de uma serraria na cidade de Viçosa-MG. A idade das espécies é desconhecida, os fornecedores não possuíam tal informação.

**QUADRO 1** - Relação das espécies e gêneros pesquisados

<b>NOME COMUM</b>	<b>NOME CIENTÍFICO</b>	<b>FAMÍLIA</b>
Bracatinga	<i>Mimosa scabrella</i> Bentham	<i>Mimosaceae</i> ( <i>Leguminosae: Mimosoideae</i> )
Cumaru	<i>Dipteryx odorata</i> (Aubl.) Willd.	Fabaceae ( <i>Leguminosae</i> )

<i>Eucalyptus grandis</i>	<i>Eucalyptus grandis</i> W. Hill ex Maiden	Myrtaceae
<i>Eucalyptus. sp</i>	<i>Eucalyptus sp</i>	Myrtaceae
Peroba Mica	<i>Aspidosperma populifolium</i> A. DC	Apocynaceae

#### 4.2. Preparação da madeira para o tratamento térmico

As madeiras foram recebidas no Laboratório de Painéis e Energia da Madeira (LAPEM), em forma de tábuas e pranchas. As madeiras de espécies nativas tinham comprimentos, espessuras e larguras variadas, enquanto que os *eucalyptus* tinham formas mais homogêneas.

Esse material foi entabicado, para secar no do galpão do LAPEM, de forma que as pilhas ficassem separadas por espécies, espessura e comprimento das madeiras (Figura 3a).

Após o entabicação, foi calculado o teor de umidade inicial, constatando-se uma diferença no teor de umidade entre as peças, 20 - 40 %, os maiores teores de umidades encontrados foram na madeira de Bracatinga. As madeiras permaneceram no galpão do laboratório por um período de 3 a 4 meses, até atingirem umidades entre 12 e 15 %. Após esse período as tábuas foram cortadas em peças menores de 60 x 7,5 x 2 cm (comprimento, largura e espessura), exceto o Cumaru, uma vez que este veio da indústria com largura de 6 cm, por isso as madeiras de Cumaru foram cortadas com 60 cm de comprimento, 5 cm de largura e 2 cm de espessura. As tábuas que apresentavam defeitos (rachaduras, nós, empenamentos, contaminação por insetos, manchas, etc.), foram descartadas. Após o corte, as madeiras foram entabicadas novamente (Figura 3b e 3c), e posteriormente tratadas

termicamente.



**Figura 3a** – Entabamento da madeira para secagem



**Figura 3b** – Entabamento da madeira no Laboratório de Painéis e Energia da Madeira (LAPEM), preparada para o tratamento térmico.



**Figura 3b** – Entabamento da madeira no Laboratório de Painel e energia da Madeira (LAPEM), preparada para o tratamento térmico

### **4.3. Tratamentos Térmicos da madeira (Termorreificação)**

#### **4.3.1. Tratamento térmico na prensa**

Antecedendo cada tratamento térmico as amostras foram pesadas e medidas (largura, comprimento e espessura), para futuro cálculo de perda de massa.

As madeiras foram tratadas termicamente em uma prensa hidráulica da marca Contenco (Figura 4), dotada de sistema de pratos medindo 60 x 60 cm e aquecimento por resistência elétrica, painel digital para o controle da pressão e temperatura. A pressão utilizada foi mínima e suficiente para que as madeiras não empenassem.

As temperaturas utilizadas foram 180, 200 e 220 °C. A madeira sem tratamento térmico foi denominada testemunha. O tempo de prensagem foi de uma hora para cada temperatura, sendo este tempo cronometrado a partir do momento que a temperatura atingia o patamar estabelecido para o tratamento.

Após a prensagem a madeira era retirada da prensa e acondicionada em sala climatizada para o seu resfriamento até a temperatura de  $\pm 25$  °C.



**Figura 4** – Prensa usada para os tratamentos térmicos

Após o resfriamento, as peças foram pesadas e medidas novamente e em seguida foram entabecadas ao ar livre, até atingirem umidade de equilíbrio higroscópico.

A área total de cada prato da prensa era de 3600 cm<sup>2</sup> (60 x 60 cm), possibilitando o tratamento de sete amostras por prensagem, sendo feito três repetições por temperatura, totalizando 63 peças para cada espécie.

#### **4.3.2. Tratamento térmico em Estufa a Vácuo**

Neste processo os tratamentos térmicos foram executados em uma Estufa á vácuo especial Modelo MA-027 (Figura 5), com controle de temperatura, pressão e vácuo.



**FIGURA 5** – Vista frontal da Estufa à Vácuo usada para os tratamentos térmicos.

A câmara interna da estufa possui um formato cilíndrico e uma plataforma de apoio, sobre o qual foram apoiadas as amostras, as quais foram entablicadas e fixadas entre suportes de ferro conforme pode ser observado nas figuras 7 A e 7B. Para evitar empenamento das madeiras.





**Figura 6** – Estufa à Vácuo com as amostras a serem tratadas.

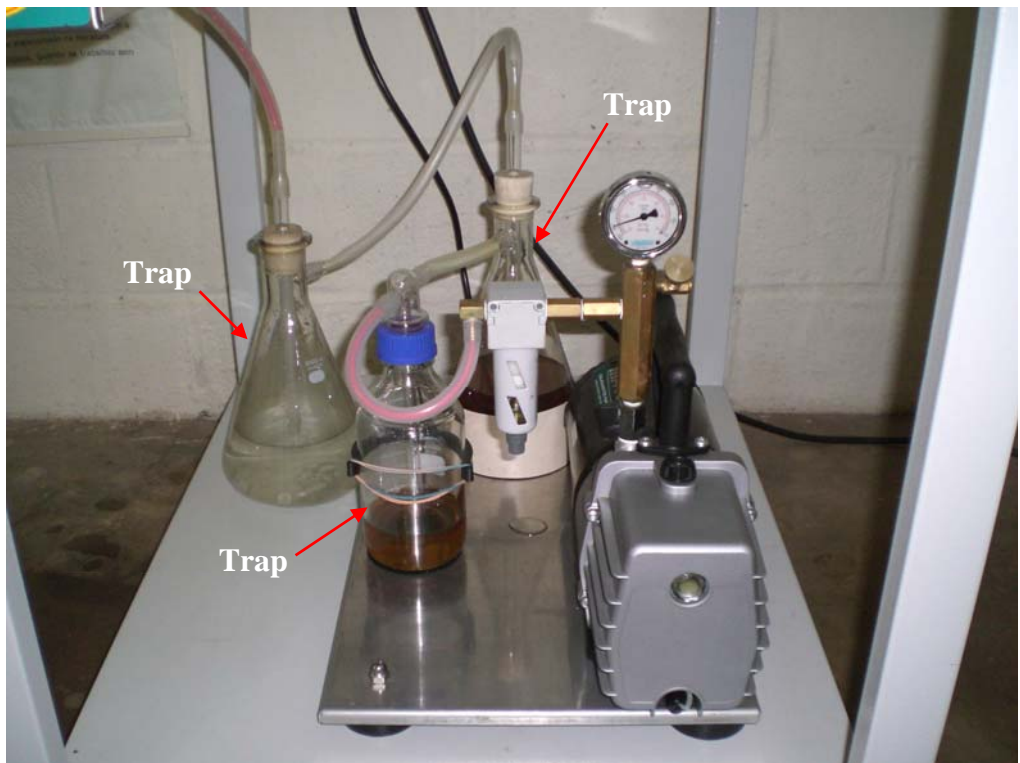


**FIGURA 7A** - Entablicamento e sistema para fixação das madeiras utilizadas nos tratamentos térmicos.





**FIGURA 7B** – Vista frontal das grades utilizadas para as amostras tratadas termicamente.



**FIGURA 8** - Sistema de vácuo, composto por uma bomba de vácuo e três traps.

Os tratamentos térmicos na estufa consistiram em: Tratamento térmico em estufa a vácuo **sem nitrogênio** e Tratamento térmico em estufa á vácuo **com nitrogênio**.

Seguindo o mesmo padrão dos tratamentos térmicos realizados na prensa, antecedendo cada tratamento térmico as amostras foram pesadas e medidas (largura, comprimento e espessura), para futuro cálculo de perda de massa.

As temperaturas utilizadas foram iguais a 180, 200 e 220 °C, durante uma hora. Atingida a temperatura desejada as madeiras entablicadas foram colocadas na estufa e o sistema de vácuo, ligado. Após o término do tratamento, essa madeira foi retirada e levada para uma sala climatizada onde permanecia até seu resfriamento de  $\pm 25$  °C. Após o resfriamento as amostras foram novamente pesadas e medidas suas dimensões. Depois as madeiras foram entablicadas ao ar livre, onde permaneceram até atingirem a umidade de equilíbrio higroscópico. Posteriormente foram feitos os corpos de prova para proceder aos ensaios físicos e mecânicos.

Inicialmente, em cada ensaio, foram termorretificadas 8 amostras. Após o ensaio, a amostra que apresentava pior aspecto foi descartada. Esse descarte foi necessário, uma vez que, para garantir que as peças fossem distribuídas de forma homogenia no entablicamento, sendo necessário um número par de peças (Figura 9). Assim, como no tratamento anterior, ficaram 7 amostras por ensaio, contabilizando uma repetição para cada temperatura. Foram feitas 3 repetições. Totalizando 63 peças para cada espécie.



**FIGURA 9** – Alinhamento das amostras na grade.

Os tratamentos com a presença de nitrogênio foram realizados utilizando a mesma metodologia do tratamento sem nitrogênio, a única modificação foi a injeção do nitrogênio depois que as amostras foram colocadas na estufa. Após o preenchimento total da câmara com nitrogênio, a válvula de gás foi fechada e o tempo foi cronometrado a partir deste momento. Os passos seguintes são análogos aos descritos anteriormente, para a estufa à vácuo sem nitrogênio.

Foram feitas avaliações semanais das amostras termorretificadas, que foram pesadas e medidas (largura, espessura e comprimento). Essas avaliações foram feitas por 8 semanas consecutivas, garantindo-se que o material estivesse em equilíbrio com o meio. As peças que sofreram algum dano durante o processo térmico não foram descartadas, foram identificadas e passaram pelas mesmas avaliações que as demais. Após equilíbrio todo material foi cortado em corpos-de-provas de conformidade com seus respectivos testes, conforme abordagem nos capítulos seguintes.

#### **4.4. Ensaio físicos**

Para a determinação da umidade, densidade básica, retratibilidade (tangencial, radial e axial) e o coeficiente de anisotropia, foram utilizadas as amostras das 5 espécies termorretificadas e as não termorretificadas (testemunha). As amostras foram retiradas de cada tratamento e suas referentes repetições. O procedimento do ensaio seguiu a norma NBR-7190 (1997) da ABNT.

O teor de umidade foi determinado pelo método de secagem em estufa. Para tanto as amostras foram mantidas em estufa aquecida a  $103 \pm 2$  °C até massa constante.

A massa específica básica foi determinada de acordo com a NBR-7190 (1997) da ABNT. Os corpos de prova foram saturados determinando as suas dimensões na direção radial, tangencial e axial e calculado o volume saturado. Em seguida essas amostras foram levadas para estufa com temperatura de  $103 \pm 2$  °C para secagem até peso constante, obtendo-se o peso completamente seco.

Para os ensaios de retratibilidade os corpos de prova foram saturados e a seguir foram determinadas as dimensões radial, tangencial e axial e pesados. Posteriormente as amostras foram levadas para uma estufa de ventilação forçada a uma temperatura de  $103 \pm 2$  °C, até peso constante. Realizaram-se novamente as medições de cada amostra absolutamente seca.

#### **4.5. Ensaio mecânicos**

Os materiais utilizados neste trabalho para a realização dos testes mecânicos foram às espécies termorretificadas e as não tratadas, denominadas testemunha. As amostras foram retiradas de cada tratamento e suas respectivas repetições. O número e o formato dos corpos de prova, para cada teste, foram confeccionados de acordo com a norma NBR 7190 (ABNT, 1997). Os testes mecânicos foram realizados em máquina universal CONTENCO de ensaios, gerenciada por um computador.

Os ensaios de dureza Janka seguiram a metodologia preconizada pela NBR 7190 (ABNT, 1997) para esses ensaios.

A resistência a flexão estática foi determinada conforme estabelecido pela norma do Instituto de Pesquisas Tecnológicas (1956), Métodos de ensaios adotados no IPT para os estudos de madeiras nacionais, optou-se por esta norma, pois os corpos de prova obtidos neste trabalho não atenderam as dimensões da norma NBR 7190.

#### **4.6. Condução experimental e Análises estatísticas**

O experimento foi conduzido em Delineamento Inteiramente Casualizado (DIC), em um esquema fatorial de 3 x 4 x 5 x 3 x 7 ( 3 métodos de tratamento térmico x 4 temperaturas x 5 espécies x 3 repetições x 7 amostras/repetição), totalizando 945 tábuas tratadas e 315 testemunhas.

A análise de variância (ANOVA) foi realizada para cada um dos parâmetros analisados (umidade, densidade, retração volumétrica, dureza, módulo de elasticidade e ruptura, etc.); Observando-se diferenças significativas as médias foram comparadas empregando-se o teste de Tukey a 5% de probabilidade.

As análises estatísticas foram feitas no software SAEG, através de planilhas do Excel.

## **5. RESULTADOS E DISCUSSÕES**

### **5.1. Propriedades físicas das madeiras termorretificadas**

#### **5.1.1. Umidade de Equilíbrio higroscópico**

Na Tabela 1 são apresentados os valores médios de umidade de equilíbrio higroscópico da madeira das diferentes espécies tratadas termicamente.

A análise de variância indicou que a umidade de equilíbrio higroscópico da madeira das diferentes espécies foi afetada pelos tratamentos, ocorrendo interações significativas entre o método e a temperatura de tratamento térmico.

Verificou-se que a madeira não tratada termicamente apresentou significativamente a maior umidade de equilíbrio quando comparada com os diferentes métodos e temperatura, evidenciando que os tratamentos térmicos reduzem a higroscopicidade da madeira. Essa redução da higroscopicidade com o aumento da temperatura era esperada. E foi observada por outros pesquisadores tais como, Durlo (1991b), Kozlik (1976) e Oliveira e Tomaselli (1981). Para os três métodos analisados, verifica-se que para as diferentes espécies tratadas termicamente, a menor umidade de equilíbrio higroscópico foi encontrado para a temperatura de 220 °C, corroborando com os resultados dos autores citados acima.

Mellado (2007) afirma que a transferência de calor traz como consequência a perda de umidade, com a água movimentando-se do interior à superfície da peça de madeira, através de mecanismo de capilaridade e difusão, e da superfície da madeira para o ar pela evaporação.

