



**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA  
FACULDADE DE TECNOLOGIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL**

**PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS DE  
COMPENSADOS TERMO-DENSIFICADOS DE  
PARICÁ (*Schizolobium amazonicum* Huber ex  
Ducke)**

**PATRICIA RAMOS BATISTA**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

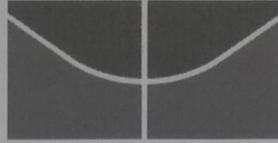
**PATRICIA RAMOS BATISTA**

**Propriedades físicas e mecânicas de compensados  
termo-densificados de paricá (*Schizolobium amazonicum*  
Huber ex Ducke)**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Departamento de Engenharia Florestal, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Engenheiro Florestal.

**Orientadora:** Dra. Mírian de Almeida Costa

Brasília – DF  
Junho de 2018



Universidade de Brasília  
Faculdade de Tecnologia  
Departamento de Engenharia Florestal

**PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS DE COMPENSADOS  
DENSIFICADOS DE PARICÁ (*SCHIZOLOBIUM AMAZONICUM* HUBER EX  
DUCKE)**

Estudante: Patricia Ramos Batista

Matrícula: 11/0135008

Orientador: Prof. Dra. Mírian de Almeida Costa

Menção: SS

Prof. Dra. Mírian, de Almeida Costa  
Universidade de Brasília – UnB  
Departamento de Engenharia Florestal  
Orientador

Prof. Dr. Joaquim Carlos Gonzalez  
Universidade de Brasília – UnB  
Departamento de Engenharia Florestal  
Membro da Banca

Prof. Dr. Divino Eterno Teixeira  
Laboratório de Produtos Florestais – LPF  
Membro da Banca

Brasília – DF, 04 de julho de 2018

*“Viver é a coisa mais rara do mundo. A maioria das pessoas apenas existe.”*

Oscar Wilde

## **Agradecimentos**

Aos meus pais e amigos que me escutaram incontáveis vezes, me apoiaram e não me deixaram ceder quando tudo parecia perdido.

A Dr. Mírian de Almeida Costa por toda a orientação, companheirismo e paciência que teve comigo. A pesquisadora Ana Paula Nakamura por todo o auxílio e colaboração.

Ao Laboratório de Produtos Florestais (LPF) do Serviço Florestal Brasileiro, Brasília-DF, pela disponibilização do espaço, equipamentos e funcionários para a realização dos tratamentos, confecção de amostras e realização de alguns ensaios.

A Universidade de Brasília e ao Departamento de Engenharia Florestal que fizeram deste processo uma realidade.

A todos aqueles que contribuíram de alguma maneira, mesmo que inconscientemente e me ajudaram a concluir este trabalho.

# Sumário

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	<b>1</b>
<b>2. OBJETIVO</b> .....	<b>2</b>
<b>3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>2</b>
3.1. A ESPÉCIE <i>SCHIZOLOBIUM AMAZONICUM</i> (HUBER EX DUCKE) .....	2
3.1.1. <i>Propriedades da madeira de paricá e seus usos</i> .....	3
3.2. COMPÓSITOS E PAINÉIS ESTRUTURAIS DE MADEIRA .....	5
3.2.1. <i>O painel de compensado</i> .....	7
3.3. TRATAMENTO TÉRMICO .....	8
3.4. DENSIFICAÇÃO .....	10
3.5. EFEITO DA COMPRESSÃO NAS PROPRIEDADES DA MADEIRA .....	13
<b>4. MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	<b>16</b>
4.1. TRATAMENTO TERMOMECÂNICO .....	16
<i>Método 1: Densificação em duas etapas</i> .....	17
<i>Método 2: Esfriamento dos painéis densificados à pressão constante e a frio</i> .....	18
4.2. PROPRIEDADES MECÂNICAS .....	19
4.3. PROPRIEDADES FÍSICAS .....	21
4.4. ANÁLISE ESTATÍSTICA .....	23
<b>5. RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	<b>23</b>
5.1. PROPRIEDADES FÍSICAS .....	23
5.1.1. <i>Estabilidade dimensional</i> .....	25
5.2. PROPRIEDADES MECÂNICAS .....	27
5.3. CORRELAÇÕES ENTRE AS PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS DOS PAINÉIS .....	29
<b>6. CONCLUSÕES</b> .....	<b>32</b>
<b>7. RECOMENDAÇÕES</b> .....	<b>32</b>
<b>8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	<b>33</b>

## Lista de tabelas

TABELA 1: ALTERAÇÃO NA MADEIRA DE ACORDO COM A TEMPERATURA.....	10
TABELA 2: ESQUEMA DOS PARÂMETROS ADOTADOS PARA OS MÉTODOS 1 E 2. ....	16
TABELA 3: VALORES MÉDIOS DE MASSA ESPECÍFICA (ME) E TAXA DE COMPRESSÃO (TC) DAS TESTEMUNHAS E DAS AMOSTRAS DOS MÉTODOS 1 E 2.....	24
TABELA 4: PROPRIEDADES DE ESTABILIDADE DIMENSIONAL DOS COMPENSADOS DE PARICÁ.....	25
TABELA 5: VALORES DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DOS COMPENSADOS DE PARICÁ....	27
TABELA 6: CORRELAÇÕES LINEARES SIMPLES ENTRE PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS DOS PAINÉIS DE COMPENSADOS. ....	29

## Lista de figuras

FIGURA 1: DIFERENCIAÇÃO DE COR ENTRE CERNE (ESQUERDA) E ALBURNO (DIREITA).....	3
FIGURA 2: DISPOSIÇÃO DOS ELEMENTOS DE VASO E RAIOS (A), COMPOSIÇÃO DOS RAIOS (B) E ARRANJO DAS PONTUAÇÕES (C), DA MADEIRA DE PARICÁ AOS 6 ANOS DE IDADE. FONTE: TEREZO (2010).....	4
FIGURA 3: ORIENTAÇÃO DOS COMPOSTOS ESTRUTURAIS DE MADEIRA (ASTM D 5456). ....	6
FIGURA 4: MADEIRA DE TULIPEIRO (YELLOW POPLAR) NÃO TRATADO E A MESMA ESPÉCIE APÓS O PROCESSO VTC. FONTE: KAMKE (2006) .....	12
FIGURA 5: ESQUEMA DO INCHAMENTO EM ESPESSURA DE MADEIRAS COMPRIMIDAS, ONDE E <sub>i</sub> , E <sub>d</sub> E E <sub>f</sub> REPRESENTAM AS ESPESURAS INICIAL, DEPOIS DA COMPRESSÃO E FINAL, RESPECTIVAMENTE E I <sub>ET</sub> , I <sub>EH</sub> E I <sub>ÉTC</sub> REPRESENTAM OS INCHAMENTOS EM ESPESSURA TOTAL, HIGROSCÓPICO E DE TENSÃO DE COMPRESSÃO. FONTE: ARRUDA (2012). ....	15
FIGURA 6: PAINÉIS NA PRENSA HIDRÁULICA INDUMEC E TERMOPAR COM FIOS EM CONTATO COM A PRENSA E NA LINHA DE COLA CENTRAL.....	18
FIGURA 7: RELAÇÕES LINEARES ENCONTRADAS PARA O MÓDULO DE ELASTICIDADE (MOE), DE RUPTURA (MOR) E MASSA ESPECÍFICA APARENTE À 12% DE UMIDADE (MEA) PARA OS PAINÉIS PARICÁ.....	30
FIGURA 8: RELAÇÕES LINEARES ENCONTRADAS ENTRE A MASSA ESPECÍFICA APARENTE E O INCHAMENTO E ESPESSURA DE 2 HORAS E 24 HORAS DOS PAINÉIS DE PARICÁ. ....	31
FIGURA 9: RELAÇÕES LINEARES ENCONTRADAS ENTRE A MASSA ESPECÍFICA APARENTE E A TAXA DE COMPRESSÃO (TC) DOS PAINÉIS DE PARICÁ. ....	31

## Resumo

Este trabalho buscou analisar as propriedades físicas e mecânicas de compensados de paricá após serem submetidos a tratamentos de termo-densificação. Foram propostas duas metodologias, no qual o Método 1 consistiu em densificar este material em duas etapas, repetindo os mesmos parâmetros – temperatura de 120°C, tempo sob pressão de 10 minutos e tempo sob pratos aquecidos sem pressão de 30 e 45 minutos (tratamentos 1 e 2) – na primeira etapa e na segunda, após nove dias. O Método 2, com temperatura de 120°C e tempo sob pressão de 5 minutos, foi composto pela densificação seguida de resfriamento na prensa fria com pressão constante (45 minutos e 60 minutos). Foram um total de quatro tratamentos e testemunha, e estes métodos buscavam liberar as tensões de compressão e melhorarem a estabilidade dimensional dos painéis. As propriedades físicas e mecânicas foram comparadas as propriedades dos painéis que não foram tratados (testemunhas). Os resultados obtidos indicaram que não houve melhora na estabilidade do material tratado termicamente. Houve um aumento do módulo de elasticidade do tratamento 2. Não houve melhora significativa nas propriedades mecânicas avaliadas, porém pode-se observar que houve um aumento dessas propriedades quando comparados aos painéis não tratados.

**Palavras-chave:** Paricá, compensado, termo-densificação, estabilidade da madeira.

## Abstract

The work aimed to analyze the physical and mechanical properties of plywood produced with veneers of *Schizolobium amazonicum* wood after being submitted to heat densification. Two methodologies were proposed. Method 1 consisted of densifying this material in two steps, repeating the same parameters - temperature of 120°C, time under pressure of 10 minutes and time under heated plates without pressure of 30 and 45 minutes – in the first and the second stage, after nine days. Method 2, with a temperature of 120°C and time under pressure of 5 minutes, was composed by densification followed by cooling in the press at constant pressure (45 minutes and 60 minutes). There were four treatments and controls and these methods sought to release the compression stresses and improve the dimensional stability of the panels. The physical and mechanical properties were compared to the properties of panels that were not treated (controls). The results indicated that there was no improvement in the stability of the treated material. There was an increase in the modulus of elasticity of treatment 2. There was no significant improvement in the mechanical properties evaluated, but it can be observed that there was an increase in these properties when compared to the untreated panels.

**Palavras-chave:** *Schizolobium amazonicum*, plywood, heat densification.

## 1. Introdução

A madeira possui algumas vantagens para a indústria quando comparadas com outros materiais, possuindo uma excelente trabalhabilidade, excelentes propriedades mecânicas em relação ao seu peso e boa aparência. Seu principal uso na indústria é em móveis, pisos, painéis e estruturas. Porém, a instabilidade dimensional causada pela higroscopicidade da madeira, descoloração e degradação por exposição aos raios UV, propriedades mecânicas não homogêneas e degradação biológica impedem a ampla adoção da madeira na indústria, sendo então necessários estudos para melhorar tais propriedades indesejáveis (MORSING, 2000).

Segundo o relatório IBA (2017), o Brasil possui 7,84 milhões de hectares de florestas plantadas, sendo o paricá a quinta espécie com maior área, aproximadamente 90.047 ha, estando atrás de espécies como o eucalipto, pinus, seringueira e acácia. Tonello et al. (2006) destacaram que o Brasil é um dos principais consumidores de madeira tropical no mundo, assim, parte significativa da madeira produzida na Amazônia é destinada ao mercado interno como matéria-prima. O paricá (*Schizolobium amazonicum*) apresenta vantagens para a produção de painéis compensados por apresentar rápido crescimento e com isso tem um maior incremento volumétrico da madeira. No entanto, essa característica reflete em algumas limitações técnicas relacionadas à madeira, sobretudo quanto à sua massa específica e porosidade (MARRA, 1992; TSOUMIS, 1991).

O tratamento termomecânico é um método de densificação da madeira a partir de calor e pressão aplicada perpendicularmente as fibras, podendo ser realizada a seco, em meio aquoso ou com o uso de vapor aumentando a densidade e melhorando algumas propriedades do material. Este tratamento é uma oportunidade para que as madeiras leves e porosas se tornem mais densas e possam ser utilizadas em situações onde é necessária maior resistência (KUROWSKA et al., 2010; ARRUDA, 2012).

Uma das principais desvantagens desse processo é o produto dimensionalmente instável, que tende a liberar a tensão de compressão acumulada, ocorrendo ao absorverem a umidade; o inchamento total em espessura é a soma do inchamento natural da madeira – por ser um material higroscópico – e o inchamento causado pela liberação da tensão de compressão (ARRUDA; DEL MENEZZI, 2013).

Neste contexto, o presente trabalho buscou investigar o efeito de diferentes técnicas de densificação na estabilidade dimensional do material, – se foram capazes de liberar essas tensões de compressão acumuladas durante o processo de densificação – e o efeito em outras propriedades físicas e mecânicas do compensado de paricá. .

## **2. Objetivo**

O objetivo geral do trabalho é avaliar o efeito de duas diferentes metodologias de termo-densificação nas propriedades físicas e mecânicas de compensados de paricá (*Schizolobium amazonicum*).