**TABELA 1** - Valores médios de umidade de equilíbrio higroscópico (%) das madeiras de *Eucalyptus grandis*, Bracatinga, Peroba mica, *Eucalyptus .sp* e Cumaru em função do método e da temperatura de termorretificação.

Espécies	Temperatura (°C)	Métodos		
		Prensa	Estufa a vácuo	Estufa a vácuo com N <sub>2</sub>
<i>Eucalyptus grandis</i>	Testemunha	15,54 Aa	15,54 Aa	15,54 Aa
	180	11,02 Ab	3,09 Cb	10,11 Bb
	200	10,56 Ab	2,55 Bb	10,09 Ab
	220	9,30 Ac	2,57 Bb	9,44 Ab
Bracatinga	Testemunha	15,49 Aa	15,49 Aa	15,49 Aa
	180	12,35 Bb	3,28 Cb	12,83 Ab
	200	11,94 Bb	2,77 Cc	12,59 Ab
	220	10,60 Bc	2,74 Cc	11,67 Ac
Peroba Mica	Testemunha	14,92 Aa	14,92 Aa	14,92 Aa
	180	10,83 Bb	2,12 Cb	11,49 Ab
	200	10,29 Bb	1,54 Cb	11,26 Ab
	220	9,43 Bc	1,24 Cc	10,27 Ac
<i>Eucalyptus sp</i>	Testemunha	16,70 Aa	16,70 Aa	16,70 Aa
	180	10,28 Bb	4,49 Cb	12,96 Ab
	200	9,45 Bc	3,33 Cc	12,73 Ab
	220	8,63 Bd	2,78 Cd	12,50 Ac
Cumaru	Testemunha	13,13 Aa	13,13 Aa	13,13 Aa
	180	8,09 Bb	1,40 Cb	10,11 Ab
	200	7,73 Bb	1,50 Cb	10,09 Ab
	220	6,47 Bb	1,35 Cb	9,44 Ab

Médias ao longo das linhas seguidas de mesmas letras maiúsculas e ao longo das colunas seguidas de mesmas letras minúsculas, para a mesma espécie, não diferem significativamente entre si pelo teste Tukey, a 5% de probabilidade.

Esta redução da higroscopicidade depende de vários fatores, como a espécie, porcentagem de lignina, celulose e hemiceluloses (principalmente), quantidade de extrativos e tratamento térmico e químico dados à madeira.

Neste trabalho esta redução da higroscopicidade é provavelmente resultante de modificações químicas, em especial a degradação parcial das hemiceluloses.

Foi observado que o comportamento das espécies tratadas foi semelhante para todas, ou seja, a umidade de equilíbrio higroscópico para o método da estufa a vácuo com N<sub>2</sub> foi maior que o método da prensa que por sua vez foi maior que o método da estufa à vácuo sem nitrogênio.

Analisando o efeito dos métodos, Tabela 1, observa-se que a madeira termicamente tratada na da estufa à vácuo sem nitrogênio, apresentou a menor umidade de equilíbrio higroscópico, para todas as espécies, sendo significativamente diferente dos demais métodos, independente da temperatura. O aquecimento na prensa e na estufa à vácuo com nitrogênio em geral tiveram comportamento semelhante não diferenciando entre si estatisticamente.

Quando comparado os dois métodos da estufa, nota-se que ambos também apresentaram valores menores de equilíbrio higroscópico para as temperaturas de 220 °C. No entanto para as espécies de *Eucalyptus grandis* e Cumaru, esses valores não foram significativamente diferentes das demais temperaturas dos seus respectivos métodos. Quando analisada as espécies Bracatinga, Peroba mica e E.sp foi observado uma pequena diferença entre as temperaturas e seus respectivos métodos.

### **5.1.2. Densidade básica**

A análise de variância indicou que a densidade básica da madeira das diferentes espécies foi afetada pelos tratamentos, ocorrendo efeito isolado do método e da temperatura de tratamento térmico, exceto para a espécie Bracatinga. Já para o *Eucalyptus sp.* a análise de variância indicou que a



densidade básica da madeira foi afetada pelos tratamentos, ocorrendo interação significativa entre o método e a temperatura de tratamento térmico.

Nas Tabelas 2, 3, 4, 5 e 6 são apresentados os valores médios da densidade básica da madeira das diferentes espécies tratadas termicamente em função das temperaturas.

**TABELA 2** – Efeito da temperatura na densidade básica da madeira de *Eucalyptus grandis* em função da temperatura de termoretificação.

Temperatura °C	Densidade (g/cm <sup>3</sup> )
Testemunha	0,52 a
180	0,52 a
200	0,52 a
220	0,48 b

Médias ao longo da coluna seguida de mesmas letras minúsculas não diferem significativamente entre si pelo teste Tukey, a 5% de probabilidade.

Os valores de densidade básica encontrados neste trabalho para o *Eucalyptus grandis* variaram de 0,48 g/cm<sup>3</sup> a 0,52 g/cm<sup>3</sup>, esta variação esta de acordo a literatura, que cita densidades variando entre 0,45 e 0,55 g/cm<sup>3</sup> (FOELKEL,1978; HASELEIN et. al., 2000; LATORRACA e ALBUQUERQUE, 2002; OLIVEIRA e TOMASELLI,1981).

Observa-se, na Tabela 2, que apenas a densidade da madeira tratada a 220 °C foi significativamente afetada pela temperatura, sendo menor do que a densidade da testemunha e dos demais tratamentos. Esta redução de densidade pode ter sido ocasionada pela perda de massa, decorrente da degradação de seus constituintes químicos, sobretudo as hemiceluloses que são menos estáveis termicamente e degradam-se mais rapidamente, em comparação com os outros constituintes primários (celulose e lignina). Conforme relatado por Guedira (1998), Volvelle e Mellottee (1982), Pincelli et. al. (2002), Dulchez e Guyonnet (2002), estas temperaturas estariam entre 100 e 250 °C.

Analisando o efeito da temperatura na densidade da madeira de Peroba mica observou-se que houve uma diferença significativa para as madeiras que

foram aquecidas, independentemente da temperatura, quando comparadas com a testemunha.

**TABELA 3** - Valores médios de densidade básica da madeira de Peroba mica em função da temperatura de termorretificação.

Temperatura °C	Densidade (g/cm <sup>3</sup> )
Testemunha	0,61 b
180	0,62 ab
200	0,63 a
220	0,62 ab

Médias ao longo da coluna seguida de mesmas letras minúsculas não diferem significativamente entre si pelo teste Tukey, a 5% de probabilidade.

Estes resultados não estão inteiramente de acordo com a literatura, já que é um consenso entre os pesquisadores que a temperaturas maiores a tendência da densidade é diminuir. Contudo, isto pode ser explicado pela heterogeneidade da madeira, tendo em vista que a densidade é uma propriedade que está associada à vários fatores. Diante de tantas variáveis para o cálculo da massa específica, Tomazello Filho (1994) e Garcia (1995) consideram uma característica complexa, considerando-se que é o resultado de diferentes porcentagens de diversos tipos de células que, por sua vez, variam em diâmetro, espessura de parede e comprimento, contendo teores variáveis de extrativos.

Para a madeira de Cumaru, Tabela 4, a densidade básica observado na madeira aquecida na prensa apresentou menor valor, porém não diferiu daquela observada na estufa a vácuo com nitrogênio. Este resultado pode estar ligado à volatilização dos extrativos, uma vez que foi observado no tratamento da prensa e da estufa à vácuo com nitrogênio, uma quantidade maior de extrativos que migraram para superfície da madeira, para todas as temperaturas.

Para estufa à vácuo a quantidade de extrativos que deslocou para a superfície foi visivelmente inferior aos outros métodos. Estes resultados corroboram aqueles encontrados por Nuopponem (2003), que observou que muito extrativos, especialmente as ceras e as gorduras de baixa massa

molecular, migraram para a superfície quando as amostras foram submetidas a tratamentos térmicos entre 100 e 160 °C e evaporaram completamente quando submetidos a tratamentos em 180 °C. No entanto este mesmo autor repete que para tratamentos térmicos acima de 200 °C, nenhuma resina foi detectada na superfície da madeira ou no seu interior, contrariando os resultados encontrados neste trabalho, onde foi notada a presença de extrativos na superfície, acima de 200 °C. Esta diferença de resultados pode ser explicada pelo tempo que a madeira ficou exposta ao tratamento térmico, pois o autor citado acima usou um tempo maior do que o autor deste trabalho.

**TABELA 4** - Valores médios de densidade básica da madeira de Cumaru em função do método de termorreificação.

Métodos	Densidade (g/cm <sup>3</sup> )
Prensa	0,87 b
Estufa a vácuo	0,90 a
Estufa a vácuo (N <sub>2</sub> )	0,89 ab

Médias ao longo da coluna seguida de mesmas letras minúsculas não diferem significativamente entre si pelo teste Tukey, a 5% de probabilidade.

Não se observou efeito significativo da temperatura na densidade, mesmo quando comparada com a testemunha (0,90 g/cm<sup>3</sup>). Contudo nota-se que em geral houve uma tendência em diminuir a densidade com o aumento da temperatura. Esse comportamento era esperado uma vez que a diminuição da densidade está diretamente ligada a um menor teor de umidade, evaporação de extrativos durante o tratamento térmico, degradação de componentes da madeira, especialmente a hemicelulose, e evaporação dos produtos de degradação (Boontra et. al. 2007).

São apresentados na Tabela 5 as médias da densidade básica da madeira de *Eucalyptus sp* tratada termicamente em função dos métodos e suas respectivas temperaturas.

**TABELA 5** - Valores médios de densidade básica (g/cm<sup>3</sup>) da madeira de *Eucalyptus sp.* em função do método e da temperatura de termorretificação.

Temperatura °C	Métodos		
	Prensa	Estufa a vácuo	Estufa a vácuo com N <sub>2</sub>
Testemunha	0,63 Aa	0,63 Ab	0,63 Aa
180	0,61 Aab	0,62 Ab	0,59 Ab
200	0,60 Bb	0,66 Aa	0,61 Bab
220	0,60 Ab	0,62 Ab	0,62 Aa

Médias ao longo das linhas seguidas de mesmas letras maiúsculas para o método e ao longo das colunas seguidas de mesmas letras minúsculas para a temperatura não diferem significativamente entre si pelo teste Tukey, a 5% de probabilidade.

Verificou-se que a madeira não tratada termicamente apresentou em geral, de modo significativo a maior densidade quando comparada com os diferentes métodos e temperatura. Esta diminuição na densidade era esperada, pois conforme explicado anteriormente, quando a madeira é aquecida a temperaturas elevadas ocorre uma alteração no valor da densidade, independente da espécie estudada, o princípio das reações que ocorrem na madeira são os mesmos.

De um modo geral não houve diferenças entre os métodos na densidade, exceto entre os tratamentos da prensa e da estufa à vácuo com nitrogênio que foram iguais entre si para a temperatura de 200°C. É possível que essa diferença seja explicada pela própria característica da madeira (genótipo, idade, etc), como já dito, a madeira é um material muito heterogêneo. Sendo a densidade uma das principais propriedades tecnológicas da madeira e considerando está diretamente ligada a outras propriedades (físicas, químicas e mecânicas) da madeira, essa não redução da densidade é desejável, porquanto não afetará de forma negativa as demais propriedades que estão ligadas a ela.

### 5.1.3. Retratabilidade da madeira

Os valores médios das retrações e volumetria da madeira de *E. grandis* tratada termicamente são apresentados na Tabela 6.

**TABELAS 6-** Médias de retratabilidade da madeira de *Eucalyptus grandis* em função do método e da temperatura de termorretificação.

Espécie	Método	Temperatura (°C)	Retração axial (%)	Retração radial (%)	Retração tangencial (%)	Retração volumétrica (%)	Coefficiente de anisotropia (adm) <sup>1</sup>
<i>Eucalyptus grandis</i>	Prensa	Testemunha	0,32	6,44	6,60	13,00	1,10
		180	0,21	6,11	6,89	12,76	1,15
		200	0,35	5,47	6,91	12,53	1,27
		220	0,20	5,48	5,99	11,31	1,12
	Estufa à vácuo	Testemunha	0,32	6,44	6,60	13,00	1,10
		180	0,36	7,27	7,29	14,34	1,04
		200	0,43	7,08	7,78	14,67	1,13
		220	0,32	7,22	6,87	13,79	0,98
	Estufa á vácuo com nitrogênio	Testemunha	0,32	6,44	6,60	13,00	1,10
		180	0,32	7,72	7,49	14,81	1,01
		200	0,51	6,67	7,43	14,04	1,13
		220	0,38	6,96	7,04	13,83	0,96

<sup>1</sup>Adm.= adimensional

Pode-se observar que a retratabilidade tangencial é maior que a radial, enquanto que retração axial é menor que as demais, estes valores estão de acordo com os valores encontrados por Oliveira (1997), Pinto (2005) e Silva (2002).

Estudando a retratabilidade do *Eucalyptus grandis*, Silva (2002), encontrou valores de 6,7 % (retração radial), 9,4% (retração tangencial), 16,5% (retração volumétrica total) e 1,73 (coeficiente de anisotropia). Por outro lado Oliveira (1997) e Pinto (2005) encontraram valores de 7,35 e 4,7 % (contração radial), 7,62 e 9,1 % (contração tangencial), 17,31 e 13,6 % (contração volumétrica), 1,10 e 2,0 (coeficiente de anisotropia), respectivamente. Essas diferenças nas contrações entre os resultados encontrados neste trabalho e em outros, são explicadas pela constituição anatômica da madeira, podendo ser influenciada pelas proporções de fibras, parênquima, ângulo microfibrilar, ou, mesmo a constituição química da madeira, além disso, esses fatores estão diretamente ligados a idade da árvore (LOVATTI, 2008).

A análise de variância indicou que a retratibilidade da madeira de *Eucalyptus grandis* foi afetada (Tabela 7), pelo método e pela temperatura de tratamento térmico, exceto para a retração axial.

**TABELA 7** - Valores médios da retração radial, tangencial e coeficiente de anisotropia da madeira de *Eucalyptus grandis* em função do método de termorreificação.