## **3. Revisão bibliográfica**

### **3.1. A espécie *Schizolobium amazonicum* (Huber ex Ducke)**

A espécie pertence à família Leguminosae: Caesalpinoideae, sendo conhecida pelos nomes vulgares de paricá, bandarara, guapuvuru-da-amazônia, entre outros que variam de acordo com a região de ocorrência. O paricá ocorre em matas primárias ou secundárias de solos argilosos, que podem possuir alta ou baixa fertilidade, em terra firme e várzea alta, sendo uma espécie pioneira. Tem a capacidade de crescer em ambientes com modificações antrópicas, o que a torna interessante para a recuperação de áreas degradadas (CARVALHO, 2007). O paricá tem ocorrência natural na Amazônia brasileira, colombiana, peruana, boliviana e venezuelana, em regiões de altitudes que variam de 20 a 700 m, com precipitações de 1.600 a quase 6.000 mm/ano e temperaturas médias anuais de 23 a 27°C. No Brasil o paricá ocorre nos estados da Amazônia, Pará, Mato Grosso, Acre e Rondônia (AMATA, 2009).

É uma árvore de grande porte, podendo atingir de 15 a 40 m de altura e de 50 a 100 cm de DAP. Por ser uma espécie pioneira apresenta crescimento rápido, possuindo um fuste alto e esbelto, sem ramificações, o que a torna uma alternativa interessante para plantios comerciais e reflorestamento (SOUZA et al, 2003). Segundo Iwakiri et al. (2010), tem uma produtividade média anual de 20 a 30 m<sup>3</sup>/ha/ano, estando com valores próximos da média de produtividade de espécies como o pinus, que é de 25 a 30 m<sup>3</sup>/ha/ano, e superiores a espécies como a teca, que tem produtividade média de 15 a 20 m<sup>3</sup>/ha/ano. Percebe-se que a espécie possui um grande potencial madeireiro, porém

poucos estudos para o seu melhoramento estão sendo realizados (TEREZO, 2010). Segundo o relatório IBA (2017) o paricá é a quinta espécie com maior área de floresta plantada no Brasil no ano de 2016, com uma área de aproximadamente 90.047 ha estando atrás de espécies como o eucalipto, pinus, seringueira e acácia.

### 3.1.1. Propriedades da madeira de paricá e seus usos

De acordo com Souza et al. (2005) o paricá, possui grã ondulada, textura média, figura tangencial destacada das linhas vasculares, figura radial pouco destacada e com raios de pouco contraste, inodora, brilho acentuado e macia ao corte, com massa específica média de 0,39 g/cm<sup>3</sup>. Apresenta um alburno diferenciado do cerne, com zona gradual de transição. O alburno possui uma coloração creme-amarelado enquanto o cerne é de um marrom-claro (Figura 1).



Figura 1: Diferenciação de cor entre cerne (esquerda) e alburno (direita ). Fonte: Melo (2012)

Quanto à caracterização anatômica (Figura 2), esta espécie apresenta pouco parênquima axial; cerca de 2 poros/mm<sup>2</sup>, raios homogêneos (3 - 4 seriados); fibras abundantes de paredes moderadamente finas (média de 7 µm), curtas, com comprimento entre 894 e 1.832 µm (ROSA, 2006).

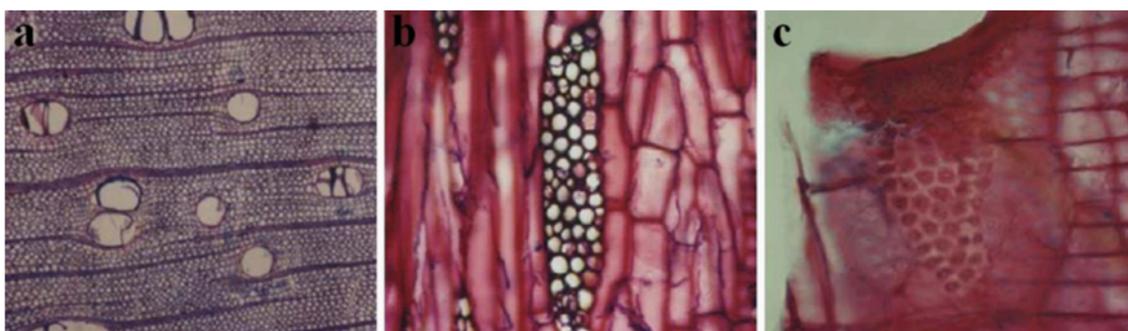


Figura 2: Disposição dos elementos de vaso e raios (a), composição dos raios (b) e arranjo das pontuações (c), da madeira de paricá aos 6 anos de idade. Fonte: Terezo (2010).

Ao que diz respeito à madeira de paricá, a retirada da casca, laminação, secagem, furação, aplainamento, fixação, tratamento preservativo, colagem e acabamento possuem fácil processamento (MELO et al., 1989; MARQUES et al., 2006), porém possui baixa durabilidade natural, sendo suscetível ao ataque de fungos, cupins e outros insetos xilófagos. Destaca-se o principal uso dessa madeira que é a produção de lâminas para a confecção de painéis de compensado, sendo também utilizados para embalagens e paletes (FIGUEIROA, 2008).

Pereira et al. (1982) consideraram que a madeira do paricá fornece celulose de boa qualidade, pois o fácil branqueamento permite a fabricação de papel com excelente resistência. Estudos da composição química da madeira de *Schizolobium amazonicum* foram realizados por Vidaurre (2010) e o autor mostrou que a fração de carboidratos da madeira, principalmente com relação ao teor de celulose, é muito similar à de alguns clones de eucalipto utilizados na indústria de celulose e papel. Ele demonstrou que a produção de pasta celulósica a partir de indivíduos de paricá é promissora, mesmo que tenha apresentado menor rendimento devido à baixa massa específica, menor branqueabilidade e maior consumo de energia que o apresentado para madeira de *Eucalyptus grandis*.

Vidaurre (2010) evidenciou uma baixa quantidade de extrativos na madeira de paricá, que foi atribuída à utilização de amostras obtidas de indivíduos jovens, com cerne praticamente inexistente. Essa tendência foi afirmada anteriormente por Guler et al. (2007), quando compararam os teores de extrativos encontrados em madeiras de árvores jovens e adultas para uma mesma espécie. Esse aspecto pode ser atribuído à pouca ou não formação do cerne e a grande proporção de madeira juvenil observada em árvores mais jovens.

A produção de painéis de aglomerados com o uso de madeira de paricá é considerada promissora (NAUMANN et al., 2008; IWAKIRI et al., 2010) e no estado do Pará, fibras do *Schizolobium amazonicum* já são utilizadas pela empresa Rio Concren® em parte da composição de chapas MDF (*Medium Density Fiberboard*), as quais são produzidas majoritariamente com fibras de espécies do gênero *Eucalyptus* (MELO, 2012).

Por sua arquitetura e floração vistosa, pode ser empregada em arborização de praças e jardins amplos. Como produto não madeireiro, a casca do paricá é utilizada com fins medicinais para o combate de diarreia e hemorragia uterina (CARVALHO, 2007). Rosa (2006) destacou ainda a semente, a qual vem apresentando um aumento considerável por sua procura com o aumento da demanda para implantação de novas áreas. Os maiores fornecedores de semente da espécie *Schizolobium amazonicum* são o Pará, Rondônia e Mato Grosso.

### **3.2. Compósitos e painéis estruturais de madeira**

A crescente demanda do mercado por peças de madeira com qualidade controlada e o grande avanço do setor tecnológico contribui para a diminuição gradativa do uso de madeira serrada, sendo substituída por produtos engenheirados de madeira, os quais foram desenvolvidos em resposta a uma necessidade por madeira de alta qualidade e determinado comprimento num período de escassez deste material nos recursos florestais (PEDROSA, 2003).

Costa (2015) citando Vieira et al. (2012) explicou essa tendência de substituição de madeira serrada por painéis de madeira devido a alguns fatores:

- A escassez de madeira de grandes diâmetros economicamente viáveis para exploração;
- O acelerado desenvolvimento tecnológico para a produção de painéis à base de madeira mais baratos e competitivos;
- A crescente pressão ambiental exercida por diversos setores da sociedade – em especial, dos países temperados que são essencialmente os consumidores desses produtos – contra a destruição das florestas;
- A crescente aceitação do mercado em substituir os produtos de madeira sólida por painéis à base de madeira que atendam as necessidades específicas dos mesmos.

Esse aumento no consumo e na produção de painéis teve início nos países de clima temperado, que desenvolveram essa nova tecnologia de processamento da madeira para atender à demanda de produtos dessa natureza. Mesmo tendo sido uma iniciativa de países desenvolvidos, há uma preferência pelo uso de painéis por parte de países em desenvolvimento, principalmente devido ao preço (VIEIRA et al., 2012). Segundo estes autores, a indústria de painéis de madeira é de suma importância para a economia brasileira, sobretudo pela dinâmica de novas tecnologias associada à geração de renda e emprego nos setores moveleiro e da construção civil, sendo este o de maior crescimento atualmente no País.

De acordo com a *American Society for Testing and Materials* - ASTM D 5456 (2001), compostos estruturais de madeira são produtos engenheirados destinados ao uso estrutural confeccionados com lâminas (*veneer*), tiras (*strands*) ou outros pequenos elementos de madeira com adesivo externo (resistente à umidade) e qualificados segundo as especificações da ASTM D 2559 (2001). Nesta classe de compósitos enquadram-se os painéis do tipo LVL (*Laminated Veneer Lumber*), o qual se refere a um painel composto por lâminas de madeira coladas usualmente no mesmo sentido da grã (SOUZA, 2009). Também fazem parte desta classe o PSL (*Parallel Strand Lumber*) e o LSL (*Laminated Strand Lumber*), todos esses com uma característica em comum: o alinhamento da grã dos componentes de madeira, sendo este prioritariamente paralelo ao comprimento da peça produzida, com o objetivo de otimizar a rigidez e a resistência (Figura 3) (SHMULSKY e JONES, 2011).

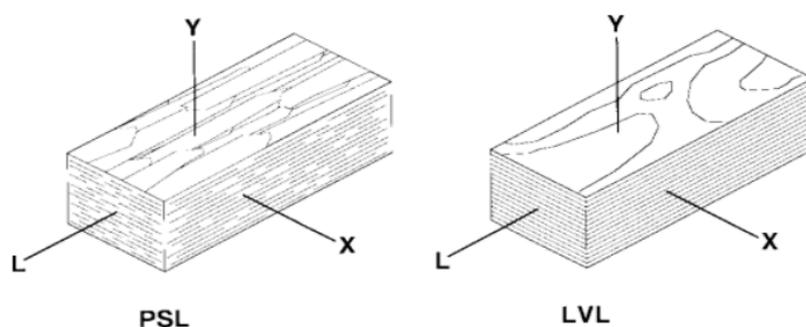


Figura 3: Orientação dos compostos estruturais de madeira (ASTM D 5456).

Ainda segundo Shmulsky e Jones (2011) os painéis estruturais podem ser produzidos com grande variedade de materiais e tamanhos, sendo o resultado final um produto mais homogêneo que a madeira serrada e que distribui uniformemente os

defeitos. Ressalta-se que estes compostos têm como importante concepção tecnológica o uso da própria resistência natural da madeira associada à técnicas modernas de engenharia e produção para criar produtos estruturais eficientes utilizando diferentes fontes de recursos (SOUZA, 2009).

### **3.2.1. O painel de compensado**

O painel de compensado, considerado um painel estrutural de madeira, é constituído por lâminas de madeira perpendicularmente dispostas umas sobre as outras. Existem indícios de que a fabricação de compensados tenha tido início no Egito em 1500 a.C., onde nesta época a colagem das folhas de madeira era realizada com um tipo de adesivo animal. Anos depois, em 1830 nos EUA uma indústria de pianos começou a utilizar compensado na fabricação dos mesmos. A partir de então, várias pesquisas foram desenvolvidas com o intuito de mecanizar o processo de fabricação desses painéis (PEDROSA, 2003) e em 1950, com o surgimento das resinas sintéticas (ureia-formaldeído e fenol-formaldeído) que permitiam uma colagem mais resistente entre as madeiras, houve um maior desenvolvimento dos painéis compensados (ZUGMAN, 1998). Segundo o autor, o aumento da resistência aumentou a possibilidade de uso do produto, permitindo que o mesmo seja aplicado em situações de alta umidade relativa ou mesmo em contato direto com a água.

Em muitas ocasiões a resina empregada determina o uso final do compensado. A resina à base de uréia apresenta menor resistência à umidade, porém o uso de fortificantes pode contornar facilmente essa debilidade (TOMASELLI, 1998). Em contrapartida, a resina fenol-formaldeído possui alta resistência à ação da umidade e da água em função da sua composição química (IWAKIRI et al. 2007). Tomaselli (1998) referiu que colas mais resistentes permitem usos extremos do compensado, como a utilização para a construção de barcos e formas para concreto.

O processo de prensagem, segundo Iwakiri et al. (2007), necessita de cuidados importantes como: o controle do teor de umidade das lâminas do miolo, que deve estar abaixo de 8% para evitar a formação de “bolhas” e delaminações no painel, em função da alta pressão interna de vapor gerada entre as linhas de colagem das lâminas (MARRA, 1992). De acordo com Kurt e Cil (2012) e Kairi (2002) existem três parâmetros primordiais no processo de fabricação do compensado que são: o calor, a pressão e o teor de umidade. O espalhamento correto do adesivo no processo de

colagem das lâminas, a pressão aplicada sobre elas e as propriedades da superfície como a limpeza e rugosidade, exercem bastante influência no resultado final e conferem maior resistência ao produto (AYDIN et al., 2013).

Segundo Iwakiri et al. (2006), os parâmetros adequados da madeira para laminação e produção de painéis compensados são principalmente: massa específica da madeira (baixa a média), características do fuste (diâmetro e forma) e grã direita a levemente inclinada. Guimarães Junior et al. (2012) e IWAKIRI et al. (2012) trazem que as árvores de crescimento rápido apresentam vantagens, pois possuem maior incremento volumétrico da madeira. Contudo, Marra (1992) e Tsoumis (1991) ressaltam que essa característica leva a limitações quanto a sua massa específica e porosidade.

A madeira de paricá é considerada de baixa a média massa específica, sendo uma vantagem técnica significativa na fabricação de painéis compensados que necessitam de maior resistência mecânica. De acordo com diversos autores, 30% das lâminas produzidas a partir de madeira de paricá são utilizadas como capa e o restante como miolo (parte interna) (ROSA, 2006).

Para a fabricação do compensado é realizada a colagem de lâminas de madeira em camadas ímpares sobrepostas com a direção das fibras das camadas sucessivas formando ângulos retos entre si e o direcionamento cruzado das fibras também proporciona a uniformidade das propriedades mecânicas nas duas direções do plano da chapa (TSOUMIS, 1991). Costa (2015) citando Baldwin (1995) e Sellers (1985), afirmou que o tipo, a quantidade e a composição do adesivo, além dos procedimentos utilizados na colagem das lâminas são fundamentais na qualidade do processamento dos painéis.

### **3.3. Tratamento térmico**

Um dos grandes empecilhos para a adoção de produtos madeireiros para determinados fins tem sido sua característica anisotrópica associadas à sua higroscopicidade (JOHANSSON, 2008). Por esta razão, a indústria tem trabalhado na minimização destes efeitos, modificando características estruturais da madeira, sendo o tratamento térmico muito empregado para o processamento de produtos florestais (DEL MENEZZI, 2004).

De acordo com Esteve e Pereira (2009), a grande demanda por produtos mais duráveis, ecologicamente corretos e a criação de políticas mais restritivas para o uso de produtos químicos, é um incentivo à aplicação de tratamentos térmicos a níveis

industriais, como já ocorre em países como a Finlândia, Holanda, Alemanha e França, que adotam respectivamente os seguintes métodos: *Thermowood*, *PlatoWood*, *Bois-Perdure* e *OHT-Oil Heat Treatment*.

Os processos de tratamentos térmicos variam desde a secagem até a gaseificação do produto (RODRIGUES, 2009). Estes processos podem implicar em modificações desejadas e indesejadas, existindo diversas maneiras (uso de ar, fumaça, vapor, nitrogênio, entre outros) de realizar a sua aplicação, podendo resultar em diferentes alterações das propriedades da madeira (DEL MENEZZI, 2004). Além destes inúmeros processos que utilizam o calor como forma de modificar a estrutura da madeira, Pincelli et al. (2002) destacaram que existem outros agentes atuantes para que essa modificação ocorra, como tempo de tratamento, velocidade de aquecimento e a pressão atmosférica.

Na indústria, as temperaturas utilizadas nos tratamentos podem variar de 150°C a 260°C durante períodos que podem levar de minutos a horas, como também podem ser precedidos de compressão; na maioria dos casos, a umidade relativa e a pressão exercida sobre a madeira são controladas (SANDBERG, 2013). Entre os tratamentos citados anteriormente, o processo finlandês *Thermowood* é constituído pela secagem das peças de madeira com vapor quente a uma temperatura de 100°C a 130°C e depois tratada termicamente a 185°C a 215°C por aproximadamente 2 a 3 horas. *PlatoWood* (Holanda) divide-se em dois estágios: hidrotermólise da madeira e posteriormente a secagem em estufa e aquecida em estufa especial, com temperaturas variando de 150°C a 190°C (HILL, 2006). O tratamento francês *Bois-Perdure* consiste na madeira verde tratada a 230°C com o vapor gerado por ela mesma e finalmente o processo realizado na Alemanha, *OHT-Oil Heat Treatment*, onde a madeira é submersa em um tanque fechado com óleo quente com temperatura de 180°C a 220°C por 2 a 4 horas (ESTEVE e PEREIRA, 2009).

No Brasil, a termorretificação ou tratamento térmico, segundo Brito et al. (2006), tem como objetivo reduzir a higroscopicidade da madeira assim como aumentar sua estabilidade dimensional. Este tipo de processo emprega temperaturas altas, entre 100°C e 250°C, que são capazes de iniciar a degradação dos componentes químicos fundamentais da madeira, principalmente hemiceluloses. Sanderberg (2013) ressaltou que a madeira é deteriorada severamente quando tratada com temperaturas superiores a 300°C.

De acordo com Fengel e Wegner (1984), os constituintes químicos da madeira apresentam boa estabilidade quando submetidos a tratamentos térmicos de até 100°C de temperatura e 48 horas de duração, concomitantemente. Stamm (1964) destacou que temperaturas superiores a 105°C por longos ou curtos períodos podem degradar seus constituintes. Segundo o autor, essa degradação pode ser dividida em até 4 fases: até 100°C liberação de água e óleos voláteis; 100 a 275°C - liberação de ácido pirolenhoso e gases; 275 a 350°C reações exotérmicas, formação da maior parte dos destilados e liberação de gases inflamáveis; acima de 350°C formação de carvão (Tabela 1).

Tabela 1: Alteração na madeira de acordo com a temperatura.

Temp. (°C)	Alterações na madeira
55	A estrutura natural da lignina é alterada. A hemicelulose começa a amolecer
70	Começa a retração transversal da madeira
110	A lignina lentamente começa a perder peso
120	O teor de hemicelulose começa a diminuir e a celulose alfa começa a aumentar; a lignina começa a amolecer
140	A água de impregnação é liberada
160	A lignina se funde e começa a ressolidificar
180	A hemicelulose começa a perder peso depois de ter perdido 4%; a lignina da membrana de pontoações escoa
200	A madeira começa a perder peso rapidamente; as resinas fenólicas começam a se formar e a celulose a se desidratar
210	A lignina solidifica; a celulose amolece e despolimeriza-se; as reações endotérmicas transformam-se em exotérmicas
225	A cristalinidade da celulose diminui e é retomada
280	A lignina atinge 10% de perda de massa; a celulose começa a perder peso
288	Temperatura adotada para a carbonização da madeira
300	O cerne amolece irre recuperavelmente
320	A hemicelulose é completamente degradada
370	A celulose apresenta perda de 83% de seu peso inicial
400	A madeira é completamente carbonizada

Fonte: SCHAFFER (1973).

### 3.4. Densificação

Durante Segunda Guerra Mundial, no final da década de 1930, a densificação da madeira começou a ser estudada devido ao interesse de se obter produtos mais resistentes e duráveis, sendo assim realizados estudos utilizando a impregnação de resina e compressão mecânica (FOREST PRODUCTS LABORATORY, 2010). Estes estudos foram de fundamental importância para o surgimento de novos produtos de madeira modificada, pois como apresentado por Arruda et al. (2011), o calor altera propriedades mecânicas da madeira provocando uma redução de sua massa. Essas

alterações são reversíveis enquanto a temperatura estiver a baixo de 100°C, mas quando a madeira é submetida a temperaturas superiores, esses efeitos passam a ser irreversíveis ou permanentes. O FPL (2010) indicou que a deterioração da madeira, perda de massa e resistência dependem de fatores como aumento da temperatura, tempo de exposição, meio de aquecimento, teor de umidade e mesmo a espécie e tamanho da peça.

A densificação da madeira, segundo Kutnar et al. (2007), obtém melhores resultados quando realizada com o uso de compressão mecânica e calor, pois este último atua sobre os polímeros viscoelásticos lignina e hemiceluloses da parede celular, auxiliando em sua deformação sem causar fraturas. Os tratamentos termomecânicos diminuem a rugosidade da madeira, aumentam a densidade, reduzem o teor de umidade e o inchamento em espessura assim como melhoram as propriedades mecânicas. A denominação de tratamentos que envolvem compressão e calor é de acordo com a forma em que o calor é utilizado; assim, termomecânicos ou termohidromecânicos são aqueles em que o calor é conduzido por meio aquoso e termohigromecânicos quanto o calor for conduzido por vapor (BEKHTA; MARUTZKY, 2007; CLOUTIER et al., 2008; WELZBACHER et al., 2008; CANDAN et al., 2010). Sandberg et al. (2013) ressaltaram que tratamentos realizados em ambiente úmido são usados para melhorar as propriedades da madeira, dissipar as tensões internas e para plasticizá-la, enquanto os termohigromecânicos onde adota-se pressão são voltados para moldagem da madeira, soldagem por fricção e melhoria da qualidade da densificação.

Costa (2015) destacou que é indispensável em tratamentos de densificação, aplicados tanto em madeira sólida como em lâminas, que sejam realizados de modo a causar o menor número de fraturas na parede celular, não afetando assim as suas propriedades físicas. Por essa razão, é comum a ocorrência de tratamentos termomecânicos onde a condução de calor é realizada em meio aquoso, garantindo o amolecimento dos polímeros viscoelásticos da madeira.

Entre produtos de densificação utilizando diferentes processos há o *staypak*, que segundo Skyba (2008) é um processo realizado ao se colocar amostras úmidas de madeira (teor de umidade de 15%) em pratos aquecidos a temperatura máxima de 140°C de uma prensa hidráulica e comprimidas a pressão constante de aproximadamente 24MPa durante 2 horas, em sistema aberto, ou seja, não há controle de umidade. De acordo com o autor, este tratamento melhoraria as propriedades físicas e mecânicas da madeira, porém os resultados obtidos demonstraram instabilidade do material, onde o

formato original é recuperado totalmente ou parcialmente quando em contato com a umidade, sendo esta tendência um limitador do uso de produtos densificados.

O processo para a fabricação do VTC - *Viscoelastic Thermal Compression* ou compressão térmica viscoelástica, segundo Kamke (2006), densifica a madeira usando calor, vapor e compressão mecânica, aumentando a sua força e rigidez, sendo um processo que pode ser aplicado a qualquer espécie de madeira. O VTC destaca-se por ser capaz de alcançar a compressão desejada sem destruir sua estrutura micro-celular, mantendo assim a total integridade estrutural das paredes celulares, embaladas em um volume menor. Na Figura 4, é possível observar os espaços remanescentes que são vasos parcialmente colapsados, percebendo-se que as paredes celulares não estão fraturadas, apenas diminuíram de volume.

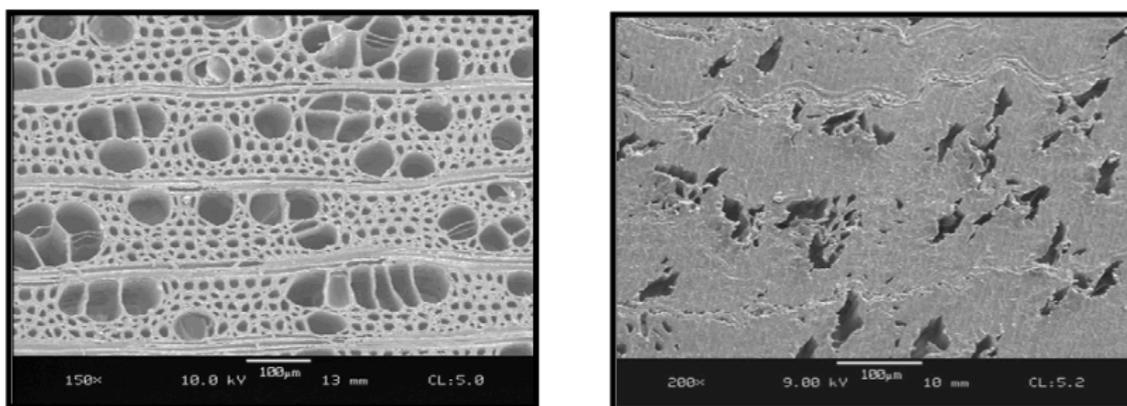


Figura 4: Madeira de Tulipeiro (Yellow poplar) não tratado e a mesma espécie após o processo VTC. Fonte: Kamke (2006)

Como dito anteriormente, é comum a ocorrência de tratamentos termomecânicos que utilizam umidade para que haja um amolecimento dos polímeros viscoelásticos da madeira, e assim diminuir o número de fraturas durante o processo de compressão. Assim, Arruda (2012) citando Morsing (2000) definiu que a técnica de densificação da madeira requer quatro passos básicos: i) plasticização ou amolecimento da parede celular; ii) compressão da madeira no estado amolecido; iii) definição da deformação por resfriamento e secagem; iv) fixação do estado deformado.