Métodos	Retração radial (%)	Retração tangencial (%)	Coefficiente de anisotropia (adm) <sup>1</sup>
Prensa	5,87 b	6,59 b	1.15 a
Estufa a vácuo	7,00 ab	7,13 a	1.06 ab
Estufa a vácuo (N <sub>2</sub> )	7,51 a	7,14 a	1.04 b

Médias ao longo da coluna seguida de mesmas letras minúsculas não diferem significativamente entre si pelo teste Tukey, a 5% de probabilidade  
<sup>1</sup>adm=adimensional

Através dos resultados obtidos para retração radial (Tabela 7) observou-se que o menor valor encontrado foi no método da prensa, porém esse método não diferenciou estatisticamente do método da estufa à vácuo sem nitrogênio. Quando comparado os métodos da estufa entre si, foi observado que esses não diferenciaram estatisticamente. Evidenciando que a presença do nitrogênio, que torna o meio inerte, não influenciou significativamente no resultado. Em relação à retração radial da testemunha (6,44%), apenas o método da prensa foi inferior a esta. No entanto os métodos da estufa, apesar de apresentarem valores de contrações radiais e tangenciais maiores, apresentam um coeficiente de anisotropia menor que o método da prensa, e um valor muito próximo de um, que é o desejado, pois um valor próximo a 1 indica que a razão entre a contração tangencial e radial é inexistente, indicando que a madeira tem excelente qualidade (móveis finos, esquadrias, barcos, instrumentos musicais, aparelhos de esporte, assoalhos, etc.). Segundo USDA (1974), esses efeitos combinados da retração tangencial e radial ocasionam mudanças na forma das peças de madeira por causa das diferenças nas retrações e na curvatura dos anéis de crescimento. Deste modo, a retração e a deformação variam conforme a posição radial de onde a peça de madeira foi retirada.

Observou-se que a retração volumétrica foi afetada pelos tratamentos, ocorrendo interação significativa entre o método e a temperatura de tratamento térmico.

**TABELA 8** - Médias da retração volumétrica total da madeira de *Eucalyptus grandis* em função do método e da temperatura de termorretração.

Temperatura °C	Métodos		
	Prensa	Estufa a vácuo	Estufa a vácuo com N <sub>2</sub>
Testemunha	13,00 Aa	13,00 Ab	13,00 Ab
180	12,76 Ba	14,34 Aa	14,81 Aa
200	12,53 Ba	14,67 Aa	14,04 Aa
220	11,31 Bb	13,79 Ab	13,83 Ab

Médias ao longo das linhas seguidas de mesmas letras maiúsculas para o método e ao longo das colunas seguidas de mesmas letras minúsculas para a temperatura não diferem significativamente entre si pelo teste Tukey, a 5% de probabilidade.

Os menores valores de retração volumétrica foram encontrados para o método da prensa, independente da temperatura, que foi estatisticamente diferente dos dois demais métodos da estufa. Observa-se, na Tabela 8, no método da prensa, que apenas a retração volumétrica da madeira tratada a 220 °C foi significativamente afetada pela temperatura, tendo a menor retração e diferenciando-se da testemunha e dos demais tratamentos. Quanto menor for a retração volumétrica melhor é a madeira, uma vez que haverá menor movimentação dimensional. Madeira com retração volumétrica entre 12,33 e 19,33 % é considerada de média retração. Retração volumétrica acima de 19,4% é considerada alta, conforme o IPT (1985). Diante dos resultados encontrados neste trabalho para as contrações volumétricas advindas dos seus respectivos tratamentos térmicos, foi observado que a madeira não mudou de classe, apenas houve uma melhora nestas contrações, exceto para o método da prensa a 220 °C, onde foi encontrado um valor de 11,31% que reclassificaria essa madeira como sendo de baixa contração volumétrica.

Na Tabela 9, são apresentados os resultados do valor médio, das contrações axiais, tangenciais, radiais, volumétricas e os coeficientes de anisotropia para o *Eucalyptus sp.*

**TABELA 9-** Médias de retratibilidade da madeira de *Eucalyptus sp* em função do método e da temperatura de termorreificação.

Espécie	Método	Temperatura (°C)	Retração axial (%)	Retração radial (%)	Retração tangencial (%)	Retração volumétrica (%)	Coefficiente de anisotropia (adm) <sup>1</sup>
<i>Eucalyptus sp</i>	Prensa	Testemunha	0,40	7,55	8,45	15,70	1,12
		180	0,12	5,86	6,55	12,15	1,27
		200	0,28	5,72	6,72	12,24	1,20
		220	0,25	5,49	5,41	10,77	1,04
	Estufa à vácuo	Testemunha	0,40	8,45	7,55	15,70	1,12
		180	0,32	7,13	7,70	14,56	1,14
		200	0,29	7,20	6,66	13,76	1,14
		220	0,27	6,90	7,68	14,29	1,16
	Estufa à vácuo com nitrogênio	Testemunha	0,40	8,45	7,55	15,70	1,12
		180	0,45	6,92	7,50	14,38	1,11
		200	0,47	6,67	7,73	14,22	1,26
		220	0,38	7,05	7,70	14,01	1,13

<sup>1</sup>Adm.= adimensional

As médias para as contrações foram iguais a 8,45 % (retração radial), 7,55 % (retração tangencia), 15,70 % (retração volumétrica) e 0,93 (coeficiente de anisotropia). Esses valores estão próximos aos encontrados por Santos (2008), Carmo (1996), Moura et. al. 2003 e ANPM (2006). Assim como no *Eucalyptus grandis* foi observado uma diminuição dos valores de contrações com o aumento da temperatura, independente do método. Os valores encontrados para as madeiras termicamente tratadas foram todos inferiores a madeira original (testemunha), comprovando a influência do tratamento térmico na redução estabilidade dimensional.

Ainda que quando comparados os métodos entre si, estes não foram estatisticamente diferentes, observa-se que para o método da presa em média todas as contrações foram menores que os outros métodos, ou seja, para essa espécie o método da prensa foi mais eficiente.

Nota-se que para a temperatura de 220 °C foi encontrado o menor valor para todas as contrações.

Os valores médios das retrações da madeira de Bracatinga são apresentados na Tabela 10, que o são similares aos encontrados por Costa et. al. (2001) e IPT (1956).



Verificou-se, através da análise de variância, que apenas a retração axial foi afetada pela temperatura. As demais médias não diferiram significativamente entre si e não se observou interações significativas.

**TABELAS 10-** Médias para retratibilidade da madeira de Bracatinga em função do método e da temperatura de termorreificação.

Espécie	Método	Temperatura (°C)	Retração axial (%)	Retração radial (%)	Retração tangencial (%)	Retração volumétrica (%)	Coefficiente de anisotropia (adm) <sup>1</sup>
<b>Bracatinga</b>	Prensa	Testemunha	0,51	6,47	8,11	14,49	1,37
		180	0,29	7,30	7,16	14,01	1,12
		200	0,49	6,78	7,62	14,19	1,26
		220	0,24	6,79	7,49	13,76	1,15
	Estufa à vácuo	Testemunha	0,51	6,47	8,11	14,49	1,37
		180	0,38	6,84	7,94	14,58	1,32
		200	0,32	6,92	8,13	14,80	1,34
		220	0,31	7,23	7,86	14,81	1,23
	Estufa à vácuo com nitrogênio	Testemunha	0,51	6,47	8,11	14,49	1,37
		180	0,25	6,22	9,01	14,92	1,61
		200	0,35	7,74	6,87	14,41	1,00
		220	0,21	6,45	7,44	13,98	1,06

<sup>1</sup>Adm.= adimensional

Apesar das diferenças não terem sido significativas, no caso da retração radial e tangencial, observa-se que de um modo geral, tiveram um comportamento semelhante, já que ambas independentes do método, com a elevação da temperatura, se tornaram mais estáveis. Esses resultados corroboram com os de outros autores, Brito et al. (2006), que observaram que o aumento da temperatura interfere de forma positiva reduzindo as contrações da madeira. Talvez se o tempo de aquecimento fosse estendido essa retração poderia ser significativa.

A retração volumétrica também diminuiu para os métodos da prensa e da estufa à vácuo com nitrogênio, com o aumento da temperatura. Isto não foi observado para o método da estufa a vácuo sem nitrogênio, onde os valores aumentaram com o aumento da temperatura. Quando comparado com o valor original, nota-se que independente do método ou da temperatura as contrações volumétricas foram de modo geral menores que a testemunha, evidenciando que o tratamento térmico torna a madeira dimensionalmente mais estável. Essa

menor retratibilidade viria da redução dos sítios de sorção da madeira, sobretudo das hidroxilas, que se envolvem com as moléculas de água durante as trocas de umidade (BRITO et. al. 2006; GOHAR e GUYONNET, 1998).

O aumento na temperatura, independente do método de termorretrificação ocasionou redução no coeficiente de anisotropia. Nota-se que todos os valores foram menores que a madeira original (1,37 testemunha). Os coeficientes de anisotropia para a bracatinga, observados foram inferiores aos encontrados na literatura. Diversos autores consideram a madeira de bracatinga como sendo de alta contração, por apresentar uma anisotropia de contração alta, maior que 2,0 (MORESCHI, 1997; GALVÃO e JANKOWSKI, 1985). Essa alta contração limita o uso da madeira para determinados fins. Com os valores observados neste trabalho, a madeira de bracatinga passa de uma madeira de qualidade normal para uma classificação de excelente, ampliando sua utilização. Portanto o tratamento térmico melhorou a estabilidade desta madeira.

A Tabela 11 apresenta os valores médios dos ensaios de retratibilidade da madeira de Peroba mica.

Comparando os valores de estabilidade da madeira obtido neste trabalho com alguns encontrados na literatura revela algumas discrepâncias, confirmando a variabilidade de retrações existentes em uma mesma espécie e, até mesmo, em uma mesma árvore, relatadas por Desch e Dinwoodie (1981) e por Simpson (1991).

Langsdon (2007) e Lovatti (2008) encontraram valores, respectivamente, entre 3,63 e 6,24 % (retração radial), 6,85 e 9,41 % (retração tangencial), 10,36 e 16,59 % (retração volumétrica) e 1,98 e 1,51 (coeficiente de anisotropia) para a madeira de Peroba mica.

Os valores médios encontrados para as retrações não foram estatisticamente diferentes entre si, mas no geral foram observadas algumas reduções nesses valores.

**TABELA 11-** Médias de retratibilidade da madeira de Peroba mica em função do método e da temperatura de termorretificação.

Espécie	Método	Temperatura (°C)	Retração axial (%)	Retração radial (%)	Retração tangencial (%)	Retração volumétrica (%)	Coefficiente de anisotropia (adm) <sup>1</sup>
Peroba mica	Prensa	Testemunha	0,40 a	5,65	5,98	11,66	1,16
		180	0,27 ab	5,81	7,54	13,12	1,36
		200	0,24 ab	5,78	5,48	11,18	1,10
		220	0,16 bb	5,36	5,46	10,68	1,05
	Estufa à vácuo	Testemunha	0,40	5,65	5,98	11,66	1,16
		180	0,26	6,15	6,31	12,28	1,08
		200	0,28	5,46	6,06	13,37	1,43
		220	0,20	5,37	6,23	11,52	1,23
	Estufa á vácuo com nitrogênio	Testemunha	0,40	5,65	5,98	11,66	1,16
		180	0,22	4,22	6,37	10,52	1,64
		200	0,21	5,34	5,71	10,80	1,21
		220	0,19	5,25	6,51	11,58	1,31

Médias ao longo das colunas seguidas de mesmas letras minúsculas para a temperatura não diferem significativamente entre si pelo teste Tukey, a 5% de probabilidade.

<sup>1</sup>Adm.= adimensional ;

Observa-se (Tabela 11) que a retração radial e tangencial, em geral, foram menores que a testemunha (5,65 e 5,98% respectivamente), porém não diferiram estatisticamente. Essas retrações em geral vão diminuindo com o aumento da temperatura, exceto para temperatura 180 °C, o qual foi observado valores maiores que a testemunha. Esse resultado não vai de encontro aos estudos e resultados encontrados na literatura, uma vez que um menor valor de retração era esperado com o aumento da temperatura. No entanto, esse aumento, pode provocar diferentes níveis de transformação na madeira, aos quais estariam associados a vários fatores, até mesmo modificação das estruturas químicas dos principais constituintes e não somente sua degradação (Brito, 1992). Segundo Vovelle e Mellotte (1982), estas temperaturas provocam alterações e novos arranjos nas ligações químicas estruturais e podem afetar negativamente as propriedades da madeira tratada termicamente.

Apenas a retração axial foi afetada pela temperatura de termorretificação (Tabela 11), observou-se que para a testemunha, 180 e 200 °C as temperaturas não foram diferentes entre si. A maior diferença ocorreu entre a testemunha e a temperatura de 220 °C, que diferiram estatisticamente entre si.

Para os valores de contrações volumétricas também foi observado algumas reduções nos valores em função do aumento da temperatura. No

entanto para a temperatura de 180°C foi observado, um aumento na contração volumétrica em relação à testemunha, contrariando o resultado esperado.

Diante dos resultados expostos na Tabela 11, notou-se que tratamento térmico proporcionou uma melhoria na estabilidade dimensional da madeira, mesmo não se obtendo valores significativos estatisticamente dos tratamentos térmicos em relação a testemunha.

Na Tabela 12 são apresentados de forma sumarizada os resultados das contrações e coeficiente de anisotropia da madeira de cumaru.

Na literatura em média para a madeira de cumaru foi encontrado 5,4 % para retração radial, 8,4% para retração tangencial, 12% para retração volumétrica e coeficiente de anisotropia 1,55 (IBAMA, 1997; INSTITUTO, 1988; INSTITUTO,1981; Souza *et al.*,1997). Verifica-se que os valores médios obtidos neste trabalho foram menores aos observados pela literatura, tanto para as madeiras termorretilificadas quanto para a testemunha.

**TABELAS 12** - Médias de retratibilidade da madeira de Cumaru em função do método e da temperatura de termorretilificação.

Espécie	Método	Temperatura (°C)	Retração axial (%)	Retração radial (%)	Retração tangencial (%)	Retração volumétrica (%)	Coeficiente de anisotropia (adm) <sup>1</sup>
Cumaru	Prensa	Testemunha	0,18	4,40	6,08	10,18	1,48
		180	0,69	4,90	5,26	9,84	0,82
		200	0,21	5,03	5,00	9,75	1,08
		220	0,10	4,86	8,82	10,18	2,04
	Estufa à vácuo	Testemunha	0,18	4,40	6,08	10,18	1,48
		180	0,20	4,19	4,03	8,19	0,97
		200	0,27	4,63	5,06	9,63	1,18
		220	0,18	4,38	5,16	9,44	1,19
	Estufa à vácuo com nitrogênio	Testemunha	0,18	4,40	6,08	10,18	1,48
		180	0,20	4,87	4,99	9,79	1,09
		200	0,24	4,36	4,75	9,07	1,00
		220	0,15	4,06	5,20	9,16	1,36

<sup>1</sup> adm = adimensional.