O principal efeito negativo da compressão é o efeito *springback*, que é a tendência que o material tem de voltar a sua espessura inicial depois da liberação das tensões. É causado pelo armazenamento de energia de deformação elástica durante a compressão de microfibrilas semi-cristalinas de hemiceluloses (HEGER et al., 2004). O pré-tratamento realizado por Hsu et al. (1989) utilizando vapor demonstrou aumentar a

compressibilidade da madeira e reduziu as tensões de compressão durante a prensagem a quente. Morsing (2000) citado por Arruda (2012) explicou que em casos onde o vapor é utilizado, ocorre a quebra de ligações químicas que permitem o rearranjo da lignina e assim formações de novas ligações, eliminando o *springback*.

Costa (2012) observou que não houve melhora na estabilidade dimensional de painéis compensados de paricá densificados e que a temperatura foi o fator de maior importância para as alterações nas propriedades físicas e mecânicas dos compensados, enquanto Santos (2000) observou que o tratamento térmico foi uma das formas mais eficientes de aumentar a estabilidade dimensional de madeira de eucalipto.

Reynolds (2004) concluiu que um inchamento de 15% só pode ser alcançado se o processo de densificação for feito a 200°C e 100% de umidade. Unsal et al. (2009), ao trabalharem com madeira de pinus, observaram que quanto maior a pressão utilizada no tratamento térmico, maiores foram os valores de absorção de água de inchamento e também afirmaram que o fenômeno de *springback* está mais relacionado ao nível de pressão que a temperatura, estando mais relacionada com a deformação permanente do material.

Os polímeros amorfos da madeira, hemicelulose e lignina, em temperatura ambiente tem comportamento vítreo, sendo duros e frágeis, mas quando há aumento da temperatura ficam maleáveis, caracterizando grandes deformações plásticas (KUTNAR e SERNEK, 2007). Essa característica viscoelástica da madeira, segundo Kutnar e Kamke (2010), é importante para a compressão e densificação. A temperatura de transição vítrea (Tg) é caracterizada pela transição entre o comportamento da madeira de resistente e quebradiço, quando em baixas temperaturas e umidade, para o de maleável e flexível, quando em altas temperaturas e umidade (HORVATH et al., 2011). Temperaturas acima da Tg permitem que a estrutura amorfa da madeira se rearranje sem que aja fratura na parede celular, além disso, as modificações que ocorrem em temperaturas acima da Tg da lignina (Tg dominante) modifica as propriedades de absorção do material (KUTNAR e KAMKE, 2010).

### **3.5. Efeito da compressão nas propriedades da madeira**

De acordo com Kultikova (1999), o fator de maior importância para o aumento das propriedades físicas e mecânicas da madeira é a obtenção da compressão sem que haja o colapso da parede celular do material densificado. Assim como já observado, o efeito do calor sobre os polímeros viscoelásticos é de grande relevância para processos

de compressão da madeira visto que este é capaz de fazer com que a deformação da parede celular ocorra sem fraturas, permitindo o achatamento de vasos e curvamento de raios, reduzindo os espaços vazios entre as células e do lúmen celular da madeira (KUTNAR; KAMKE; SERNEK, 2009). Durante essa compressão, Kultikova (1999) ressaltou que a estrutura celular é modificada permanentemente, resultando um novo material com novas propriedades, sendo que um dos fatores que mais influenciam as propriedades mecânicas e físicas desse novo material é a quantidade e tipo de células colapsadas.

A compressão da madeira juntamente com o calor torna a superfície do material mais liso (reduz sua rugosidade); portanto, as modificações resultantes do processo de densificação podem ser vistas na superfície da madeira. Em estudos realizados por Candan, Hiziroglu e McDonald (2010) e Bekhta, Niemz e Sedliacik (2012) com lâminas tratadas termomecanicamente, observou-se que a rugosidade destas foi reduzida em função principalmente da temperatura e da pressão. Os autores usaram temperaturas de aquecimento entre 100°C e 210°C e pressões entre 1,0 e 9,0 N/mm<sup>2</sup>. Nos dois estudos observou-se uma redução da rugosidade à medida que aumentou a temperatura e a pressão.

A madeira comprimida mantém sua forma após a prensagem, mesmo com essa energia armazenada, devido à união das microfibrilas deformadas com a lignina e a celulose, ligadas por fortes ligações covalentes e pontes de hidrogênio das hemiceluloses.

Arruda (2012) mostrou que uma peça comprimida em espessura quando colocada na água vai inchar em função da liberação das tensões de compressão e também em função da higroscopia da madeira, compondo o inchamento em espessura total. O inchamento higroscópico, no entanto, é reversível e quando a madeira perde água a espessura do material tende a retornar à espessura inicial. Porém, o inchamento resultante das tensões de compressão é irreversível e modifica permanentemente a forma da madeira (Figura 5). Esse inchamento também é chamado de taxa de não retorno em espessura (TNRE), e representa uma importante medida da estabilidade dimensional.

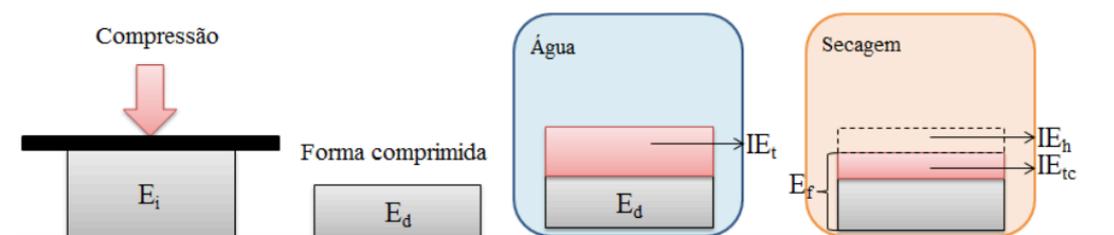


Figura 5: Esquema do inchamento em espessura de madeiras comprimidas, onde  $E_i$ ,  $E_d$  e  $E_f$  representam as espessuras inicial, depois da compressão e final, respectivamente e  $IE_t$ ,  $IE_h$  e  $IE_{tc}$  representam os inchamentos em espessura total, higroscópico e de tensão de compressão. Fonte: Arruda (2012).

Costa (2015) avaliou a TNRE de compensados de paricá tratados termomecanicamente e constatou que essa taxa foi significativamente maior para os compensados tratados quando comparados com a testemunha, em média de 2,41% enquanto os tratados apresentaram valores de 8,84% e 10,58%. Porém os valores de TNRE foram relativamente baixos em comparação à taxa de compressão, que foi acima de 30% em média.

A qualidade do adesivo em painéis é relevante devido a liberações de tensões que ocorrem em materiais densificados, isto porque esta liberação pode afetar a qualidade da colagem. Para materiais que possuem alta TNRE o inchamento e expansão em espessura tem uma correlação diretamente proporcional (MOHEBBY et al., 2009). Neste contexto, alguns autores propuseram pós-tratamentos para aliviar as tensões de compressão que se formam durante o processo de prensagem, baseando-se em maneiras de liberar essas tensões de maneira lenta a fim de preservar o material sem que haja perda em sua estabilidade final (DEL MENEZZI, 2004; SUCHSLAND e XU, 1991; HSU et al. 1989).

Inoue et al. (1993) mostraram que para a fixação permanente da forma comprimida a utilização de vapor é indispensável, acrescentando ainda que o efeito da vaporização é mais eficiente quando a madeira é comprimida. Nessa condição, os autores afirmaram que quase não houve retorno em espessura após a compressão. Provavelmente a fixação da estrutura da madeira comprimida por vaporização é uma consequência do amolecimento da matriz termoplástica na qual as microfibrilas de celulose cristalina estão incorporadas. Dentro da matriz amolecida, as microfibrilas se reacomodam (HEGER et al., 2004). Esse estudo também indica claramente que a temperatura e a pressão de vapor têm efeito predominante sobre a fixação da forma da madeira comprimida.

Segundo Kamke e Sizemore (2008), o vapor no pós-tratamento desempenha dois papéis importantes: por um lado contribui para a hidrólise dos componentes da madeira e, por outro lado aumenta a cinética de reação e relaxamento da energia elástica. Este relaxamento das tensões de compressão ocorre devido ao rearranjo dos polímeros, causado pelo calor. Assim, para o aumento da estabilidade dimensional da madeira comprimida o pós-tratamento é considerado um fator importante.

Portanto o objetivo deste trabalho foi verificar se é possível melhorar propriedades físicas e mecânicas de painéis compensados de paricá, principalmente a estabilidade dimensional, através de dois métodos que focam em pós tratamentos para aliviar tensões de compressão acumulados durante o processo de termo-densificação.

#### 4. Materiais e métodos

Para este trabalho foram utilizadas 28 amostras obtidas de painéis comerciais de compensado de paricá com dimensões de 02x18x40 cm colados com resina ureia-formaldeído, todos com o seu maior comprimento cortado na direção perpendicular às fibras.

##### 4.1. Tratamento termomecânico

Os painéis foram densificados seguindo dois métodos distintos, detalhados a seguir. Os tratamentos foram realizados no Laboratório de Produtos Florestais do Serviço Florestal Brasileiro, utilizando a prensa hidráulica INDUMEC nos dois métodos e também a prensa WABASHI no segundo método. Considerou-se os resultados obtidos por Costa (2015) para determinar as combinações de temperatura, tempo e pressão.

Tabela 2: Esquema dos parâmetros adotados para os Método 1 e 2.

	Tratamentos	Temperatura	Pressão	Tempo de pressão (min)	Tempo sob pressão zerada (min)	Tempo sob pressão em prensa fria (min)
<b>Método 1</b>	1	120°C	25%	10	30	-
	2				45	-
<b>Método 2</b>	3	120°C	40%	5	-	45
	4				-	60

### **Método 1: Densificação em duas etapas**

Este método consistiu em termo-densificar os compensados de paricá em duas etapas: na primeira, utilizou-se os parâmetros apresentados na Tabela 2 de temperatura (120°C), pressão (25% da resistência à compressão perpendicular do paricá), tempo sob pressão (10 minutos) e tempo com pressão zerada, apenas em contato com os pratos quentes da prensa (30 ou 45 minutos, dependendo do tratamento). A segunda prensagem ocorreu nove dias após a primeira e essas mesmas peças foram termo-densificadas seguindo os mesmos parâmetros utilizados na primeira densificação. Dentro deste método foram realizados dois tratamentos distintos, onde variou-se apenas o tempo sob pressão zerada que os compensados foram submetidos, 30 e 45 minutos. Assim foram separadas dez chapas de paricá, sendo cinco destinadas para o tratamento 1 e cinco para o tratamento 2.

Devido ao tamanho da área dos pratos da prensa, as cinco amostras de compensado foram divididas em dois grupos, um contendo três painéis e outro dois. Como a fórmula da pressão a ser colocada no manômetro da prensa considera a área total de contato e a resistência a compressão perpendicular da madeira (IBAMA, 2013), foram realizados dois cálculos de pressão, representando 25% da resistência à compressão perpendicular da madeira de paricá. Assim, para o grupo com três painéis foi utilizada a pressão de 3,53 MPa e para o grupo com dois painéis a pressão foi de 2,35 MPa, resultando na mesma pressão aplicada por painel.

As peças foram colocadas na prensa e esta foi fechada, anotando-se os tempos em que ocorreram os ajustes automáticos de pressão para que esta se mantivesse constante. As temperaturas da prensa e do centro do painel (na linha de cola central) foram monitoradas com o auxílio de um TermoPar ICEL, modelo TD-890.



Figura 6: Painéis na prensa hidráulica INDUMEC e TermoPar com fios em contato com a prensa e na linha de cola central.

O tempo sob pressão variou entre 10 e 16 minutos, de acordo com o tempo que os painéis levaram para atingir a temperatura de 120°C na linha de cola central. Então, a pressão era zerada e o material era mantido por mais algum tempo (30 ou 45 minutos, dependendo do tratamento) apenas em contato com os pratos aquecidos, sendo esta uma etapa importante para redução das tensões de compressão geradas pela densificação. Depois que os tempos de cada tratamento foram atingidos, os painéis foram retirados da prensa e esperou-se o resfriamento dos mesmos para levá-los à climatização à  $20 \pm 3^\circ\text{C}$  e umidade relativa de  $65 \pm 5\%$ . Após o período de nove dias, realizou-se a segunda etapa de densificação, adotando as mesmas combinações e procedimentos utilizados na primeira. Por fim, os painéis foram levados à climatização por 44 dias para serem posteriormente medidos. Este método de densificação em duas etapas teve como objetivo liberar suavemente as tensões de compressões acumuladas e observar se haveria melhoras na estabilidade dimensional do material.

### **Método 2: Esfriamento dos painéis densificados à pressão constante e a frio**

Neste método, a densificação ocorreu seguindo os parâmetros de temperatura, tempo e pressão apresentados na Tabela 2, ou seja, a 120° C, sob pressão de 40% da resistência à compressão perpendicular do paricá e por 5 minutos. O resfriamento das amostras logo após saírem da prensa aquecida foi feito sob pressão constante – a mesma usada na prensa aquecida - e em outra prensa, com a fonte de calor desligada. A

variável entre os tratamentos foi o tempo sob pressão em prensa fria – 45 e 60 minutos, totalizando dois tratamentos.

Devido as dimensões reduzidas dos pratos da prensa da marca Wabashi os painéis precisaram ser cortados e ficaram com as dimensões de 2x18x30 cm. As pressões utilizadas foram de 9000 Psi na prensa manual Wabashi e de 1,27 MPa na prensa hidráulica INDUMEC, ambas representando 40% da resistência à compressão perpendicular da madeira de paricá (IBAMA, 2013), resultando em pressão única por painel.