Avaliando a retração radial do Cumaru observou-se que para a madeira termorretrificada na prensa os valores observados foram maiores que o da madeira original, para todas as temperaturas. Entretanto para os métodos da estufa o mesmo não foi observado, as contrações radiais foram menores com o aumento da temperatura, sendo os menores valores encontrados para a estufa à vácuo com nitrogênio.

Para a retração tangencial os valores encontrados foram inferiores a madeira original, exceto para o método da prensa na temperatura de 220 °C onde o valor encontrado foi bem superior a testemunha.

A retração volumétrica e o coeficiente de anisotropia não seguiram uma tendência no comportamento em relação ao aumento da temperatura, tiveram comportamentos diferentes, no entanto todos os valores encontrados foram inferiores a testemunha.

Durante o processo do tratamento térmico foi observado para o método da prensa uma maior migração dos extrativos para a superfície, e quanto maior a temperatura maior foi essa migração, causando um escurecimento excessivo na madeira e a formação de uma goma ou resina superficial, principalmente nas madeiras com maior percentual de cerne, fator este que pode explicar o aumento na contração tangencial, volumétrica e coeficiente de anisotropia para a temperatura de 220 °C. Os extrativos não se volatilizaram nas temperaturas utilizadas nesse trabalho, resultados esses contrários a literatura, segundo Nuopponen (2003) muitos extrativos, especialmente as ceras e as gorduras de baixo peso molecular, migraram para a superfície quando as amostras foram submetidas à tratamentos térmicos entre 100 a 160°C e evaporaram completamente quando submetidos ao tratamento em 180°C. Para tratamentos térmicos acima de 200 °C, nenhuma resina foi detectada nem na superfície da madeira e nem no seu interior. Essa diferença pode ser explicada por dois motivos. Os extrativos presentes no cumaru são de alto peso molecular ou o tempo de tratamento térmico utilizado neste trabalho não foi suficiente para que ocorresse a volatilização, no entanto estas respostas só poderão vir com estudos futuros.

Nos métodos da estufa à vácuo, não foi observado extrativos na superfície da madeira, apenas alguns pontos, indicando a presença dos extrativos. Manninen et. al. (2002), do mesmo modo estudando madeira tratada termicamente observou a presença de poucos compostos voláteis na câmara onde eram tratadas amostras de pinheiro escocês a 230 °C. Contrariamente alguns autores descreveram a detecção de um maior índice de contaminação atmosférica por ácido acético originado da madeira tratada termicamente (THERMOWOOD HANDBOOK, 2002).

## **5.2. Propriedades Mecânicas da madeiras termorretrificadas**

### **5.2.1. Dureza Janka**

Analisando-se o efeito dos tratamentos na dureza Janka na direção normal às fibras (Tabela 13), observou-se que as madeiras termicamente tratadas tiveram diferentes comportamentos mediante aos métodos e temperaturas.

Os resultados mostraram através da análise estatística que a espécie Bracatinga não sofreu nenhuma influência significativa na dureza Janka após ser submetida aos diferentes tratamentos térmicos e suas referentes temperaturas, como já observados em propriedades (retração volumétrica e densidade) citadas anteriormente. A Bracatinga foi uma espécie que se mostrou bastante resistente ao tratamento térmico, não alterando suas características originais. Visualmente sua coloração também foi menos afetada, principalmente quando comparada as outras espécies, exceto para o método da prensa a 220 °C, onde o escurecimento foi bastante evidenciado.

**TABELA 13** - Valores médios de dureza Janka (MPa) das madeiras de *Eucalyptus grandis*, Bracatinga, Peroba mica, *Eucalyptus sp.* e Cumaru em função do método e da temperatura termorretificação.

Espécies	Temperatura (°C)	Métodos		
		Prensa	Estufa a vácuo	Estufa a vácuo com N <sub>2</sub>
<i>Eucalyptus grandis</i>	Testemunha	36,97	36,97	36,97
	180	35,63	41,97	40,29
	200	34,78	46,06	40,55
	220	32,04	43,35	40,27
Bracatinga	Testemunha	46,71	46,71	46,71
	180	53,32	42,76	47,97
	200	52,73	49,13	48,43
	220	49,13	48,67	44,67
Peroba mica	Testemunha	61,49	61,49	61,49
	180	71,98	66,69	58,94
	200	65,90	60,34	60,47
	220	62,66	59,58	62,21
<i>Eucalyptus sp</i>	Testemunha	62,70	62,70	62,70
	180	47,27	57,41	51,39
	200	41,09	62,07	52,20
	220	40,08	61,13	56,98
Cumaru	Testemunha	105,78	105,78	105,78
	180	94,41	123,56	114,12
	200	89,96	117,81	115,39
	220	81,82	115,59	114,08

De acordo com a Tabela 13, observou-se que para o *Eucalyptus grandis*, os valores médios da dureza Janka encontrados para os métodos da estufa à vácuo (com ou sem N<sub>2</sub>) foram maiores que os obtidos pela madeira não tratada (testemunha). Segundo Quirino (2003), uma madeira de baixa densidade e macia adquire maior dureza superficial quando tratada termicamente em autoclave, tornando possível sua utilização em pisos, apesar de haver alteração na sua cor original.

No método da prensa os resultados mostraram que a dureza Janka diminuiu com aumento da temperatura, sendo todos os valores inferiores a testemunha. Segundo FTA (2003), a dureza da madeira é altamente dependente da densidade. Assim, para todas as espécies, os resultados encontrados neste trabalho corroboram com estes autores, uma vez que o método da prensa apresentou os menores valores para densidade, influenciando diretamente na dureza Janka.

Os resultados observados mostraram que o método da prensa não foi indicado para a espécie de *Eucalyptus grandis* quando se objetiva melhorar a dureza Janka.

Na Tabela 2 são apresentados os valores médios da dureza Janka em função do método e da temperatura de termorreificação.

Neste trabalho não verificou efeito significativo da temperatura de termorreificação na propriedade de dureza Janka, mesmo quando comparada com a testemunha (36,97 MPa).

**TABELA 14** - Valores médios de dureza Janka da madeira de *Eucalyptus grandis* em função do método de termorreificação.

Métodos	Dureza Janka (MPa)
Prensa	34,85 b
Estufa a vácuo	42,08 a
Estufa a vácuo (N <sub>2</sub> )	39,51 a

Médias ao longo da coluna seguida de mesmas letras minúsculas não diferem significativamente entre si pelo teste Tukey, a 5% de probabilidade.

GUNDUZ et. al. (2009), estudando o comportamento da dureza Janka da madeira termicamente tratada, observou que com o aumento da temperatura e do tempo de duração do tratamento térmico a dureza Janka diminuía. Contradizendo o autor, em 2003, pesquisadores da Finnish Thermowood Association (FTA), estudando a propriedade de dureza indicaram que esta aumenta em função do aumento da temperatura, sendo que os estudos foram realizados até a temperatura de 240 °C. Os diferentes



resultados encontrados pelos autores pode ser explicado por diversas razões, dentre as quais destacam os diferentes métodos de tratamento térmico, tempo e temperatura de exposição da madeira ao tratamento e espécies com comportamentos diferentes, dentre outros.

A Tabela 15 mostra o efeito do método na madeira de Peroba Mica. A análise mostra que esta espécie não foi afetada pela temperatura de tratamento e sim pelos diferentes métodos, que se mostraram significativamente diferentes entre si.

**TABELA 15-** Valores médios de dureza Janka da madeira Peroba Mica em função do método de termorretificação.

Métodos	Dureza Janka (MPa)
Prensa	65,51 a
Estufa a vácuo	62,02 ab
Estufa a vácuo (N <sub>2</sub> )	60,77 b

Médias ao longo da coluna seguida de mesmas letras minúsculas não diferem significativamente entre si pelo teste Tukey, a 5% de probabilidade

As termorretificações na prensa e na estufa à vácuo sem nitrogênio apontaram em média como o mais eficiente para a melhora da dureza Janka, embora o valor encontrado para o método da prensa tenha sido maior este não foi diferente estatisticamente. O menor valor de dureza Janka foi para estufa à vácuo com nitrogênio, sendo esse menor que o obtido pela madeira não tratada, testemunha (61,49 MPa).

Avaliando o efeito do método da estufa a vácuo na dureza das madeiras de Peroba mica, verificou-se que as madeiras termorretificadas em atmosfera sem nitrogênio, apresentaram maiores valores médios para essa propriedade e esse resultado pode ser explicado pelo meio deficiente em oxigênio, diminuindo as reações oxidativas que interferem nas propriedades da madeira. Ainda que a estufa à vácuo com nitrogênio seja uma atmosfera isenta de oxigênio, foi observado pelo autor água condensada na parte inferior da estufa,

evidenciando que esta madeira ficou “cozinhando” e conseqüentemente mais macia, podendo ter influenciado na dureza .

Com relação ao aumento desta propriedade mecânica verificada na madeira termicamente tratada, Sundqvist (2004), cita ser possível aumentar ligeiramente a resistência e dureza da madeira em comparação com a madeira em condições normais dentro de certos domínios da relação tempo/temperatura. Segundo o mesmo autor, um aumento inicial na resistência e dureza podem ser devido aos processos de condensação da lignina e celulose como moléculas degradadas, podendo formar novas ligações químicas.

Na Tabela 16 são apresentados os valores médios de dureza Janka das espécies de *Eucalyptus sp* e Cumaru. A análise de variância indicou que a dureza Janka destas madeiras foram afetadas pelos tratamentos, ocorrendo interações significativas entre o método e a temperatura de tratamento térmico.

**TABELA 16** - Valores médios de dureza Janka (MPa) das madeiras de *Eucalyptus sp* e Cumaru em função do método e da temperatura de termorretificação.

Espécies	Temperatura (°C)	Métodos		
		Prensa	Estufa a vácuo	Estufa a vácuo com N <sub>2</sub>
<i>Eucalyptus sp</i>	Testemunha	62,70 Aa	62,70 Aa	62,70 Aa
	180	47,27 Bb	57,41 Aa	51,39 Ab
	200	41,09 Cc	62,07 Aa	52,20 Bb
	220	40,08 Bc	61,13 Aa	56,98 Aab
Cumaru	Testemunha	105,78 Aa	105,78 Ab	105,78 Ab
	180	94,41 Cb	123,56 Aa	114,12 Ba
	200	89,96 Bb	117,81 Aa	115,39 Aa
	220	81,82 Bc	115,59 Aab	114,08 Aa

Médias ao longo das linhas seguidas de mesmas letras maiúsculas para o método e ao longo das colunas seguidas de mesmas letras minúsculas para a temperatura não diferem significativamente entre si pelo teste Tukey, a 5% de probabilidade.

Observou-se na Tabela 16, que o método da prensa resultou em valores menores de dureza Janka, para ambas as espécies. Esses valores quando

comparados as suas respectivas testemunhas são inferiores, indicando a ineficiência deste método para as duas espécies. Verificou-se que o método da prensa foi significativamente diferente dos métodos da estufa à vácuo, apresentando os menores valores médios de dureza Janka.

De um modo geral para, *Eucalyptus sp* e o Cumaru, o método da estufa à vácuo com e sem nitrogênio não diferenciaram significativamente entre si, exceto para a temperatura de 180 °C, onde foi observado que o método da estufa a vácuo sem nitrogênio foi mais eficiente. No entanto para a o E.sp o valor encontrado foi menor que a testemunha.

Curiosamente para a madeira de *Eucalyptus sp*. o tratamento térmico foi ineficiente para todos os métodos utilizados , uma vez que independente da temperatura ou do método, todos os valores encontrados de dureza Janka foi inferior ao valor encontrado para a madeira original. No entanto nota-se que para os métodos da estufa houve uma tendência em aumentar a dureza em função do aumento da temperatura, este resultado pode ser um indicativo que se o tempo de tratamento fosse superior talvez o valor da dureza fosse maior, corroborando com os autores como, Poncsák et. al. (2006), Nuopponen et. al. (2005) e Tsoumis (1991), que observaram, quanto maior a temperatura de termorreificação maior seria a dureza da madeira, entretanto esses valores dependem de diversos fatores, tais como, a espécie a ser tratada, a quantidade dos principais constituintes da madeira, da taxa de aquecimento, do tempo de exposição da madeira no tratamento, a combinação de todos esses fatores levará à um novo produto.

O autor deste trabalho em acordo com os autores acima, acrescenta, que o método utilizado, aliado a temperatura, tempo de exposição da madeira, e a espécie a ser tratada, também é um fator determinante para a resposta da madeira ao tratamento térmico. Sendo esta resposta, positiva ou negativa dependendo das interações entre todos esses parâmetros.

Para a madeira de Cumaru foi observado nos dois métodos da estufa à vácuo que a dureza Janka das madeira termorreificadas foram significativamente maiores que a testemunha. No entanto foi observado que com o aumento da temperatura de termorreificação esses valores tenderam a

diminuir, contudo sempre superiores a testemunha. Os maiores valores encontrados foram para a temperatura de 180 e 200°C, respectivamente, apesar de não diferirem significativamente. Esse resultado, possivelmente, foi devido à grande quantidade de extrativos na madeira de Cumaru, uma vez que aquecido esses extrativos volatilizaram. Segundo Kalnins (1966) e Mazet (1988), os extrativos têm propriedades antioxidantes, inibindo algumas reações oxidativas e essa propriedade dos extrativos aliado a um ambiente deficiente de ar ou inerte pode ter contribuído para o aumento significativo da dureza. Segundo Pettersen (1984), a presença de extrativos influencia a resistência ao ataque de fungos e insetos, a coloração, o odor, a permeabilidade, a densidade e a dureza da madeira.

Muitos autores relacionam à dureza Janka a densidade. Kolman e Cote (1968), observaram em diversas madeiras que a dureza é diretamente proporcional a densidade da madeira, no entanto, neste trabalho não se observou esta relação, uma vez que a densidade da madeira de Cumaru não foi afetada significativamente pelos tratamentos térmicos, contrário a dureza que foi ligeiramente aumentada. Entretanto Bessa et. al. (1990) revelam que diferentes espécies madeireiras apresentando a mesma densidade, mostram valores diferentes em testes de dureza Janka.

Com relação ao aumento de algumas propriedades mecânicas verificadas na madeira, Sundqvist (2004), cita que parece possível aumentar ligeiramente a resistência e dureza da madeira em comparação com a madeira em condições normais dentro de certos domínios da relação tempo/temperatura. Segundo o mesmo autor, um aumento inicial na resistência e dureza podem ser devido aos processos de condensação da lignina e celulose como moléculas degradadas, podendo formar novas ligações químicas.

## 5.2.2. Resistência a flexão estática

Os valores médios do módulo de ruptura (MOR) e módulo de elasticidade (MOE) em flexão estática para a madeira de *E. grandis* tratada termicamente, bem como as interações entre os métodos e as temperaturas, estão sumarizados na Tabela 17.

**TABELA 17** - Valores médios do módulo de ruptura (MOR) e módulo de elasticidade (MOE) em flexão estática, para a madeira de *Eucalyptus grandis* termorretificada.

Espécies	Temperatura (°C)	Métodos					
		Prensa		Estufa a vácuo		Estufa a vácuo com N <sub>2</sub>	
		MOR (MPa)	MOE (MPa)	MOR (MPa)	MOE (MPa)	MOR (MPa)	MOE (MPa)
<i>Eucalyptus grandis</i>	Testemunha	76,44 Aa	7495,9 Aa	76,44 Ac	7495,9 Aa	76,44 Ac	7495,9 Ac
	180	76,68 Ca	7517,0 Ba	84,87 Bb	7063,7 Ba	103,99 Ab	9635,1 Aa
	200	77,10 Ca	7560,8 Ba	91,66 Ba	6971,4 Ba	101,38 Ab	9242,9 Ab
	220	63,87 Cb	6263,8 Bb	85,93 Bb	6976,4 Ba	114,15 Aa	10.028,8 Aa

Médias ao longo das linhas seguidas de mesmas letras maiúsculas para o método e ao longo das colunas seguidas de mesmas letras minúsculas para a temperatura não diferem significativamente entre si pelo teste Tukey, a 5% de probabilidade.

Os valores de MOR e MOE da madeira termorretificada de *Eucalyptus grandis*, mostrado na Tabela 17, verificou-se que para o MOR houve diferença estatística entre os três métodos estudados. Os MOR encontrados para o método da prensa foram menores que os métodos da estufa à vácuo, sendo os MOR do método da estufa à vácuo com nitrogênio maior que o método da estufa à vácuo sem nitrogênio, e foi observado ainda que a resistência a ruptura obtida nestes dois métodos foram maiores a obtida da madeira não tratada (testemunha).

Para Yildiz et al. (2006), o aquecimento da madeira na presença de ar tende a promover reações de degradação, porque a taxa de degradação térmica é também dependente da atmosfera circundante, especialmente com relação a presença ou ausência de oxigênio. Corroborando com este autor, Stamm (1956) mostrou que a madeira aquecida em atmosfera com a presença

de oxigênio é degradada mais rapidamente que a madeira aquecida em atmosfera livre desse, devido às reações de oxidação. Essa degradação ocorre porque o tratamento térmico quando executado num ambiente oxidante, libera um alto conteúdo de ácido acético, atuando como um catalisador das reações de despolimerização (ESTEVES et al., 2008). Essa degradação reflete diretamente na densidade da madeira, resultando em perda direta da resistência da madeira.

Avaliando o efeito da temperatura na resistência a ruptura obtido através do método da prensa observou-se que essas não diferiram significativamente em relação a testemunha, exceto para a temperatura de 220 °C que proporcionou menor resistência.

A expressiva diminuição do módulo de ruptura reflete o aumento da friabilidade da madeira frente ao tratamento térmico. O fato de a madeira tornar-se mais friável quando submetida ao tratamento térmico indica que ela fica mais quebradiça, com menor presença de fibras entre as partículas termotratadas, conforme observado por Arias et. al. (2008).

Quando comparado os dois métodos da estufa à vácuo nota-se que , no geral, houve um aumento no módulo de ruptura em função do aumento da temperatura, no entanto este aumento foi mais acentuado no método da estufa à vácuo com nitrogênio, com ganho de 22% . Estes resultados não estão compatíveis com os relatados por Mouras et. al. (2002) com perdas de 15 a 20 % no MOR, para tratamentos a partir de 220 °C e 60 minutos e por Almeida (2007) com queda de 40% para os tratamentos entre 230 e 240 °C. Esta diferença entre os resultados encontrados pelos autores acima e os obtidos neste trabalho deve-se pela diferença de métodos empregados. Fica evidenciado que o meio deficiente em oxigênio ou com a presença de nitrogênio, afetam de forma positiva a resistência (MOR) da madeira de *Eucalyptus grandis*.

Esse ganho no valor do módulo de ruptura , também pode ser explicado pela presença de vapor que se forma no interior da estufa à vácuo, este vapor cria mudanças químicas que resultam num material menos quebradiço e mais

resistente. Vale ressaltar que durante o tratamento à vácuo com nitrogênio observou-se maior quantidade de vapor e água formado no interior da estufa.

Os resultados observados para o módulo de elasticidade, mostraram que o método da estufa à vácuo com nitrogênio proporcionou madeiras com maior rigidez, sendo esse diferente dos demais, que foram significativamente iguais entre si.

Não foi observado perda de rigidez da madeira para o método da prensa e estufa à vácuo sem nitrogênio, com o aumento da temperatura de termorreificação, exceto para as madeiras tratada a 220 °C através da prensa. Esteves et al. (2008), apesar de condições diferentes de tratamentos desta pesquisa, estudando o efeito da temperatura de 180°C por 2h sobre o MOE da madeira de *Pinus pinaster* Aiton em flexão estática, obteve uma redução de 2%. No entanto Santos (2000) verificou um aumento no módulo de elasticidade da madeira de eucalipto tratada a 180°C.

Através do método da estufa a vácuo observa-se que as madeiras termorreificadas obtiveram maior módulo de elasticidade em relação a testemunha. Estudando a madeira de *Picea abies* Karst, tratada na presença de vapor e pressão a 165°C por 30 min, seguido de tratamento de calor em condições secas e à pressão atmosférica a 180°C por 6 h, também encontrou um acréscimo no MOE da madeira tratada, mas em 5,21%, um pouco inferiores aos aqui registrados (BOONSTRA et al., 2007).

Na Tabela 18 são apresentados os valores médios de resistência a flexão estática para a espécie de Bracatinga. Nota-se que as resistências das madeiras obtidas através dos métodos da prensa e da estufa à vácuo com nitrogênio, foram estatisticamente diferentes do método da estufa à vácuo sem nitrogênio, tendo esse os menores valores médios de módulo de ruptura, inclusive em relação a testemunha.

**TABELA 18** - Valores médios do módulo de ruptura (MOR) e módulo de elasticidade (MOE) em flexão estática, para a madeira de Bracatinga termorretificada.

Espécies	Temperatura (°C)	Métodos					
		Prensa		Estufa a vácuo		Estufa a vácuo com N <sub>2</sub>	
		MOR (MPa)	MOE (MPa)	MOR (MPa)	MOE (MPa)	MOR (MPa)	MOE (MPa)
Bracatinga	Testemunha	105,41 Ab	9437 Ab	105,41 Aa	9437 Aa	105,41 Ab	9437 Aa
	180	105,35 Ab	8917 Bc	87,94 Bc	6829 Cbc	108,71 Aab	9511 Aa
	200	108,64 Aab	8857 Ac	96,32 Bb	7006 Bb	107,30 Aab	9361 Aa
	220	111,89 Aa	10243 Aa	96,04 Bb	6425 Cc	113,56 Aa	9315 Ba

Médias ao longo das linhas seguidas de mesmas letras maiúsculas para o método e ao longo das colunas seguidas de mesmas letras minúsculas para a temperatura não diferem significativamente entre si pelo teste Tukey, a 5% de probabilidade.

Para o aquecimento na prensa e na estufa à vácuo com nitrogênio foi observado uma tendência de aumento de resistência a ruptura com o aumento da temperatura. Os valores encontrados foram todos superiores a madeira não tratada, mesmo não sendo diferentes estatisticamente. Essa tendência de resultados semelhantes para métodos de atmosferas tão diferentes, pode se explicado de acordo com Johansson (2008), pelas diferenças na degradação dos componentes da madeira também terem sido encontradas entre amostras tratadas em sistemas abertos e fechados. Isso é porque existirá um acúmulo de compostos como o ácido acético em sistemas fechados, que podem então interagir com as reações químicas ocorrendo. Para o mesmo autor, existem interações não apenas entre os componentes encontrados dentro da madeira, mas também interações entre a madeira e a atmosfera de tratamento. E essa diferença pode ser mais acentuada pelo tipo de espécie submetida ao tratamento térmico.

Verifica-se nas madeiras termorretificadas de Bracatinga através do método da estufa à vácuo sem nitrogênio, um decréscimo no módulo de ruptura em função do aumento da temperatura, indicando uma perda de resistência mecânica. Fato este observado por outros autores já citado neste



trabalho. Estudando o efeito do tratamento térmico sobre o MOR, Boonstra et al. (2007) obteve na madeira de *Pinus sylvestris* L. , uma redução de 3,16% dessa propriedade, atribuída ao tratamento empregado. Entretanto Korkut et. al. (2007), observaram uma maior redução no MOR, da ordem de 11,08 %, inferior a madeira sem tratamento, para a mesma espécie.

De acordo com Unsal et al. (2003), em relação as propriedades de resistência, o efeito é claramente alcançado com tratamentos prolongados, observando-se um menor efeito sobre o módulo de elasticidade e, maior, sobre a resistência ao impacto e à flexão estática (MOR).

Para o módulo de elasticidade da madeira de Bracatinga, os métodos da prensa e da estufa à vácuo sem nitrogênio reduziram a rigidez da madeira em relação a testemunha , exceto para o método da prensa na temperatura de 220°C (10243 MPa), bastante superior a testemunha (9437 Mpa). Estes comportamentos discrepantes podem se explicados por variáveis incontroláveis como defeitos no interior da peça ou até mesmo deformações causadas pelo aquecimento (Rodrigues, 2009).

Na Tabela 19 são apresentados os valores médios do MOR e MOE em flexão estática da madeira de Peroba mica termorretificada, em função do método e da temperatura.

**TABELA 19** - Valores médios do módulo de ruptura (MOR) e módulo de elasticidade (MOE) em flexão estática, para a madeira de Peroba Mica termorretificada.

Espécies	Temperatura (°C)	Métodos					
		Prensa		Estufa a vácuo		Estufa a vácuo com N <sub>2</sub>	
		MOR (MPa)	MOE (MPa)	MOR (MPa)	MOE (MPa)	MOR (MPa)	MOE (MPa)
Peroba Mica	Testemunha	97,08 Aab	6910 Ab	97,08 Ac	6910 Ac	97,08 Ac	6910 Ab
	180	102,05 Ba	7953 Ca	124,46 Aa	12205 Aa	123,33 Aa	10390 Ba
	200	94,06 Bb	7573 Ca	111,38 Ab	10922 Ab	115,90 Ab	9955 Ba
	220	81,71 Cc	7998 Ba	109,08 Bb	10696 Ab	125,36 Aa	10580 Aa

Médias ao longo das linhas seguidas de mesmas letras maiúsculas para o método e ao longo das colunas seguidas de mesmas letras minúsculas para a temperatura não diferem significativamente entre si pelo teste Tukey, a 5% de probabilidade.

Observou-se na Tabela 19, para o MOR, que não houve diferença significativa entre os métodos da estufa, exceto para a temperatura de 220 °C, onde foi obtido o maior médio de MOR (125, 36 MPa). No método da prensa apenas para a temperatura de 180 °C, foi observado um valor do MOR maior que a testemunha. O menor valor do MOR foi encontrado para o método da prensa na temperatura, de 220°C, esse comportamento é devido a influência da alta temperatura e do método (meio oxidante), tornando a madeira menos resistente, corroborando com Rodrigues (2009), Mouras et. al. (2002) e Almeida (2007) que observaram, quando submetida a um meio oxidante, para tratamentos a partir de 220°C e 60 min a madeira tendeu a diminuir sua resistência a ruptura.

Segundo Boonstra et al. (2007) a principal explicação para essa redução no valor do MOR, são as mudanças que ocorrem no teor e estrutura das hemiceluloses com o tratamento térmico, ocasionando perda da resistência da madeira à flexão.

Observa-se que o módulo de elasticidade da madeira de Peroba mica, foi aumentado pela termorreificação, principalmente em estufa à vácuo sem nitrogênio. Todos os valores encontrados foram superiores a testemunha. Segundo Gunduz et al. (2009), esse resultado pode ser explicado pelo aumento das ligações cruzadas na rede de lignina, uma vez que é esperado que esse fenômeno melhore a estrutura rígida em torno das microfibrilas de celulose e da resistência característica da lamela média. Também, outro fenômeno que pode afetar essa propriedade são as propriedades termoplásticas da madeira, pois acima de determinada temperatura as características físicas da hemicelulose (127–235°C), lignina (167–217°C) e celulose (231–253°C) mudam para um estado similar a borracha ou plástico, embora o vapor possa reduzir a extensão destas faixas, devido a água atuar como um agente plastificante. No resfriamento as fases desses componentes se tornam mais rígidas e a estrutura molecular do polímero pode ser alterada, o que provavelmente afeta a interação entre os principais componentes de madeira e, por conseguinte, as propriedades de resistência.

Esteves e Pereira (2009) relacionam este aumento do MOE como o aumento da cristalinidade da celulose e com a redução do conteúdo de umidade. O efeito da cristalinidade prevalece no início do tratamento, mas com sua continuidade a degradação térmica é dominante, levando a uma redução dessa variável.

Na Tabela 20 são apresentados para a madeira de *Eucalyptus sp* os valores médios da flexão estática (MOR e MOE), em relação a temperatura e método de termorretificação.

**TABELA 20-** Valores médios do módulo de ruptura (MOR) e módulo de elasticidade (MOE) em flexão estática, em MPa, para a madeira de *Eucalyptus sp* termorretificada.

Espécies	Temperatura (°C)	Métodos					
		Prensa		Estufa a vácuo		Estufa a vácuo com N <sub>2</sub>	
		MOR (MPa)	MOE (MPa)	MOR (MPa)	MOE (MPa)	MOR (MPa)	MOE (MPa)
<i>Eucalyptus sp</i>	Testemunha	111,26 Aa	10120 Aa	111,26 Aa	10120 Aa	111,26 Ab	10120 Ab
	180	103,99 Bb	9897 Aa	99,08 Bc	7488 Bb	118,68 Ab	11513 Aa
	200	87,01 Cc	9693 Aa	105,99 Ba	7773 Bb	113,55 Ab	11135 Aa
	220	88,66 Cc	9799 Aa	101,30 Bb	7632 Bb	123,57 Aa	11831 Aa

Médias ao longo das linhas seguidas de mesmas letras maiúsculas para o método e ao longo das colunas seguidas de mesmas letras minúsculas para a temperatura não diferem significativamente entre si pelo teste Tukey, a 5% de probabilidade.