As temperaturas da prensa e do centro do painel (na linha de cola central) foram monitoradas e o tempo sob pressão foi de 5 minutos, após esse tempo a pressão foi aliviada e o painel foi deixado em contato com os pratos quentes da prensa até que a linha de cola central chegasse a temperatura de 120°C, este tempo variou entre 13 e 27 minutos, posteriormente os painéis foram levados à prensa fria com pressão constante pelo tempo de 45 ou 60 minutos. Este estágio teve por objetivo reduzir as tensões de compressão formadas durante a densificação, sendo caracterizado como pós-tratamento que diminui a instabilidade dimensional do material. Quando os tempos dos tratamentos foram atingidos, os painéis foram levados para a climatização e posteriormente medidos.

Deste modo foram realizados quatro tratamentos, dois pelo método 1 e dois pelo método 2, e uma testemunha (que não recebeu nenhum tratamento de densificação), para cada um utilizou-se como amostragem cinco painéis de compensados de paricá.

#### **4.2. Propriedades mecânicas**

A flexão estática foi analisada de acordo com a norma ASTM D 1037 (1999) e ASTM D 5456 com adaptações – o vão utilizado foi de 18 vezes a espessura do material - com obtenção de módulo de elasticidade (MOE) e módulo de ruptura (MOR) na direção perpendicular, destaca-se que o material utilizado já estava cortado e não havia como se obter amostras na paralela para realização dos ensaios. Enquanto que a avaliação da resistência ao cisalhamento na linha de cola ( $f_{gv,0}$ ) foi de acordo com a norma europeia EN 314-1 (2004).

Ressalta-se que o ensaio a flexão estática foi realizado perpendicular as fibras, assim os resultados esperados são relativamente mais baixos que os paralelos as fibras.

Este ensaio caracterizou principalmente a rigidez e a resistência dos compensados e indicou se a densificação resultou em ganhos significativos nessas propriedades.

Para os ensaios de flexão estática utilizou-se 10 corpos de prova para cada tratamento e também para as testemunhas, cada um medindo 40 cm de comprimento e 5 cm de largura para o Método 1 e testemunhas e amostras com 30 cm de comprimento e 5 cm de largura para o Método 2.

Os vãos utilizados foram de: 28 cm para os corpos de prova do Método 1; de 26 cm para o Método 2; e 35 cm para os das testemunhas. A velocidade adotada foi de 1,3mm/min, para que a ruptura ocorresse entre 10 e 30 segundos, como determina a norma ASTM 1037. Os ensaios de flexão foram realizados no Laboratório de Tecnologia da Madeira no Departamento de Engenharia Florestal da UnB, em uma máquina de ensaios universal EMIC com capacidade de carga máxima de 300 kN. A determinação do valor do módulo de elasticidade e módulo de ruptura para a situação de uma carga concentrada (P) no centro do vão (L) e deformação (d), foram obtidos a partir das Equações 1 e 2:

$$MOE = \frac{P_2 \cdot L^3}{4 d_1 b h^3} \quad \text{Equação 1}$$

$$MOR = \frac{3P_m \cdot L}{2bh^2} \quad \text{Equação 2}$$

Onde:

MOE: módulo de elasticidade em MPa;

$P_2$ : carga no limite de proporcionalidade em N;

L: vão entre apoios em mm;

$d_1$ : valor de deformação no limite de proporcionalidade em mm;

b: base do corpo de prova em mm;

h: altura do corpo de prova em mm;

MOR: módulo de ruptura em MPa;

$P_m$ : carga máxima obtida em N.

O ensaio de resistência ao cisalhamento paralelo à linha de cola ( $f_{gv,0}$ ) foi realizado no Laboratório de Produtos Florestais do Serviço Florestal Brasileiro utilizando a máquina universal de ensaios USM-600, utilizando 20 corpos de prova por

tratamento e testemunhas, de 9 cm x 2,5 cm e velocidade de 3 mm/min, para que a ruptura ocorresse entre 20 e 40s como determina a norma EN 314 – 1; sendo o valor determinado a partir da Equação 3. Este ensaio foi realizado com o objetivo de avaliar a influência do tratamento termomecânico na qualidade da colagem do compensado.

$$f_{gv,0} = \frac{P_{m\acute{a}x}}{A} \quad \text{Equação 3}$$

Onde:

$f_{gv,0}$ : cisalhamento paralelo à linha de cola em MPa;

$P_{m\acute{a}x}$ : carga de ruptura em N;

A: área em  $mm^2$ .

### 4.3. Propriedades físicas

Para analisar o comportamento higroscópico e perceber a contribuição dos tratamentos termomecânicos propostos para a estabilização dimensional do compensado a avaliação das propriedades físicas foi realizada através dos ensaios de absorção de água e de inchamento em espessura conforme a norma ASTM D 1037 (1999), estimando-se o teor de umidade de equilíbrio (TUE) utilizando a equação 4. Para a realização deste ensaio foram utilizadas 30 amostras para cada tratamento com as dimensões de 3cm de comprimento por 3cm de largura.

Estas amostras foram submersas em água em temperatura ambiente por um período de 24 horas, onde sua massa e espessura foram mensuradas, com o auxílio de uma balança de precisão e relógio comprador, respectivamente, no período de 2h e 24h. Os valores referentes à absorção e inchamento são obtidos a partir das equações 5 e 6, que são a porcentagem da diferença entre a medição prévia e posterior aos períodos em que as amostras ficaram submersas que serão os resultados utilizados para a análise.

$$TUE = \frac{M_i - M_s}{M_s} \times 100 \quad \text{Equação 4}$$

$$ABS = \frac{M_f - M_i}{M_i} \times 100 \quad \text{Equação 5}$$

$$IE = \frac{E_f - E_i}{E_i} \times 100 \quad \text{Equação 6}$$

Onde:

TUE: teor de umidade de equilíbrio em %;

ABS: absorção de água em %;

$M_i$ : massa inicial, anterior à imersão em água em g;

$M_s$ : massa seca, posterior à secagem em estufa até 0% de umidade em g;

$M_f$ : massa final, posterior à imersão em água em g;

IE: inchamento em espessura em %;

$E_i$ : espessura inicial, anterior à imersão em água em g;

$E_f$ : espessura final, posterior à imersão em água em g.

Também foi avaliada a perda de massa (PM), ocasionada pelo tratamento termomecânico, a partir da relação entre a massa total da amostra antes e depois dos tratamentos (Equação 7). Este valor se refere a degradação dos polímeros da madeira, perda de água e extrativos decorrentes de altas temperaturas e duração dos tratamentos. Se PM for menor que TUE inicial, significa que não houve perda efetiva de massa, ou seja, PM foi relativa apenas à perda de água. A taxa de compressão foi determinada a partir da Equação 8, que representa o grau de densificação do material, relacionando a espessura final com a espessura inicial da amostra; quanto maior a TC, maior é o grau de densificação do material. Essas medidas foram feitas após a climatização das amostras à 12% de umidade e manutenção da massa constante.

$$PM = \frac{M_i - M_f}{M_i} \times 100 \quad \text{Equação 7}$$

$$TC = \frac{E_i - E_f}{E_i} \times 100 \quad \text{Equação 8}$$

Onde:

PM: perda de massa em %;

TC: taxa de compressão em %;

$M_i$  e  $M_f$ : massa inicial e final em g;

$E_i$  e  $E_f$ : espessura inicial e espessura final em mm.

Após os ensaios de inchamento e absorção, os corpos-de-prova foram secos em estufa a  $105 \pm 2^\circ\text{C}$  até alcançarem massa constante e então foi medida a taxa de não-retorno em espessura (TNRE), calculada de acordo com a Equação 9 e representa o inchamento causado pela liberação das tensões de compressão durante a densificação. O TUE foi obtido através destes mesmos corpos de prova, de acordo com a ASTM D 4442 (2007).

$$TNRE = \frac{E_f - E_i}{E_i} \times 100 \quad \text{Equação 9}$$

Onde:

*TNRE*: Taxa de não retorno em espessura em %;

$E_i$ : Espessura inicial, anterior aos ensaios de inchamento em mm;

$E_f$ : Espessura final, posterior à climatização dos corpos-de-prova à 12% de umidade em mm.

#### **4.4. Análise estatística**

Foi realizada a correlação linear simples entre todas as propriedades avaliadas dos painéis e suas massas específicas a 12% de umidade, e obtidos os coeficientes de correlação linear. As análises estatísticas foram feitas com auxílio do programa Assistat versão 7. A análise de variância foi realizada e quando constatada a variação significativa pelo teste F, as médias dos tratamentos foram comparadas com o teste de Turkey a 95% de probabilidade.

## **5. Resultados e discussão**

### **5.1. Propriedades físicas**

A Tabela 3 apresenta os valores médios da massa específica aparente (MEA) à 12% de umidade e taxa de compressão (TC) dos compensados de paricá. A massa específica encontrada nos compensados não tratados foi de  $0,40 \text{ g/cm}^3$ , próxima a encontrada por Costa (2015) de  $0,42 \text{ g/cm}^3$ ; porém, foi superior aos valores encontrados por Almeida et al. (2013) ao trabalharem com madeira sólida de paricá -  $0,37 \text{ g/cm}^3$ . Segundo Kollmann et al. (1975) citados por Costa (2015) a razão que explica a massa específica de um painel multilaminado ser maior que a da madeira sólida é a densificação de um painel de lâminas depender do tipo e qualidade da madeira que o

constitui, a quantidade de cerne e alburno presentes nas lâminas, quantidade de adesivo, assim como o teor de umidade e parâmetros de prensagem utilizado na sua manufatura.

Tabela 3: Valores médios de massa específica aparente (MEA) à 12% de umidade e taxa de compressão (TC) das testemunhas e das amostras dos métodos 1 e 2.

Método	Tratamento	MEA ( $g/cm^3$ )	TC (%)
–	Testemunha	0,40 b (4,15)	–
Método 1	T1 (120°C, 10', 30')	0,48 a (3,69)	19,14 b (16,42)
	T2 (120°C, 10', 45')	0,50 a (8,52)	21,06 b (9,09)
Método 2	T3 (120°C, 5', 45')	0,52 a (6,13)	24,25 a (9,41)
	T4 (120°C, 5', 60')	0,53 a (2,1)	27,80 a (9,7)
Médias	Método 1	0,49	20,10
	Método 2	0,52	26,03

Valores entre parênteses são referentes ao coeficiente de variação (%). Valores assinalados com letras diferentes para as médias, dentro da mesma coluna, diferem entre si ao nível de 5% de significância pelo teste de Turkey.

Os tratamentos térmicos alteraram estatisticamente a massa específica dos painéis de paricá, havendo uma variação significativa de MEA após cada tratamento, ficando em média 22% maior para os tratamentos do Método 1 e de 31% para o Método 2 em relação à testemunha. Este aumento ocorreu devido a redução da espessura dos painéis e resultando na diminuição de seu volume, conseqüentemente aumentado sua massa específica. A taxa de compressão (TC) é uma variável que permite quantificar a densificação do material e é possível observar que houve uma variação média significativa para o Método 1 e 2, sendo de 20,10% e 26,03%, respectivamente. Müller (2009) destaca que parte dessa redução em espessura pode ter origem na fratura de paredes celulares mais frágeis, sendo de efeito localizado e irreversível, enquanto a outra parte é definida pela compressão da estrutura celular como um todo, gerando tensões de compressão que quando liberadas tendem a fazer o material se expandir em espessura (*springback*).

Inoue et al (1993) citam correlação direta entre massa específica e a taxa de compressão, onde à taxa de compressão de 30% obtiveram um aumento de massa específica de 0,36  $g/cm^3$  para 0,50  $g/cm^3$  e com o aumento dessa taxa para 60%, a massa específica aumentou para 0,90  $g/cm^3$ . Como esperado, os tratamentos com as maiores

taxas de compressão, T3 e T4, foram também aqueles que obtiveram as maiores médias de ME.

### 5.1.1. Estabilidade dimensional

Houve diferença estatística para as propriedades físicas dos compensados de paricá, tratados e não-tratados, observando os valores obtidos para os ensaios de inchamento e absorção de 2h e 24h. Os resultados de TNRE foram mais altos para os tratamentos tratados do que aqueles obtidos para as testemunhas (Tabela 4), indicando que a densificação aumentou a instabilidade dimensional das amostras tratadas. O que indica redução da resistência à água do material tratado. Isto pode ter ocorrido porque a temperatura de 120°C pode não ter sido suficiente para que o material chegasse a atingir a transição vítrea (T<sub>g</sub>) dos polímeros (lignina, celulose e hemicelulose) da madeira, sendo esta etapa fundamental para que ocorram ligações irreversíveis entre esses.

Tabela 4: Propriedades de estabilidade dimensional dos compensados de paricá.

Método	Tratamento	Propriedades (%)						
		IE2h	IE24h	ABS2h	ABS24h	TUE	PM	TNRE
-	Testemunha	3,11 d	3,23 d	42,39 d	69,28 d	13,09 a	—	1,40 d
		(70,4)	(30,7)	(7,4)	(4,9)	(2,2)		(66,7)
Método 1	T1	19,57 c	21,95 c	56,01 c	84,69 bc	11,11 d	1,96 b	20,87 c
		(17,1)	(17,6)	(8,9)	(6,6)	(3,3)	(9,8)	(20,4)
Método 2	T2	20,26 c	22,98 c	53,62 c	81,57 c	10,92 d	2,57 a	21,88 c
		(7,4)	(9,6)	(13,0)	(8,5)	(3,7)	(16,4)	(10,6)
Método 2	T3	25,19 b	28,44 b	66,34 b	88,85 b	11,39 c	2,22 ab	27,50 b
		(18,8)	(10,9)	(9,5)	(8,1)	(8,6)	(11,5)	(11,0)
Método 2	T4	30,82 a	33,24 a	71,91 a	94,86 a	11,83 b	1,96 ab	31,62 a
		(15,8)	(15,8)	(8,4)	(7,4)	(4,7)	(24,8)	(14,4)

Em que: IE2h: Inchamento após 2h; IE24h: Inchamento após 24h; ABS2h: absorção de água após 2h; ABS24h: absorção de água após 24h; TUE: teor de umidade em equilíbrio; PM: perda de massa; TNRE: taxa de não retorno em espessura. Valores entre parênteses são referentes ao coeficiente de variação (%). Valores assinalados com letras diferentes para as médias, dentro da mesma coluna, diferem entre si ao nível de 5% de significância pelo teste de Turkey.

O TUE foi reduzido após os tratamentos assim como nos resultados obtidos por Costa (2015) e Del Menezzi (2004) e segundo este autor, esta propriedade se relaciona ao montante de moléculas de água adsorvidas nos sítios dos grupos hidroxilas da parede celular, e deste modo, o tratamento térmico foi capaz de reduzir estes sítios de

modo a reduzir a TUE em aproximadamente 15,85% para o Método 1 e em 11,31% para o Método 2.

Os painéis que passaram pelos tratamentos térmicos tiveram perda de massa (PM) de aproximadamente 2,26% para o Método 1 e 2,09% para o Método 2, valores inferiores aos obtidos por Arruda (2011), que encontrou perdas de massa entre 7,64% e 9,36% ao tratar lâminas de paricá à 150°C por tempo de 5 a 15 minutos. Dos Anjos (2014) encontrou perdas de massa de 10,20%, 9,07% e 10,45% para pau-roxo, maçaramduba e cupiúba respectivamente, ao tratá-los a 180°C por 1 hora e 30 minutos. Segundo Costa (2015) a perda de massa em compensado de paricá foi de 6,63% e de 9,99% para os tratamentos utilizando temperaturas de 120° e 150°C, respectivamente.

A perda de massa da madeira possui relação direta com a temperatura. Assim, os autores citados encontraram maiores perdas de massa para os tratamentos onde maiores temperaturas foram aplicadas. Isto ocorre devido a degradação dos constituintes químicos da madeira, principalmente as hemiceluloses que são compostos menos estáveis termomecanicamente em virtude da sua estrutura amorfa (CONTE, et al. 2014). Como neste trabalho a temperatura utilizada em todos os tratamentos foi a mesma - 120°C -, a diferença entre os tratamentos não foi alta e como é possível observar, nenhuma perda de massa foi superior ao TUE antes dos tratamentos, indicando que não houve calor suficiente para degradar algum dos componentes químico da madeira.

Os valores de TNRE dos compensados tratados de paricá foram significativamente maiores que a testemunha, como apresentado na Tabela 4. Assim como os resultados obtidos por Costa e Del Menezzi (2014), as amostras tratadas incharam e absorveram mais água que as testemunhas, levando a uma maior TNRE, indicando que os tratamentos térmicos propostos no estudo não liberaram as tensões internas de compressão geradas durante a prensagem do painel.

A TNRE expressa o inchamento definitivo do painel oriundo da liberação de tensões internas de compressão, e essas tensões são liberadas em função da natureza dos polímeros que compõem a madeira. Estes polímeros são viscoelásticos e apresentam características que variam de fluídos viscosos a sólidos linearmente elásticos (vítreos) dependendo da temperatura em que se encontra, sendo a temperatura divisora entre os estados a temperatura viscoelástica (Tg) (DEL MENEZZI, 2004). Em materiais colados, a liberação das tensões de compressão ocasiona a perda de eficiência de colagem e nesse sentido a qualidade do adesivo é importante para manter o painel colado e limitar a liberação de tensões (MOHEBBY et al., 2009). Como supõe-se que os tratamentos

não atingiram a Tg dos compensados de paricá, não houve parte da liberação das tensões de compressão acumuladas durante o processo de densificação, resultando em maiores valores de TNRE.

Valores elevados de TNRE, segundo Del Menezzi (2004), implicam que houve a redução da massa específica do painel, já que a espessura do material após o ensaio de inchamento e sua posterior secagem, é aumentada. Isto ocorre porque a massa dos painéis não é afetada durante o ensaio, porém seu volume aumenta, consequentemente reduzindo sua massa específica. Os valores médios da massa específica após a imersão em água reduziram para 0,38 g/cm<sup>3</sup> no Método 1 e para 0,39 g/cm<sup>3</sup> no Método 2, representando uma redução de 19,13% e 23,96% respectivamente. Costa (2015) destacou que esta diminuição acarreta em uma possível redução das propriedades de resistência, comprometendo o comportamento estrutural do painel, assim como a qualidade de colagem.

## 5.2. Propriedades mecânicas

Embora as propriedades mecânicas apresentaram uma melhora após os tratamentos aplicados, apenas o MOE apresentou um aumento significativo em relação às testemunhas (Tabela 5).

Tabela 5: Valores das propriedades mecânicas dos compensados de paricá termo-densificados.

Método	Tratamento	Propriedades Mecânicas			
		MOR (MPa)	MOE (MPa)	$f_{gv,0}$ (Mpa)	Falha (%)
-	Testemunha	24,42 a	2971,24 b	2,07 a	66,89 a
		(21,6)	(22,1)	(38,0)	(38,3)
		30,73 a	3550,74 ab	1,86 a	72,60 a
		(23,2)	(16,6)	(29,3)	(30,5)
Método 1	T1	30,24 a	3772,85 a	2,03 a	77,11 a
	T2	(17,6)	(12,9)	(34,1)	(22,7)
Método 2	T3	29,63 a	3348,59 ab	1,86 a	82,10 a
	T4	(27,8)	(18,8)	(26,4)	(20,8)
		30,21 a	3515,81 ab	1,70 a	78,53 a
		(15,2)	(8,6)	(26,9)	(24,3)

Em que: MOR: Módulo de ruptura; MOE: Módulo de elasticidade;  $f_{gv,0}$ : cisalhamento na linha de cola; Falha: porcentagem da falha na madeira em relação à linha de cola. Valores entre parênteses são referentes ao coeficiente de variação (%). Valores assinalados com letras diferentes para as médias, dentro da mesma coluna, diferem entre si ao nível de 5% de significância pelo teste de Turkey.

Os resultados obtidos para o MOR dos painéis submetidos aos tratamentos foram positivos, visto que houve um aumento médio na resistência do material de 23,24% para o Método 1 e 15,51% para o Método 2, ainda que estatisticamente iguais às testemunhas. O MOE, após o tratamento 2 apresentou valores mais elevados, sendo quase 27% maiores que os das testemunhas.

Os valores obtidos de MOR e MOE foram menores que aqueles relatados por Costa (2015) ao utilizar compensados de paricá que possuíam a primeira lâmina paralela a grã e obteve um valor médio de 53,87 MPa em seu tratamento mais severo (150°C e 12'). Del Menezzi (2004) relatou resultados relativamente superiores para MOE obtido de amostras de painel OSB testadas em flexão estática perpendicular às fibras e relatou que a degradação da madeira é altamente influenciada pelo tempo, temperatura, pressão, umidade e forma do tratamento.

O presente trabalho investigou métodos de densificação de compensado, com enfoque no tempo maior de pós-tratamento para verificar se a liberação das tensões de compressão ocorre de forma adequada. Os tratamentos aplicados basearam-se em temperatura e pressão amenas para que não houvesse a degradação dos componentes químicos da madeira e assim não afetassem negativamente as propriedades mecânicas (FIGUEIROA e MORAIS, 2009). Assim, supõe-se que as alterações químicas nos constituintes da madeira foram relativamente baixas, visto que as propriedades mecânicas – MOR e MOE – não obtiveram valores inferiores aos da testemunha.

Os valores de falha na madeira apresentados na tabela 5 foram gerados através da avaliação visual de cada amostra ao fim do teste de tração, observando-se na área da ruptura do corpo de prova a proporção de linha de cola exposta em relação a ruptura ou falha na madeira e segundo a norma EN 314-1 os resultados obtidos para todos os tratamentos e testemunha são admissíveis. Na resistência ao cisalhamento na linha de cola os compensados tratados não apresentaram nenhuma diferença significativa em relação a testemunha, ficando abaixo do valor médio apresentado pela mesma (2,07 MPa). Os valores obtidos por Iwakiri et al. (2002) foram parecidos aos obtidos no presente estudo, variando de 1,71 a 2,22 MPa de resistência ao cisalhamento para compensados confeccionados com *Pinus taeda* e colados com uréia-formaldeído. Melo (2012) ao trabalhar com lâminas de paricá previamente densificadas obteve resultados superiores ao desse trabalho, com valores entre 5,30 e 5,59 MPa. Acredita-se assim que seja mais efetivo densificar as lâminas antes de montar os painéis, evitando que se aplique calor sobre uma resina já polimerizada.

### 5.3. Correlações entre as propriedades físicas e mecânicas dos painéis

Na tabela 6 estão apresentadas as correlações lineares simples de Pearson entre as propriedades físicas e mecânicas obtidas dos painéis de paricá. Estas correlações foram realizadas para se melhor determinar as variáveis que exerciam maior influência sobre as propriedades dos painéis de compensados de paricá. Foi observado que MEA tem influência significativa sobre quase todas as propriedades, com exceção da resistência ao cisalhamento na linha de cola, como também obteve correlações mais altas com os ensaios de IE2h e IE24h. A correlação entre MOR e MOE foi significativa pelo teste F.

Tabela 6: Coeficiente de correlação linear de Pearson entre propriedades físicas e mecânicas dos painéis de compensados.

	MEA	TC	IE2h	IE24h	TNRE	ABS2h	ABS24h	MOE	MOR	$f_{gv,0}$
MEA	1									
TC	0,90*	1								
IE2h	0,85*	0,97*	1							
IE24h	0,86*	0,98*	0,99*	1						
TNRE	0,69*	0,84*	0,85*	0,87*	1					
ABS2h	0,67*	0,84*	0,92*	0,91*	0,83*	1				
ABS24h	0,59*	0,83*	0,90*	0,89*	0,83*	0,97*	1			
MOE	0,60*	0,40	0,27	0,29	0,26	0,04	0,01	1		
MOR	0,59*	0,39	0,30	0,32	0,23	0,10	0,02	0,85*	1	
Fgv0	-0,09	-0,25	-0,27	-0,28	-0,35	-0,28	-0,30	0,11	0,01	1

Em que: MEA: Massa específica aparente à 12% de umidade; TC: Taxa de compressão; IE2h: Inchamento após 2h; IE24h: Inchamento após 24h; TNRE: taxa de não retorno em espessura; ABS2h: absorção de água após 2h; ABS24h: absorção de água após 24h; MOE: Módulo de elasticidade; MOR: Módulo de ruptura;  $f_{gv,0}$ : cisalhamento na linha de cola. Valores assinalados com (\*) ao nível de 5% de significância pelo teste de F.

Observou-se baixos coeficientes de correlação linear entre MEA e MOE/MOR, indicando que a MEA não foi um indicador muito preciso do MOE e MOR, assemelhando-se a resultados obtidos por Palma (1999) ao trabalhar com compensados de pinus e realizar testes paralelos e perpendiculares a grã. De uma maneira geral, apesar da dispersão dos valores notou-se que um aumento na massa específica do compensado implicou em um aumento do MOE e MOR, sendo este valor significativo.

Os modelos de regressão que relacionam MOR e MOE (Figura 6) foram significativos pelo teste F ( $p < 0,05$ ).