Para o *Eucalyptus sp* o método da estufa à vácuo com nitrogênio apresentou os maiores valores de MOR, quando comparado a testemunha. Neste método, de modo geral, não foi encontrado influência da temperatura no valor do MOR, contudo para a temperatura de 220°C foi obtido a maior resistência a ruptura, este mesmo fato ocorreu para a madeira de Peroba mica.

Menores valores para o módulo de ruptura foram encontrados para o método da prensa. Quando comparado com suas respectivas temperaturas foi observado que estas não tiveram influência significativa no método. Entretanto, foi observado uma pequena tendência na perda de resistência a ruptura em função da temperatura. O método produziu um efeito indesejável para madeira, pois o tratamento térmico diminuiu de forma significativa o MOR, sendo os valores menores até mesmo que sua testemunha. O mesmo

comportamento da madeira foi notado para o método da estufa à vácuo sem nitrogênio.

Boonstra et al. (2007) elucida este fato devido ao aumento da temperatura e/ou do tempo de tratamento o que causa uma redução mais acentuada das hemiceluloses com correspondente perda da resistência, fato este relatado por muitos autores (Yildiz 2002; Esteves et. al. 2007; Korkut et. al. 2007; ESTEVES e PEREIRA, 2009) que consideram a degradação das hemiceluloses principal responsável pelas alterações sofridas pelas madeiras quando tratadas termicamente.

De acordo com Winandy e Rowell (2005), durante a degradação térmica a madeira perde resistência mecânica devido à diminuição de componentes como a xilose, a galactose e a arabinose.

Considerando que a resistência a flexão é uma combinação das tensões internas na madeira (estresse de tração, compressão e cisalhamento), deve-se analisar como essas forças são afetadas pela degradação das hemiceluloses.

Na Tabela 21 são apresentados os valores médios do módulo de ruptura da madeira de Cumaru termorretificada. A análise de variância indicou que o MOR foi afetado pelos tratamentos, ocorrendo efeito isolado do método e da temperatura de tratamento térmico.

Para o MOE a análise estatística indicou que não ocorreu efeito isolado e nem interação entre métodos e temperatura, indicando que o tratamento térmico não afetou o módulo de elasticidade.

**TABELA 21** - Valores médios do módulo de ruptura (MOR) em flexão estática da madeira de Cumaru em função do método de termorretificação.

Métodos	Módulo de Ruptura (MPa)
Testemunha	170,47 A
Prensa	148,46 B
Estufa a vácuo	170,30 A
Estufa a vácuo (N <sub>2</sub> )	171,00 A

Médias ao longo da coluna seguida de mesmas letras minúsculas não diferem significativamente entre si pelo teste Tukey, a 5% de probabilidade.

O método de aquecimento na prensa ocasionou o menor valor de MOR, diferenciando-se estatisticamente dos outros dois métodos e apresentando um valor menor que a testemunha. Os outros dois métodos foram estatisticamente iguais entre si, e a testemunha.

A perda de resistência à ruptura para o método da prensa pode estar relacionada à presença de extrativos na madeira, e ao ambiente com oxigênio, pois a presença de oxigênio acelera a degradação do material tratado.

Segundo Moura (2007), a perda de resistência mecânica é freqüentemente associada aos processos de aquecimento muito acelerado (em etapa única) e àqueles em que a temperatura máxima é próxima dos 250°C, semelhante o método da prensa utilizado neste trabalho, porém com temperaturas até 220 °C.

Com intuito de minimizar essas alterações mecânicas Pincelli (1999), propôs um processo de tratamento térmico onde o aquecimento é feito de forma mais lenta e temperaturas mais baixas. Com o objetivo de reduzir as perdas de resistência mecânica, o qual foi proposto o tratamento a vapor.

Uma atmosfera inerte ou ligeiramente redutora favorece o controle do tratamento, reduzindo a perda de resistência mecânica (DOI et al. 1999). Os resultados encontrados neste trabalho para a madeira de Cumaru estão de acordo com os autores acima, visto que para os métodos da estufa à vácuo (ambiente com deficiência de ar ou inerte), foi observado valores maiores do MOR, mesmo esses valores não sendo diferentes estatisticamente da testemunha. Talvez um tempo de tratamento maior, o valor do MOR aumentaria.

Em resumo, segundo Poncsak et al. (2006) a madeira se torna mais rígida e frágil, e certas propriedades mecânicas reduzem-se, dependendo dos parâmetros, como: temperatura máxima de tratamento, taxa de aquecimento, duração do tratamento à temperatura máxima e umidade, podem aparecer rachaduras e a estrutura da parede celular pode ser parcialmente degradada, também; assim, otimizações individuais desses parâmetros podem ser conduzidas separadamente, para cada tipo de madeira, e, até o mesmo tipo

tratado em diferentes condições, podendo ter diferenças significantes em sua estrutura celular; portanto, exigindo diferentes condições de tratamento.

Foi observado para todas as espécies submetidas aos tratamentos térmicos, a falha ou rompimento abrupto da madeira, enquanto nas não tratadas essa falha foi gradual. Segundo Boonstra et al. (2007), a energia consumida até a fratura total é menor nas amostras tratadas do que para as amostras não tratadas. As forças externas que a madeira aquecida pode suportar após a falha são muito menores do que para a madeira não tratada.

## 6. CONCLUSÕES

De um modo geral pode-se concluir que:

- O método da estufa à vácuo para a redução do equilíbrio higroscópico foi o mais eficiente.
- O tratamento térmico exerceu influência significativa na densidade básica das madeiras, exceto para a madeira de Bracatinga.
- A retratibilidade, não foi afetada pelo tratamento térmico, no entanto foi inferior a testemunha, para todas as espécies estudadas.
- Madeiras com altos teores de extrativos não são indicadas para o tratamento térmico na prensa, a não ser em temperatura inferiores a 180 °C. O método mais eficiente para essas madeiras é o método da estufa a vácuo com nitrogênio.
- No geral as madeiras tratadas termicamente não sofreram empenamentos e nem torções, foi notado à presença de pequenas fissuras nas madeiras de E. Grandis, quando submetida ao método da prensa e em temperaturas de 200 e 220 °C, em algumas peças.
- Observou-se neste trabalho diferenças entre as cores (ou tons de cores) das madeiras, algumas em menor e outras em maior intensidade, obtidas através dos tratamentos térmicos, sobretudo para método da prensa e a temperaturas mais altas.

- Para o *Eucalyptus grandis* os tratamentos térmicos da estufa à vácuo aumentaram dureza Janka, já o método da prensa foi ineficiente, pelo menos da forma que foi conduzido. Houve um aumento significativo nas propriedades da flexão estática (MOR e MOE).
- Para a Bracatinga os maiores valores encontrados para a dureza Janka foram para o método da prensa e estufa à vácuo sem nitrogênio. A Bracatinga mostrou-se mais resistente ao calor, os valores do MOR E MOE foram maiores que a testemunha porém não muito expressivo.
- A peroba mica teve todas suas propriedades mecânicas, estudadas, superiores a testemunha. Os valores mais acentuados foram para o MOR e MOE.
- O método da estufa à vácuo com nitrogênio foi o mais eficiente para aprimorar as propriedades da flexão estática. Os outros dois métodos agiram de forma negativa nestas propriedades, principalmente para as temperaturas mais altas. Em relação a dureza Janka os métodos da prensa e da estufa à vácuo com nitrogênio diminuíram os valores desta propriedade.
- Para a madeira de Cumaru os tratamentos térmicos não influenciam nos valores do MOR, somente o método da prensa foi diferente estatisticamente dos outros dois métodos e da testemunha, no entanto não é uma diferença discrepante. O MOE não sofreu nenhuma alteração quando as madeiras foram submetidas aos tratamentos térmicos.



- Em face dos resultados obtidos e de algumas observações feitas pelo autor no decorrer da pesquisa, propõe-se novos trabalhos que proverão informações importantes, tanto do ponto de vista técnico quanto do econômico.
- A heterogeneidade das madeiras foi mostrada neste trabalho, visto que cada espécie reagiu de forma diferente, até mesmo inesperada, diante de cada tratamento, sugerindo um estudo mais completo para cada espécie. Os parâmetros do tratamento devem ser otimizados.
- As propriedades da madeira termicamente tratada indicam seu melhor uso.

## 7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANGELI, A.;STAPE,J.L. *Mimosa scabrella* (Bracatinga). **Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais** IPEF-LCF/ESALQ/USP: Piracicaba, 2003. ARAÚJO, H. J. B. **Agrupamento das espécies madeiras ocorrentes em pequenas áreas sob manejo florestal do Projeto de Colonização Pedro Peixoto (AC) por similaridade das propriedades físicas e mecânicas** (Dissertação de mestrado em Recursos Florestais) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba. 168p. 2002.

ANGELI, A., Indicações para escolha de espécies de *Eucalyptus*, **Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais**. IPEF-LCF/ESALQ: Piracicaba 1p. 2005.

ARIAS, B., PEVIDA, C., FERMOSO, J., PLAZA, M. G., RUBIERA, F., PIS, J. J. Influence of Torrefaction on the Grindability and Reactivity of Wood Biomass. **Fuel Processing Technology**, 89, p. 169-175. 2008.

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

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

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DO PRODUTORES DE PISOS DE MADEIRA MACIÇA. **Apostila do curso básico de madeira**. Belém. 58p. 2006.

ALMEIDA, G. Valorização energética de resíduos madeiros mediante a termorreificação. Relatório de atividades (bolsa de pós-doutorado) Nº 1. FAPESP. 57p. 2007.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (ASTM) – Annual Book of standards: D1582-60. Denver: ASTM, 1994.

BAGGIO, A. J.; CARPANEZZI, A. A. **Exploração seletiva do sub-bosque: uma alternativa para aumentar a rentabilidade dos bracatingais.** Colombo: EMBRAPA-CNPQ, (EMBRAPA-CNPQ. Circular técnica, 28).17 p., 1998.

BAGGIO, A.J.; CARPANEZZI, A.A.; GRAÇA, L.R.; CECCON, E. Sistema agroflorestal tradicional da bracatinga com culturas anuais. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Curitiba, n.12, p.73-82, 1986.

BERNARDO, A.L. **Crescimento e eficiência nutricional de *Eucalyptus spp* sob diferentes espaçamentos na região do cerrado de Minas Gerais.** Dissertação (mestrado em Ciência Florestal), Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Minas Gerais. 131p. 1995.

BESSA, M. T. F., NASCIMENTO, C. C., SILVA, A. C. Estrutura da madeira e sua correlação com propriedades mecânicas. **Acta Amazônica**. 1990.

BOONSTRA M. J., B. F. Tjeerdsma & H. A. C. Groeneveld; Thermal modification of non-durable wood species 1. The PLATO technology; **The International Research Group on Wood Preservation**; IRG Document No. IRG/WP 98 40123. 1998.

BOONSTRA, M. J.; TJEERDSMA, B. F. Chemical analysis of heat-treated softwoods. **Holz Roh-Werkst**, v. 64, n. 1, p. 204-211, 2006.

BOONSTRA, M.J.; ACKER, J.; KEGEL, E.; STEVENS, E. Optimisation of a two-stage heat treatment process: durability aspects. **Wood Science and Technology** 41(1): 31-57p. 2007.

BRITO, J. O. O estudo das influências da temperatura, taxa de aquecimento e densidade da madeira de *Eucalyptus maculata* e *Eucalyptus citriodora* sobre os resíduos sólidos da pirólise. Tese (Livre Docência) – Escola Superior de Agricultura de Luiz de Queiroz, Piracicaba, SP. 81p. 1992.

BRITO, J.O. Estudo preliminar de retificação térmica da madeira de eucalipto. In: Congresso Florestal Brasileiro, 7, **Anais...** Curitiba: SBS/SBEF, 1993. 774 p.

BRITO, O. T., GARCIA, J. N., JUNIOR, G. B., PESSOA, A. M. DAS C., SILVA, P. H. M. Densidade básica e retratibilidade da madeira de *Eucalyptus grandis*, submetida a diferentes temperaturas de termorretrificação. **Revista Cerne**, Lavras, MG, v.12,n.2, p.182-188. 2006.

BRUNETTI M; CREMONINI C.; CRIVELLARO A.; FECI E.; PALANTI S.; PIZZO B.; SANTONI I.; ZANUTTINI R. Thermal treatment of hardwood species from Italian plantations: preliminary studies on some effects on technological properties of wood. **ISCHP**, Québec, 2007, v.7, p.325-332.

BOONSTRA, M.J; ACKER, J.; TJEERDSMA, B.F; KEGEL, E. Strength properties of thermally modified softwoods and its relation to polymeric structural wood constituents. *Annals of Forest Science* 64: 679-690. 2007.

CABRAL, C. P. T. **Propriedades de chapas tipo aglomerado e OSB, fabricadas com partículas e flocos de madeira de *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus urophylla*, *Eucalyptus cloeziana* e *Pinus elliottii*.** Viçosa, UFV, (Dissertação - Mestrado em Ciência e Tecnologia da Madeira), 104p. 2005.

CALIL, C., LAHR, F. A. R., DIAS, A. A. **Dimensionamento de elementos estruturais.** 1 ed., Barueri: Manole, 152p. 2003.

CLAY, J.W.; Sampaio, P.T.B.; Clement, C.R. *Biodiversidade amazônica: exemplos e estratégias de utilização.* SEBRAE/AM. 1. ed. Programa de Desenvolvimento Empresarial e Tecnológico, Manaus. 409pp., 1999.

CARMO, A. P. T., Avaliação de algumas propriedades da madeira de seis espécies de eucalipto. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais), Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG. 74p. 1996.

CARVALHO, P. E. R. **Espécies florestais brasileiras:** recomendações silviculturais, potencialidades e uso da madeira. Colombo: Embrapa-CNPQ; Brasília: Embrapa-SPI., 640 p. 1994.

CARVALHO, P.E.R. **Espécies Arbóreas Brasileiras.** Colombo, PR: Embrapa Florestas, 2003.

CASTELO, P. A. R. **AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA MADEIRA DE *Pinus taeda* EM DIFERENTES SÍTIOS DE CRESCIMENTO E ESPAÇAMENTOS, ATRAVÉS DO MÉTODO NÃO DESTRUTIVO DE EMISSÃO DE ONDAS DE TENSÃO.** Tese de doutorado em Ciências Florestais, Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR, 151p. 2007.

CHIMELO, J. P. **Development of a probability-based computerized characterization system for identification and for property prediction of selected tropical hardwoods.** Tese (Doutoramento Virginia Polytechnic Institute and State University), Blacksburg, 206f. 1980.