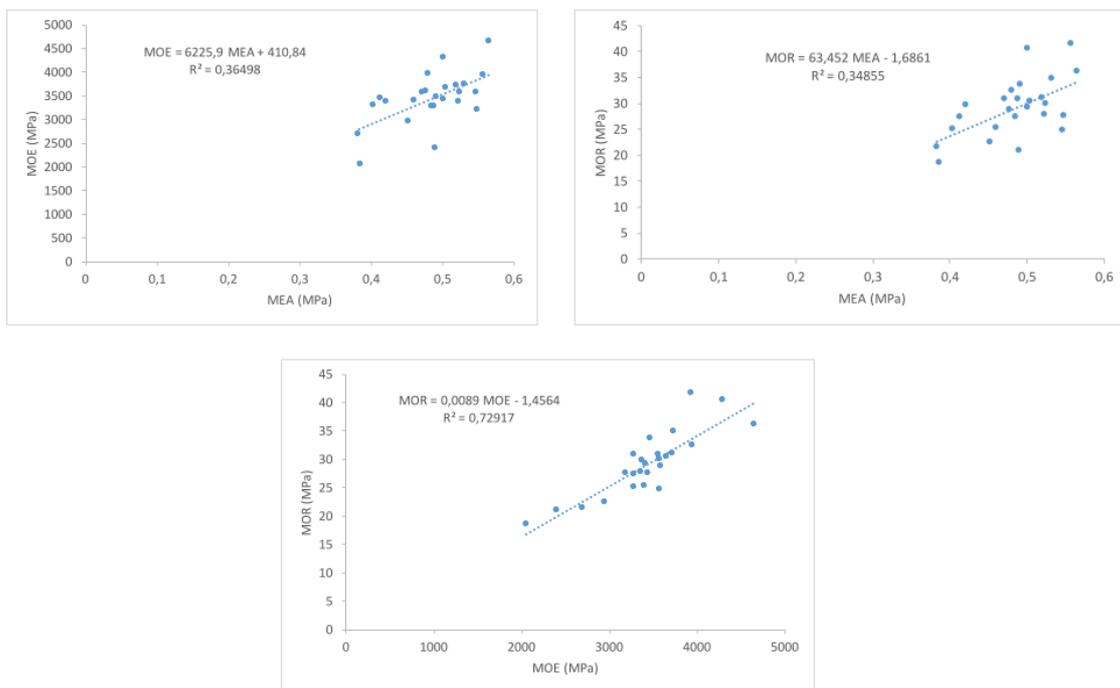


Figura 7: Relações lineares e coeficientes de determinação ( $R^2$ ) encontrados para o módulo de elasticidade (MOE), de ruptura (MOR) e massa específica aparente à 12% de umidade (MEA) para os painéis paricá.

Também foi obtido uma alta e positiva correlação entre MOR e MOE, de 0,85, que se assemelha aos resultados encontrados por outros autores como Palma (1999), que encontrou uma correlação de 0,85 para painéis de compensado, Belini e Tomazello Filho (2010) que para painéis de MDF encontraram correlação de 0,81 e Protássio et al. (2012) que obtiveram 0,90 de correlação para painéis de aglomerados de três espécies de *Eucalyptus*. IWAKIRI et al. (2008) também observaram elevadas correlações para MOE e MOR em flexão estática de painéis produzidos com madeira de *Pinus* spp. e resina a base de uréia-formaldeído.

Esperou-se uma alta correlação entre propriedades de flexão estática com ME como observado por outros autores (PROTASSIO et al., 2012; MELO e DEL MENEZZI, 2010; MELO et al., 2013); porque com a diminuição do volume da madeira, há menos espaços livres e conseqüentemente o aumento da resistência mecânica do material (DEL MENEZZI, 2004).

Foram encontradas correlações positivas entre IE2h, IE24h e a MEA (Figura 8) e os modelos de regressão entre estas variáveis foram significativos pelo teste F ( $p < 0,05$ ). Protássio et al (2012) encontraram correlação positiva entre a massa

específica dos painéis de *Eucalyptus saligna* com o inchamento em espessura, assemelhando-se ao obtido no presente trabalho. Dacosta (2005), trabalhando com painéis de partículas aglomeradas de pinus e Melo e Del Menezzi (2010), trabalhando com painéis aglomerados encontraram essa mesma correlação.

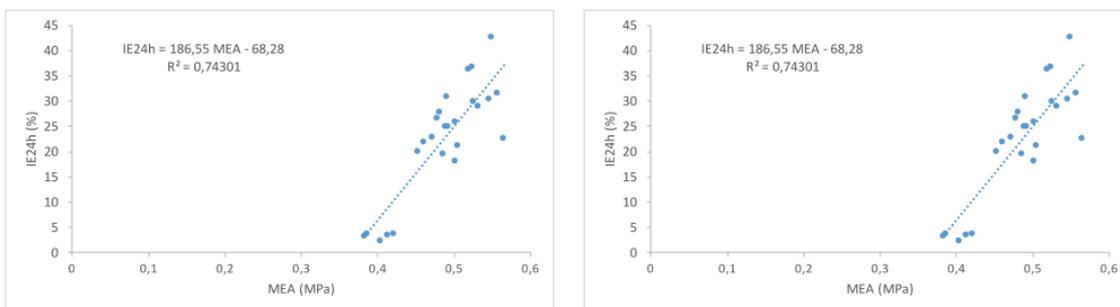


Figura 8: Relações lineares encontradas entre a massa específica aparente e o inchamento e espessura de 2 horas e 24 horas dos painéis de paricá.

O aumento do IE 2h e IE 24h, com o aumento da massa específica pode ser explicado, em parte, pela liberação das tensões geradas durante a prensagem (*springback*), que é acelerada pela absorção de água (Dacosta et al., 2005 apud Suchsland, 1973). Este efeito ainda pode ser percebido pela correlação entre estas propriedades e a taxa de compressão (TC) (Figura 8).

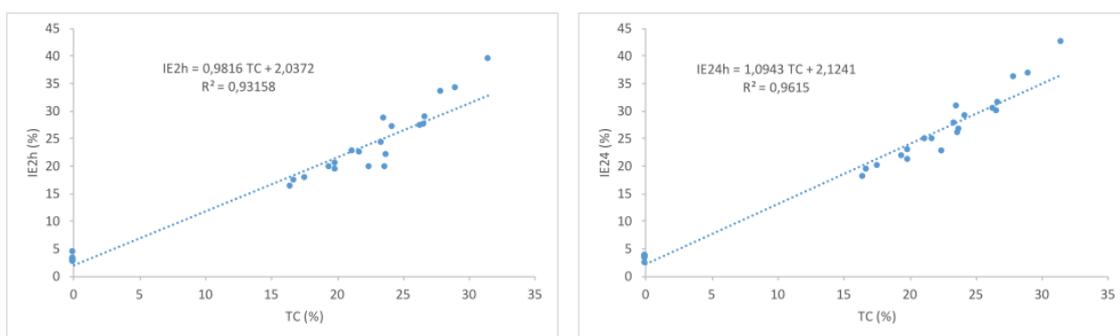


Figura 9: Relações lineares encontradas entre a massa específica aparente e a taxa de compressão (TC) dos painéis de paricá.

Acredita-se também que umas das razões para os altos valores de inchamento e absorção obtidos no estudo é a matéria-prima utilizada, que se trata de uma madeira muito porosa (MELO et al., 2013). Protássio et al. (2012) afirmam em seu estudo com painéis aglomerados confeccionados com três espécies de eucaliptos, que a espécie

influenciou nas relações estabelecidas entre as propriedades dos painéis. Costa (2015) relata o mesmo em seu trabalho ao utilizar diferentes temperaturas - 120°C e 150°C - ao tratar compensados e LVL's produzidos com paricá. Sobre isso, Maciel (2001) observou que chapas elaboradas com madeira de pinus são menos sensíveis ao inchamento em espessura do que aquelas produzidas com madeira de eucalipto. Iwakiri et al. (1996), estudando a mistura de espécies de *Eucalyptus dunnii* e *Pinus elliottii*, observaram que, com o aumento da proporção de pinus no painel, se elevavam os valores médios de absorção de água e inchamento em espessura. O mesmo fato foi observado por Dacosta et al. (2005) ao trabalhar com chapas de partículas aglomeradas fabricadas com resíduos de *Pinus elliotti*.

## **6. Conclusões**

- Os métodos de densificação propostos causaram efeito positivo no MOR e MOE da madeira, aumentando a resistência dos painéis termo-densificados de paricá, principalmente para o tratamento 2;
- Os dois métodos propostos não obtiveram êxito em melhorar a estabilidade dimensional dos compensados de paricá.

## **7. Recomendações**

- Para os próximos trabalhos recomenda-se aplicar uma temperatura mais elevada para que se atinja a Tg e assim ocorra as modificações químicas permanentes na madeira.

## 8. Referências bibliográficas

ALMEIDA, D. H. et al. Madeira laminada colada (MLC) da espécie Paricá. **Madeira: Arquitetura e Engenharia**, v.12, n.30, p.71-82, 2011.

AMATA. **Revisão sobre o paricá: *Schizolobium amazonicum* Huber ex Ducke**. São Paulo: AMATA, 2009. 106p.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **Standard test methods of evaluating properties of wood-based fiber and particle panel materials**. ASTM D 1037 Annual book of ASTM standards, v. 15.03. ASTM, West Conshohocken, PA. 1999.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **Standard test methods for direct moisture content measurement of wood and wood-base materials**. ASTM D 4442 Annual Book of ASTM Standards, v. 04.09. ASTM, West Conshohocken, PA. 2001.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM D 5456. **Standard specification for evaluation of structural composite lumber products**. Philadelphia, 2001. 14p.

ARRUDA, L. M. et al. Estudo preliminar das propriedades de compensados produzidos com lâminas de paricá (*Schizolobium amazonicum* Huber ex Ducke) modificadas termomecânicamente. **Ciência da Madeira**, v. 02, n. 01, p. 29–42, 2011.

ARRUDA, L. M. **Modificação termomecânica da madeira de amescla (*Trattinnickia burseraefolia* (Mart.) Willd.): efeito sobre as propriedades de lâminas e compensados**. Dissertação (Mestrado). Universidade de Brasília, 2012.

ARRUDA, L. M.; DEL MENEZZI, C. H. S. **Thermomechanical treatment of tropical wood – Final Report**. Associação Nacional dos Produtores de Piso de Madeira, 2013. 23p.

BALDWIN, R.F. **Plywood Manufacturing Practices**. San Francisco: Miller Freeman, 1995. 326p.

BATISTA, D.C.; TOMASELLI, I.; KLIETZKE, R.J. Efeito do tempo e da temperatura de modificação térmica na redução do inchamento máximo da madeira de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 21, n. 3, p. 533-540, jul.-set, 2011.

BELINI, U., TOMAZELLO FILHO, M. Avaliação tecnológica de painéis MDF de madeira de *Eucalyptus grandis* confeccionados em laboratório e em linha de produção industrial. **Ciência Florestal** 2010; 20(3): 493 -500.

BEKHTA, P.; MARUTZKY, R. Reduction of glue consumption in the plywood production by using previously compressed veneer. **European Journal of Wood and Wood Products**, v.65, n.1, p.87-88, 2007.

BERGLUND, L.; ROWELL, R. M. **Wood Composites, Handbook of Wood Chemistry and Wood Composites**. CRC Press, 2005. p. 290-291.

BORTOLETTO JÚNIOR, G. **Produção de lâminas, compensado e laminated veneer lumber – LVL a partir da madeira de *Pinus merkusii*. 2006**. 97f. Tese (Livro Docência em Ciências Florestais) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba. 2006.

BRITO, J. O. et al. Densidade básica e retratibilidade da madeira de *Eucalyptus grandis* submetida a diferentes temperaturas de termorretrificação. **Revista Cerne**, v. 12, n. 2, p. 182-188, 2006.

BROWN, H.P.; PANSHIN, A.J.; FORSAITH, C.C. Textbook of wood technology. **The physical, mechanical, and chemical properties of the commercial woods of the United States**, v.2. New York: McGraw-Hill, 783p, 1952.

BYRNE, C.E.; NAGLE, D C. Carbonization of wood for advanced materials applications. **Carbon**, v.35, n.2, p.259-266, 1997.

CANDAN, Z.; HIZIROGLU, S.; MCDONALD, A. G. Surface Quality of Thermally Compressed Douglas-fir Veneer. **Materials and Design**, v. 31, n. 7, p. 3574- 3577, 2010.

CARVALHO, P. E. R. **Paricá *Schizolobium amazonicum***, Colombo Paraná, Circular Técnica 142, EMBRAPA Florestas, 2007.

CLOUTIER, A.; FANG, C.; MARIOTTI, N. **Densification of Wood Veneers Under the Effect of Heat, Steam and Pressure**. In: International Convention of Society of Wood Science and Technology, 51. 2008, Concepcion, Chile. Proceedings... Concepcion: Universidad del Bío-Bío, 2008.

CONTE, B.; MISSIO, A. L.; PERTUZZATTI, A.; CADEMARTORI, P. H.; GATTO, D. A. Propriedades físicas e colorimétricas da madeira termorretrificada de *Pinus elliottii* var. *elliottii*. **Revista Ciencia Forestalis**, Piracicaba, v.42, n.104, p.555-563, dez. 2014.

COSTA, M.A.; DEL MENEZZI, C.H.S. **Thermomechanical Modification Effects on Parica (*Schizolobium amazonicum*) Plywood Properties**. In: European Conference on Wood Modification, 7. Anais... Lisboa, Portugal, 2014.

COSTA, M.A. **Efeito de diferentes estratégias de densificação sobre as propriedades de compensados e painéis de lâminas paralelas de paricá (*Schizolobium amazonicum* Huber ex Ducke)**. Tese de Doutorado em Ciências Florestais, Departamento de Engenharia Florestal, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 136p, 2015.

DACOSTA, L. P. et al. Propriedades físicas de chapas de partículas aglomeradas fabricadas com resíduos de processamento mecânico da madeira de *Pinus elliottii* Engelm. **Ciência Florestal** 2005; 15(4): 421- 429.