COLENCI, A. R. **Qualificação mecânica de madeiras para uso como dormente ferroviário.** Dissertação (Mestrado em Agronomia/Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 90 p. 2002.

COLENCI, A. R. **Desenvolvimento de equipamento para avaliação em campo da dureza de madeiras para dormente ferroviário.** Tese de

doutorado em Agronomia, Área de concentração em Energia da Agricultura, UNESP, Campus de Botucatu, SP. 112p. 2006.

COSTA, A. F. DA, VALE, A. T. DO, GONÇALVEZ, J. C. Eficiência de um resíduo de origem petrolífera sobre a estabilidade dimensional da madeira de *Pinus sp. (pinus)* e *Mimosa scabrella* Benth (bracatinga). Revista Ciência Florestal, Santa Maria, RS. V.11, n.2, p.59-70. 2001.

CURRIER, R. A. The importance of lumber seasoning in wood gluing. **Western Dry Kiln Clubs**, Corvallis, OR. 4 p. 1961; Disponível em: <[http://ir.library.oregonstate.edu/dspace/bitstream/1957/4872/1/Importance\\_Lumber\\_ocr.pdf](http://ir.library.oregonstate.edu/dspace/bitstream/1957/4872/1/Importance_Lumber_ocr.pdf)> (acesso em 04/003/2010).

DESCH, H. E.; DINWOODIE, J. M. **TIMBER**: its structure, properties and utilisation. 6 ed. London: Macmillan Education, 410 p. il. 1981.

DIRCKX, O. **Étude du comportement photochimique d'Abies grandis sous irradiation solaire**. Tese (doutorado em Sciences du bois) Université de Nancy I, 1988.

DIRCKX, O.; TRIBOULOT-TROUY, M.C.; MERLIN, A.; DEGLISE, X. Modifications de la couleur du bois d'Abies grandis exposé à la lumière solaire. **Ann Sci For** 49: 425-447, 1992.

DOAT J. **CTFT Research into wood pyrolysis**. Symposium Forest Products Research International Archivement and the Future., p 12-24. April 1985.

DOI, S.; KURIMOTO, Y.; OHMURA, W.; OHARA, S.; AOYAMA, M.; YOSHIMURA, T. Effects of heat treatments of wood on the feeding behaviour of two subterranean termites. **Holzforschung**, v. 53, p. 225-229, 1999.

DUCHEZ, L., GUYONNET, R. **Principles and applications of wood rectification**. Disponível em: [http:// techtp.com/twopapers/fao](http://techtp.com/twopapers/fao). Acesso em: 08 janeiro 2010.

DURLO, M. A.; MARCHIORI, J. N. C. **Tecnologia da madeira: retratibilidade**. Santa Maria: UFSM/CEPEF (Série Técnica, n.10). 33p. 1992.

EMBRAPA - Centro Nacional de Pesquisa Florestal. Manual técnico da bracatinga (*Mimosa scabrella* Benth.). Curitiba: EMBRAPA-CNPQ, 70 p., 1988.

EMBRAPA – Centro Nacional de Pesquisa Florestal. Sistemas de Produção, ISSN 1678-8281 Versão Eletrônica. Agosto, 2003.

ESTEVEES, B. M.; PEREIRA, H. M. Wood modification by heat treatment: a review. **BioResources**, v. 4, n. 1, p. 370-404, 2009.

FAO – Food and Agriculture Organization. Forest products and services. <http://www.fao.org/forestry/index.jsp>.

FENGEL, D., WEGENER, G. **Wood**: chemistry, ultrasctructure, reactions. Berlin: Walter de Gruyter, 1989.

FINNISH THERMOWOOD ASSOCIATIONA (FTA), **ThermoWood® Handbook**, FIN-00171, Helsinki, Finland. 90p. 2003.

FOELKEL, C. E. B. Madeira de eucalipto: da floresta ao disgestor. **IPEF-Bolentim Informativo**, Piracicaba, 6(20): E-1-25. 1978.

Forest Products Laboratory. **Wood handbook - Wood as an engineering material**. Gen. Tech. Rep. FPL–GTR–113. Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory, p. 463,1999.

GALVÃO, A.P.M.; JANKOVSKY, I. **Secagem racional da madeira**. São Paulo, Nobel, 112p. 1985.

GARCIA, C. B. **Anatomia, composição e propriedade de cinco madeiras paraguaias**. Dissertação de mestrado em Ciência Florestal. Departamento de Engenharia Florestal, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG. 126p. 1995.

GÉRARD, J. BAILLÈRES, H.; FOURNIER, M., THIBAUT, B. Qualité du bois chez les eucalyptus de plantation. Etude de variation de trois propriétésde référence. **Bois et Forêts des Tropiques**, Nancy, n. 245, p. 101–111, 1995.

GIRARD P., SHAH N. **Developpement of torrefied wood, an alternative to charcoal for reducing deforestation**. Tecnical Series; 20:101-114p. 1991.

GIUDICE, R.R. Proposta do Governo Brasileiro para a Gestão das Florestas Públicas e Fomento das Atividades Florestais em: [http://WWW.ecoeco.org.br/conteudo/publicacoes/encontros/vi\\_en/mesa2/Proposta do\\_Governo Federal brasileiro para a gest o florestal.pdf](http://WWW.ecoeco.org.br/conteudo/publicacoes/encontros/vi_en/mesa2/Proposta_do_Governo_Federal_brasileiro_para_a_gest_o_florestal.pdf). Acesso em: 5 de janeiro de 2010.

GREEN, D. W.; WINANDY, J. E.; KRETSCHMANN, D. E. Mechanical properties of wood. **Wood handbook: wood as an engineering material**. Madison, WI : USDA Forest Service. General technical report FPL; GTR-113: Pages 4.1-4.45. 1999.

GOHAR, P., GUYONET, R. Development of wood rectification process at the industrial stage. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON WOOD PRESERVATION, 4., Cannes, 1998. **Proceedings**. Cannes: IRG, p.173-178, 1998.

GUEDIRA, F. **Pyrolise lente de La biomasse**: comportement compare dès tourteux d'olives, de bagasse de canne a sucre et la sciure de bois (Pin maritime). Thèse (Docteur) – Université Mohamed, Maroc, 122f, 1988.

GUNDUZ, Gokhan. KORKUT, Suleyman. AYDEMIR, Deniz. BEKAR, İter. The density, compression strength and surface hardness of heat treated hornbeam (Carpinus betulus ) wood: Maderas. **Ciencia y Tecnología** [en línea] 2009, vol. 11 no. 1 [citado 2010-04-22]. Disponível na internet: <http://redalyc.uaemex.mx/src/inicio/ArtPdfRed.jsp?iCve=48511355005>. ISSN 0717-3644.

HASELEIN, C.R.; BERGER, R.; GOULART, M.; STHAL, M.; TREVISAN, R. SANTINI, E.J.; LOPES, M. de C. **Propriedades de flexão estática da madeira úmida e a 12 % de umidade de um clone de Eucalyptus saligna Smith sob o efeito do espaçamento e da adubação**. Ciência Florestal, Santa Maria, v.12, n.2, p.147-152, 2002.

INOUE, M.T., RODERJAN, C.V. & KUNIYOSHI, Y.S. Projeto Madeira do Paraná. Sudesul, IBDF, FUPEF, Curitiba, 1984.

JODIN, P., GILBERT, J. Étude de l'effet du traitement de chauffage d'un bois sur certaines propriétés mécaniques: rapport d'essais. Metz: Université de Metz, 7p. 1997.

INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS - IBAMA. **Madeiras da Amazônia**: características e utilização. v. 3. Amazônia Oriental. Brasília, DF, 141 p. 1997.

INSTITUTO BRASILEIRO DE DESENVOLVIMENTO FLORESTAL. **Madeiras da Amazônia**: características e utilização: Floresta Nacional do Tapajós. Brasília, DF, v. 1. 113 p. 1981.

INSTITUTO BRASILEIRO DE DESENVOLVIMENTO FLORESTAL. **Madeiras da Amazônia**: características e utilização: Estação Experimental de Curuá-Una. Brasília, DF, v. 2. 236 p. 1988.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS – IPT – Estado de São Paulo. Métodos de ensaios adotados no IPT para estudos de madeiras nacionais **Boletim nº 31**. 2ª ed. 60p. 1956.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS – IPT – Estado de São Paulo. Madeira o que é e como pode ser processada e utilizada. **Boletim ABPM**, nº 36. 189p. 1985.

INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE - IBAMA. *Amostragem e propriedades físico-mecânicas de madeira amazônicas*. Brasília, Coleção meio ambiente – Série estudo floresta, n. 1. 1993.

JÄMSÄ S. & P. VIITANIEMI, **Heat treatment of wood: Better durability without chemicals**; COST Action E22. 2001.

JOHANSSON, D. **Heat treatment of solid wood: effects on absorption, strength and colour**. 2008. 142 f. Doctoral thesis (Divisions of wood Physics) – Lulea University of Technology, Sweden, 2008.

KALNINS A.M. Surface characteristics of Wood as they affect durability of finishes, Part II. Photochemical degradation of wood. Us for serv Rés **Paper FPI** 57:23-60. 1966.

KLITZKE, R. J. **Curso de Secagem da Madeira** - DETF/UFPR MÓDULO – 01 (não paginado).

KLOCK, U., MUÑIZ, G. I. B., HERNANDEZ, J. A., ANDRADE, A. S.; **Química da Madeira**. Universidade Federal do Paraná: Setor de Ciências Agrárias, Departamento de Engenharia e Tecnologia Florestal, 3ª. Edição, Curitiba, 86p. 2005.

KOLLMAN, F.; FENGEL D. Photosensitive groups in lignin and lignin model compounds. **Holz Roh-Werkstoff** 21 77-85p. 1965.

KLOCK, U. **Qualidade da madeira juvenil de Pinus maximinoi H. E. Moore**. Tese de doutorado, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR. 275p. 2000.

KOLLMANN, F.F.P.; COTÉ Jr.,W.A. **Principles of wood science and technology : Solid wood**. New York, Springer Verlag,. v.1, p. 592. 1968.

KOLMANN, F. P. P., COTÉ, W. A. J. **Principles of wood science and technology**. New York. 1:403-404. 1968

LAURENT, J.M.E.; PEDREIRA, M.R.R.; CARPANEZZI, O.T.B; et alii. Melhoramento do sistema agroflorestal da bracatinga. Curitiba : Projeto FAO-GCP/BRA/025/FRA (Convênio BRASIL/Paraná-FRANÇA-FAO), (Field Document; n. 8) 128 p. il. 1990.



LATORRACA, J. V. de F.; ALBUQUERQUE, C.E.C. de. **Efeito do rápido crescimento sobre as propriedades da madeira.** Floresta e Ambiente, v.7, n.1, p.279-291, 2000.

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

LORENZI, H. Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil. Nova Odessa: Plantarum, 352 p., 1992.

LOUREIRO, A.A. Silva, M.F. da; Alencar, J.C. *Essências madeireiras da Amazônia.* INPA, Manaus. 187 p., 1979.

LOGSDON, N. B., FINGER, Z., BORGES, C. G. A. Caracterização físico-mecânica para madeira de peroba-mica, *Aspidosperma populifolium*, A. DC. (APOCYNACEAE). **Floresta**, Curitiba, PR. V.38. n.1. 2008.

LOVATTI, L. P. Madeira serrada na Região Sul do Espírito Santo: Comercialização e propriedades. Dissertação de Mestrado em Produção Vegetal. Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, ES. 119p. 2008.

MACHADO, F. J. J. , GOMIDE, J. L., CAMPOS, W. O., CAPITANI, L. R. **Caracterização da madeira de *Eucalyptus pilulares* e estudos para a produção de celulose Kraft.** Revista *Árvore* 12(2) : 111-122, 1988.

MACHINERY BUSINESS SOCIETY. **The perdure wood.** Sant-Claire. 12p. 1997.

MANNIEN, A. M.; PASANEN, P. ; HOLOPAINEN, J. K. Comparing the atmospheric emissions between air-dried and heat-treated Scots pine Wood. **Atmospheric Environment**, v.36, n.11, p. 1763-1768. 2002.

MANIERI, C. CHIMELO, J.P. **Ficha de características das madeiras brasileiras.** São Paulo: IPT, 1989.

MARRA, G. G. The role of adhesion and adhesives in products industry. In: WOOD ADHESIVES RESEARCH, APPLICATION AND NEEDS. Washington. **Proceedings.** Washington: USDA-PFL, p. 1-8. 1980.

MARIN, V. A. **Colagem da madeira-** Importância das colas nas empresas madeireiras (Palestra ministrada para disciplina de Química da Madeira), Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR. 27p. 2008.

MATOS, J. L. M. **Estudos sobre a produção de painéis estruturais de lâminas paralelas de *Pinus taeda* L.** Tese de doutorado, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 117p. 1997.

MARTINS, V. A. **Secagem de madeira serrada.** IBDF/LPF: Brasília, DF. 56p. 1988.

MAYES, D.; OKSANEN, O. **ThermoWood Handbook.** Finland: Finnforest, 2002.

MAZET, J.F. **Couleur et qualité des placages de vene et étude de leur comportement photochimique.** Tese (Doutorado em Ciências da Madeira) Nancy I University p. 282-291, 1988.

MELLADO, E. C. E. R. **Modelo de Transferência de Calor e Massa na Secagem de Madeira Serrada de Pinus.** Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba. 169 f. 2007.

MELO, J. E. Estrutura de madeiras (apostila). UnB/FAU/LPF. 61p. 2003.

MILITZ H. Thermal treatment of wood: European Processes and their background; The **International Research Group on Wood Preservation**; IRG Document No. IRG/WP 02-40241. 2002.

MITCHELL, R.L., SEBORG, R.M., MILLET, M.A., Effect of heat on the properties and chemical composition of Douglas-fir Wood and its major components. Journal of the forest products Research Society, v.3, n.4, p.38-42, 1953.

MODES, K. S. Efeito da retificação térmica nas propriedades físico-mecânicas e biológica das madeiras de *Pinus taeda* e *Eucalyptus grandis*. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal. 99p. 2010.

MOHEBBY B., **Biological attack of acetylated wood**; Ph.D. Thesis; Göttingen University; Göttingen: p. 147. **2003a.**

MOREY, P. R. O crescimento das árvores. EPU: São Paulo. 72 p., 1976.

MOURA, M. C. O. , ROSADO, S. C. S., TRUGILHO, P. F., CARVALHO, D. Variações genéticas e herdabilidade da estabilidade dimensional da madeira de Eucalyptus. In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, São Paulo, SP. **Anais...**p. 242-249. 2003.

MOURA, L. F., **Aspectos da usinagem e do acabamento de madeiras tratadas pelo processo de termoretificação.** Relatório Parcial

apresentado à FAPESP (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo) referente ao Primeiro Ano de Bolsa de Pós-doutorado, Piracicaba, SP. 86p. 2007.

MOURAS, S., GIRARD, P. ROUSSET, P., PERMADI, P., DIROL, D., LABAT, G. Propriétés physiques de bois peu durables soumis a un traitement de pyrolyse ménagée. In: **Annal of Forest Science**. Vol. 59. p. 317-326. 2002.

MOURA, L. F., **Aspectos da usinagem e do acabamento de madeiras tratadas pelo processo de termorreificação**. Relatório Parcial apresentado à FAPESP (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo) referente ao Primeiro Ano de Bolsa de Pós-doutorado, Piracicaba, SP. 86p. 2007.

MORESCHI, J. C. **Propriedades tecnológicas da madeira** Departamento de Engenharia e Tecnologia Florestal da Universidade Federal do Paraná-UFPR, 168p. 2005.

NEILSON D., The global *Eucalyptus* resource and some solidwood-panel product developmental issues. IUFRO Conference, Launceston, Austrália.

NUOPPONEM, M. et al. The effects of a geast treatment on the behaviour of extractives in softwood studies by FTIR spectroscopic methods. **Wood Science and Technology**, v.37, n.2, p. 109-115,2003.

NUOPPONEN, M., VUORINEN, T., JAMA, S., VIITANIEMI, P. Thermal modifications in softwood studeid by FT-IR and resonante Raman Spectroscopies. **Journal of wood Chemistry and Technology**. v.24. p. 13-26. January, 2005.

OLIVEIRA, V. S.; TOMASELLI, I. Efeito da secagem a altas temperaturas em algumas propriedades físicas e mecânicas da madeira jovem de *Araucária Angustifolia* (Bert.) O. Ktze. **Revista Floresta**, Santa Maria, v.2,n.1, p. 17-25,1981.

OLIVEIRA, J. T. S. **Caracterização da madeira de eucalipto para a construção civil**. Tese (Doutorado em Engenharia) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo. 429f. 1997.

OLIVEIRA, R. M., **Utilização de técnicas de caracterização de superfícies em madeiras tratadas termicamente**. Tese de Doutorado. Instituto de Física de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos, SP. 123p. 2009.

PANSHIN, A. I., DE ZEEUW, C. **Textbook of wood technology**. 3.ed. New York: McGraw-Hill, 722p. 1980.

PARAYNO, J.A. Shrinkage of some Philippine woods. **FPRDI**, Laguna, 13: 8-14, 1984.

PESSOA, A. M. C., FILHO, E. B., BRITO, J. O. Avaliação da madeira termorretrificada de *Eucalyptus grandis*, submetida ao ataque de cupim de madeira seca, *Cryptotermes brevis*. **Scientia Florestalis**, n.72, p. 11-16, 2006.

PETTERSEN, R.C. The chemical composition of wood. In: ROWELL, R.(ed). **The chemistry of solid wood**. Washington, American Chemical Society, p.54-126. 1984

PETROFF, G., DOAT, J. Pyrolyse des bois tropicaux: influence de la composition chimique des bois sur les produits de distillation. **Bois et Forêts des Tropiques**, n. 177, 51-54p., jan./fev., 1978.

PINCELLI, A. L. P. S. M. **Efeito da termorretrificação no envernizamento, colagem e cor da madeira de *Eucalyptus saligna* e *Pinus caribaea* var. *hondurensis***. 1999. 115 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia da Madeira) – Departamento de Ciências Florestais, ESALQ-USP, Piracicaba, 1999.

PINCELLI, A.L.P.S., BRITO,J.O., CORRENTE, J.E. **Avaliação da termorretrificação sobre colagem na madeira de *Eucalyptus saligna* e *Pinus caribaea* var. *hondurensis***. Scientia Forestalis, Piracicaba, n.61, p.122-132, jun.2002.

PINHEIRO, A. L. **Considerações sobre taxonomia, filogenia, ecologia, genética, melhoramento florestal e a fertilização mineral e seus reflexos na anatomia da madeira**. Viçosa, MG: SIF, 144p.1999.

PINTO, E. M. Determinação de um modelo de taxa de carbonização transversal a grã para o *Eucalyptus. Citriodora* e *Eucalyptus. Granidis*. Tese na Área de interunidades em ciência e engenharia de materiais, EESC/IFSC/IQSC, Universidade de São Paulo, SP. 138p. 2005.

PONCSÁK, S. EMSENHUBER, G., STINGL, R. Colour measurement as means of quality control of thermally treated wood. In: European Conference on Wood Modification. P.213-218. 2003.

QUIRINO, W.F; BORGES, L.M. Higroscopicidade da madeira de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* tratado termicamente. Revista **Biomassa & Energia** Vol 1, p.173-182. 2004,

RAPP A.O; **Review on heat treatments of wood; State of the art; COST Action E22**. 2001.

RAPP A.O. & M. Sailer, **Heat treatment of wood in Germany- State of the**

art; COST ACTION E22. 2002.

REVILLA, J. *Plantas da Amazônia: oportunidades econômicas e sustentáveis*. SEBRAE/AM. 1. ed. Programa de Desenvolvimento Empresarial e Tecnológico, Manaus. 405p., 2000.

REZENDE, M. A. DE, SAGLIETTI, J. R. C., GUERRINI, A. I., **Estudo das interações entre massa específica, retratibilidade e umidade da madeira do *Pinus caribaea* var. *hondurensis* aos 8 anos de idade**. IPEF n.48/49. p. 133-141. 1995.

RISBRUDT, C.D. Wood and Society. In Handbook of wood chemistry and wood composites. Rowell, R. M. (ed.) Boca Raton, Florida: CRC, p.1-7, 2005.

ROCHA, J. S., PAULA, E. V. C. M., SIQUEIRA, M. L. Flexão estática em amostras pequenas livres de defeitos. Acta Amazônia. V.18, p. 147-162. 1988.

ROCHADELLI, R. **Contribuição sócio-econômica da bracatinga (*Mimosa scabrella* bentham) na região metropolitana de Curitiba-norte (RMC-N)**. Dissertação – Setor de Ciências Agrárias, Unidade Federal do Paraná, Curitiba, 83 f., 1997.

RODRIGUES, T. O. **Efeito da Torrefação no Condicionamento de Biomassa para Fins Energéticos**. Dissertação de mestrado em Engenharia Florestal, Publicação PPGEFL.DM-109/2009, Departamento de Engenharia Florestal, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 71p., 2009.

ROTTA, E. e OLIVEIRA, Y.M.M. de. **Área de distribuição natural da bracatinga (*Mimosa scabrella*)**. In: 4º Seminário sobre Atualidades e Perspectivas Florestais: bracatinga, uma alternativa para reflorestamento. Anais. EMBRAPA.URPFCS. Curitiba, p.1-23. 1981.

RUY, O. F. **Variação da qualidade da madeira em clones de *Eucalyptus urophylla* S.T. Blake da Ilha das Flores, Indonésia**. Dissertação em Ciência e Tecnologia da Madeira, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba. 69p. 1998.

ROWELL. R. M., Le Van-Green, S.L. Thermal Properties. In: **Handbook of wood chemistry and wood composites**. Rowell R.M. (Ed.) Boca Raton, Florida: CRC, 121-138p. 2005.

SANTOS, I. S. Avaliação da madeira de *Eucalyptus sp.* para a produção de pisos a partir de toras de pequenos diâmetros. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia da madeira/ Processamento e Utilização da Madeira), Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG. 66p. 2008.

SANTOS, J. A. Mechanical behaviour of Eucalyptus wood modified by heat. **Wood Science and Technology**, v. 34, n. 1, p. 39-43, 2000. Disponível em: < <http://joyx.joensuu.fi/~karenlam/petri/mechan/4487Sant.pdf>>. Acesso em: 10 fev. 2010.

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

SIAU, J. F., Flow in Wood. Syracuse University Press. 131p. 1971.

SILVA, J. R. M. DA, **Relações da usinabilidade e aderência do verniz com propriedades fundamentais do *Eucalyptus grandis* HILL Ex. Maiden**. Tese no Setor de Ciências Agrárias, da Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR. 204p. 2002.

SIMPSON, W. T. **Dry kiln operator's manual**. Madison: United States Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory il. (USDA. Agriculture Handbook, 188). 274 p.1991.

SOUZA, M. H.; MAGLIANO, M. M.; CAMARGOS, J. A. A.; SOUZA, M. R. **Madeiras tropicais brasileiras**. Brasília, DF: IBAMA, 152 p. 1997.

**STAMM, A. J. Thermal degradation of wood and cellulose. Industrial and Engineering Chemistry**, v. 48, n. 3, p. 413-417, 1956.

STEWART, H.A.; POLAK, D.J. Relating specific gravity and mechanical properties of hardwoods to machining defects. **Forest Products Journal**, Madison, v.35, n.10, p.69-72. 1975.

STURION, J. A.; SILVA, F. Caracterización de la madera de bracatinga para energía. In: SALAZAR, R. (Ed.). **Manejo y aprovechamiento de plantaciones forestales con especies de uso múltiple**: actas Reunion IUFRO, Guatemala, abril 1989. Turrialba: CATIE, 1989. p. 541-549.

SUNDQVIST, B. **Colour changes and acid formation in wood during heating**. 2004. 154 f. Doctoral thesis (Divisions of wood material science) – Lulea University of Technology, Sweden, 2004. Disponível em: < <http://epubl.luth.se/1402-1544/2004/10/LTU-DT-0410-SE.pdf>>. Acesso em: 10 fev. 2010.

SYRJÄNEN T. & K. OY; **Heat treatment of wood in Finland: State of the art**; COST Action E22. 2001.

FINNISH THERMOWOOD ASSOCIATIONA (FTA), **ThermoWood® Handbook**, FIN-00171, Helsinki, Finland. 90p. 2003.

TREATEDWOOD BRAZIL (TWBRAZIL), **Madeira Modificada Com Calor**

**TMT** (Thermally Modified Timber), Apresentação resumida. Ficha técnica do produto. Ponta Grossa, Paraná, Brasil. 7p. 2010.

**THÉVENON M.F.**, Oils and water repellents in wood protection: **Research and development in France**; COST ACTION E22. **2002**.

TJEERDSMA B.; M. BOONSTRA; A. PIZZI; P. TEKELY & H. MILITZ; **Characterisation of thermally modified wood: molecular reasons for wood performance improvement**; Holz als Roh- und Werkstoff; 56:149-153. 1998.

**TOMAZELLO FILHO, M.** Notas de aula de formação, anatomia, propriedades e identificação de madeiras. Piracicaba: ESALQ / Departamento de Ciências Florestais, (não publicado), 1994.

TSOUMIS, G. Science and technology of Wood: structure, properties and utilization. New York: Van Nostrand Reinold 494p. 1991

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ. **Estudos das alternativas técnicas, econômicas e sociais para o setor florestal do Paraná**. Subprograma Tecnologia. Curitiba: "Convênio 28\76: SUDESUL, IBDF, Governo/PR", 1979. 327p.

USDA. FOREST PRODUCTS LABORATORY. **Wood handbook: Wood as an engineering material**. Madison: FLP, 1974.

VERGNET, L.F. **Torrefied wood: characteristics, economics and prospects at the present stage of process development**. Nogent Sur Marne: CIRAD, Head of Energy Department, 1v, 1988.

VERNOIS, M. **Heat treatment of wood in France: State of the art**; COST Action E22. 2001.

VIEIRA, R. DA S., **Propriedades mecânicas da madeira de clones de *Eucalyptus* e do carvão produzido entre 350 °C e 900 °C**. Tese de doutorado em Ciência e Tecnologia da Madeira, Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG. 80p. 2009.

VITAL, B. R. MACIEL, A. S., DELLA LUCIA, R. M. Qualidade de juntas coladas com laminas de madeira oriundas de três regiões do tronco de *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus saligna* e *Pinus elliottii*. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 30, n. 4, p. 637-644, 2006.

VOLVELLE, C.; MELLOOTTEE, H. Modelisation de la pyrolyse oxydante ou noxydante de bois ou de déchets végétaux à partir de leurs composants. In: PALZ, W.; CHARTIER, P. (Eds.). **Energy from biomass. 2. ed**. London: Applied Sciences, p. 925-929. 1982

TSOUMIS, G. **Science and technology of wood**: structure, properties, utilization. New York: Chapman e Hall, 1991.

WANGAARD, F. F. **The mechanical properties of wood**, New York, John Wiley & Sons , 337p. 1950.

WINANDY, J. ROWLL, R. M. Chemistry of Wood Strength. In: Handbook of wood chemistry and wood composites. Rowell, R. M. (ed.). Boca Ration, Florida: CRC, p. 303-347. 2005.

YILDIZ, S.; GEZER, E. D.; YILDIZ, U. C. Mechanical and chemical behavior of spruce wood modified by heat. **Building and Environment**, v. 41, n. 1, p. 1762–1766, 2006. Disponível em: <[http://www.sciencedirect.com/science?\\_ob=MiamiImageURL&\\_imagekey=B6V23-4H0BSSH-2-5&\\_cdi=5691&\\_user=687358&\\_pii=S0360132305003045&\\_check=y&\\_orig=search&\\_coverDate=12%2F31%2F2006&view=c&wchp=dGLbVzWzSkzk&md5=acfb475ea3fb2a5d7edd31a24ffe0f9a&ie=/sdarticle.pdf](http://www.sciencedirect.com/science?_ob=MiamiImageURL&_imagekey=B6V23-4H0BSSH-2-5&_cdi=5691&_user=687358&_pii=S0360132305003045&_check=y&_orig=search&_coverDate=12%2F31%2F2006&view=c&wchp=dGLbVzWzSkzk&md5=acfb475ea3fb2a5d7edd31a24ffe0f9a&ie=/sdarticle.pdf)>. Acesso em: 5 fev. 2010.



# Livros Grátis

( <http://www.livrosgratis.com.br> )

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)  
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)  
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)  
[Baixar livros de Matemática](#)  
[Baixar livros de Medicina](#)  
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)  
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)  
[Baixar livros de Meteorologia](#)  
[Baixar Monografias e TCC](#)  
[Baixar livros Multidisciplinar](#)  
[Baixar livros de Música](#)  
[Baixar livros de Psicologia](#)  
[Baixar livros de Química](#)  
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)  
[Baixar livros de Serviço Social](#)  
[Baixar livros de Sociologia](#)  
[Baixar livros de Teologia](#)  
[Baixar livros de Trabalho](#)  
[Baixar livros de Turismo](#)