DEL MENEZZI, C.H.S. **Estabilização dimensional por meio do tratamento térmico e seus efeitos sobre as propriedades de painéis de partículas orientadas (OSB)**. 2004. 226p. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2004.

DOS ANJOS, F.P. **Efeitos da termorreificação nas propriedades físicas de três espécies madeireiras da Amazônia**. 66p. Dissertação (Mestre em ciências florestais). Belém, 2014.

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. **Plywood: bonding quality. Part 1: Test methods**. Brussels, 2004.

ESTEVES, B. M.; DOMINGOS, I. J.; PEREIRA, H. M. Pine Wood Modification by Heat Treatment in Air. **BioResources**, v. 3, n. 1, p. 142-154, 2008.

ESTEVES, B. M.; PEREIRA, H. M. Wood Modification by Heat Treatment: A Review. **BioResources**, v. 4, n. 1, p. 370-404, 2009.

FENGEL, D.; WEGENER, G. **Wood: Chemistry, Ultrastructure, Reactions**. Berlin: De Gruyter, 1984.

FIGUEIROA, M. J. M.; MORAIS, P. D. Comportamento da madeira a temperaturas elevadas. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 9, n. 4, p. 157-174, out./dez. 2009.

GUIMARÃES JÚNIOR et al. Seleção de clones de *Eucalyptus urophylla* para produção de compensados. **Cerne**, v. 18, n. 4, p. 667-673, 2012.

GULER, C.; COPU, Y.; AKGUL, M.; BUYUKSARI, U. Some chemical, physical and mechanical properties of juvenile wood from Black pine (*Pinus nigra* Arnold) plantations. **Journal of Applied Sciences**, v.7, p.755-758, 2007.

HEGER, F.; GROUX, M.; GIRARDET, F.; WELZBACHER, C. R.; RAPP, A. O.; NAVI, P. **Mechanical and Durability Performance of THM Densified Wood** In:

Workshop COST Action E22 „Environmental Optimisation of Wood Protection. 2004, Lisboa, Portugal. Proceedings. 2004. p. 1-10.

HILL, C. A. S. **Wood Modification Chemical, Thermal and Other Processes**. Belgium: John Wiley & Sons, Ltd, 2006. p. 262.

HORVATH, B. et al. Thermal softening of transgenic aspen. **BioResources**, v. 6, n. 2, p. 2125–2134, 2011.

HSU, W.E.; SCHWALD, W.; SHIELDS, J.A. Chemical and physical changes required for producing dimensionally stable wood-based composite. Part 2: heat post-treatment. **Wood Sci Technol**, v. 23, p.281–288, 1989.

IBÁ – Indústria Brasileira de Árvores. **Relatório IBA** 2017. São Paulo. 2017.

IBAMA. **Banco de dados de madeiras brasileiras**. Disponível em: <<http://www.ibama.gov.br/lpf/madeira>>. Acesso em: mar. 2018.

IWAKIRI S. et al. Produção de chapas de partículas de madeira aglomerada de *Pinus elliottii* e *Eucalyptus dunnii*. **Agrárias**, Curitiba, v. 15, p. 33-41, 1996.

IWAKIRI, S. et al. Produção de compensados de *Pinus taeda* L. E *Pinus oocarpa* Schiede com diferentes formulações de adesivo uréia-formaldeído. **Revista Árvore**, Viçosa - MG, v. 26, n. 3, p. 371-375, 2002.

IWAKIRI, S. et al. Avaliação da qualidade do compensado fenólico de *Eucalyptus grandis*. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 16, n. 4, p. 437-443, 2006.

IWAKIRI, S. et al. Produção de painel compensado estrutural de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus dunnii*. **Floresta**, v. 37, n. 3, 2007.

IWAKIRI, S.; ZELLER, F.; PINTO, J.A.; RAMIREZ, M.G.L.; SOUZA, M.M.; SEIXAS, R. Avaliação do potencial de utilização da madeira de *Schizolobium*

amazonicum “Paricá” e *Cecropia hololeuca* “Embaúba” para produção de painéis aglomerados. **Acta Amazônica**, v.42, n.2, p.303-308, 2010.

IWAKIRI, S. et al. Produção de painéis compensados estruturais com diferentes composições de lâminas de *Eucalyptus saligna* e *Pinus caribaea*. **Árvore**, v.36, n.3, p. 569- 576, 2012.

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.

JUNIOR, G. B.; GARCIA, J. N. Propriedades de resistência e rigidez a flexão estática de painéis OSB e compensados. **Revista Árvore**, v. 28, n. 4, p. 563-570, 2004.

KAIRI, M. **Glued/screwed joints/screw glued wooden structures**. In: JOHANSSON, C. J.; PIZZI, T.; VAN LEEMPUT, M. (Eds.). *Wood Adhesion and Glued Products: Glued wood products state of the art - Report*. COST Action E13, p. 115-116, 2002.

KAMKE, F. A. **VTC Wood – the next generation wood product**. Corvallis: Oregon State University, 2006.

KAMKE, F.A.; SIZEMORE, H. **Viscoelastic thermal compression of wood**. United States Patent US 7,404,422. 2008.

KULTIKOVA, E. **Structure and Properties Relationships of Densified Wood**. 1999. 133 f. Master Thesis (Master of Science in Wood Science and Forest Products) - Faculty of the Virginia Polytechnic Institute and State University, Virginia Tech, Blacksburg, Virginia, 1999.

KUROWSKA, A.; BORYSIUK, P.; MAMINSKI, M.; ZBIEC, M. Veneer Densification as a Tool for Shortening of Plywood Processing Time. **Drvna Industrija**, v. 61, n. 3, p. 193-196, 2010.

KURT, R.; CIL, M. Effects of press pressures on glue line thickness and properties of laminated veneer lumber glued with phenol formaldehyde adhesive. **BioResources**, v.7, n.4, p. 5346-5354, 2012.

KUTNAR, A.; SERNEK, M. Densification of wood. **Zbornik gozdarstva in lesarstva**, v.82, p. 53–62, 2007.

KUTNAR, A.; KAMKE, F. A.; SERNEK, M. Density Profile and Morphology of Viscoelastic Thermal Compressed Wood. **Wood Science and Technology**, v. 43, n. 1-2, p. 57-68, 2009.

KUTNAR, A.; KAMKE, F. A. Compression of wood under saturated steam, superheated steam, and transient conditions at 150°C, 160°C, and 170°C. **Wood Science and Technology**, v. 46, n. 1-3, p. 73–88, 8 out. 2010.

KUTNAR, A. et al. Thermodynamic characteristics of surface densified solid Scots pine wood. **European Journal of Wood and Wood Products**, v. 70, n. 5, p. 727–734, 21 abr. 2012.

MACIEL, A. da S. **Chapas de partículas aglomeradas de madeira de Pinus elliottii ou Eucalyptus grandis, em mistura com poliestireno e polietileno tereftalato**. 2001. 115p. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2001.

MALONEY, T. M. The family of wood composite materials. **Forest Products Journal**, Madison, v. 46, n. 2, p. 19-26, 1996.

MARQUES, L.C.T; YARED, J.A.G.; SIVIERO, M.A. **A evolução do conhecimento sobre o paricá para reflorestamento no estado do Pará**. Belém: Embrapa, 2006. 5p. (Comunicado Técnico 158).

MARRA, A. A. **Technology of wood bonding**. New York: Van Nostrand Reinhold, 1992. 453p.

MATOS, J.L.M. **Estudos sobre a produção de painéis estruturais de lâminas paralelas de *Pinus taeda* L.** 1997. 117f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba. 1997.

MCKEEVER, D. B. Engineered wood products: a response to the changing timber resource. **Pacific Rim Wood Market Report**, n.123, p.5-15. 1997.

MELO, J. E.; CARVALHO, G. M. e MARTINS, V. A. **Espécies madeireiras substitutas do mogno (*Swietenia macrophilla* King.)**. Brasília: IBAMA, 1989.16 p. (Série Técnica, 6).

MELO, R. R., Del MENEZZI, C.H.S. Influência da massa específica nas propriedades físico-mecânicas de painéis aglomerados. **Silva Lusitana** 2010; 18(1): 59-73.

MELO, R.R. **Avaliação de variáveis tecnológicas na produção de painéis LVL confeccionados com paricá (*Schizolobium amazonicum* Huber ex. Ducke)**. Tese de Doutorado em Ciências Florestais, Departamento de Engenharia Florestal, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 164p, 2012.

MELO, R. R. et al. Avaliação das Propriedades Físicas, Químicas, Mecânicas e de Superfície de Lâminas de Paricá (*Schizolobium amazonicum* Huber ex. Ducke). **Floresta e Ambiente** 2013; 20(2): 238-249.

MORSING, N. **Densification of Wood: The Influence of Hygrothermal Treatment on Compression of Beech Perpendicular to the Grain**. Technical University of Denmark, n. 79, p.1-145, 2000.

MÜLLER, M.T. **Influência de diferentes combinações de lâminas de *Eucalyptus saligna* e *Pinus taeda* em painéis estruturais LVL**. 2009. 165f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2009.

NAUMANN, R.N.; VITAL, B.R.; CARNEIRO, A.C.O.; DELLA LUCIA, R.M.; SILVA, J.C.; CARVALHO, A.M.M.L.; COLLI, A. Propriedades de chapas fabricadas

com partículas de madeirade *Eucalyptus urophylla* S.T. Blake e de *Schizolobium amazonicum* Herb. **Revista Árvore**, v.32, n.6, p.1143-1150, 2008.

PALMA, H. A. L. Efeito da massa específica nas propriedades de flexão estática em compensados de *Pinus elliottii* Engelm. **Ciência Florestal** 1999; 9(1): 161-171.

PEDROSA, A.L. **Desempenho estrutural de vigas “I” constituídas por PLP e compensado de *Pinus taeda* L. e *Eucalyptus dunnii* Maiden e OSB de *Pinus* spp.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2003, 104p.

PEREIRA, A. P., MELO, C. F. M. de, ALVES, S. M. O paricá (*Schizolobium amazonicum*) características gerais da espécie e suas possibilidades de aproveitamento na indústria de celulose e papel. **Revista do Instituto Florestal**, São Paulo, v. 16 A, n 2. p. 1340- 1344, 1982.

PINCELLI, A. L. P. S. M.; BRITO, J. O.; CORRENTE, J. E. **Avaliação da termorreificação sobre a colagem da madeira de *Eucalyptus saligna* e *Pinus caribaea* var. hondurensis.** Scientia Forestalis, IPEF-Instituto de Pesquisas Florestais, n.61, p.122-132, jun. 2002.

PROTASSIO, T. P. et al. Correlações entre as Propriedades Físicas e Mecânicas de Painéis Aglomerados de Diferentes Espécies de *Eucalyptus*. **Floresta e Ambiente** 2012; 19(2):123-132.

QUIRINO, W. F. & VALE, A. T. **Retificação térmica de *Eucalyptus grandis*.** Floresta, Fundação de Pesquisas Florestais do Paraná-FUPEF, Edição Especial, p.60-66, set. 2002.

RENZO, R. **Painel estrutural de laminas paralelas (LVL) de *Eucalyptus grandis* utilizando adesivo resorcinólico, taninos e poliuretano derivado de óleo de mamona.** Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia da Madeira) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2008. 115f.

REYNOLDS, M.S. **Hydro-Thermal Stabilization of Wood-Based Materials**. Dissertação (Mestrado), Virginia Tech, Blacksburg, Virginia. 155 pp., 2004.

ROSA, L.S. Características botânicas, anatômicas e tecnológicas do paricá (*Schizolobium amazonicum* Huberr ex Ducke. **Revista Ciências Agrárias**, n. 46, p.63-79, 2006.

ROWELL, R. M.; YOUNGS, R. L. **Dimensional Stabilization of Wood in Use**. Forest Products Laboratory. Madison, WI, 8pp. 1981.

SANDBERG, D.; HALLER, P.; NAVI, P. Thermo-hydro and thermo-hydro-mechanical wood processing: An opportunity for future environmentally friendly wood products. **Wood Material Science and Engineering**, v. 8, n. 1, p. 64–88, mar. 2013.

SANTOS, J.A. Mechanical behaviour of Eucalyptus wood modified by heat. **Wood Science and Technology**, v.34, p.39–43, 2000.

SUCHSLAND, O. **The swelling and shrinking of wood**. Madison: Forest Products Society, 2004. 189p.

SHMULSKY, R.; JONES, P. D. **Forest products and wood science**, an introduction. 6 ed. West Sussex: Wiley Blackwell, 2011.

SINKO, H. **Aumenta presença de painéis LVL no mercado**. 2001. Disponível em: <<http://www.remade.com.br/br/revistadamadeira>> Acesso em fevereiro 2018.

SKYBA, O. **Durability and Physical Properties of Thermo-Hygro-Mechanically (THM)-densified Wood**. Tese (Doutorado). Ucrânia, 2008. 167p.

SOUZA, C.R.; ROSSI, L.M.B.; AZEVEDO, C.P.; VIEIRA, A.H. **Paricá: *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* (Huber x Ducke) Barneby**. Embrapa: Colombo, 2003, 12p. (Circular Técnica 18)

SOUZA, D. B. Paricá *Schizolobium amazonicum* Huber ex Ducke, Pará, **Informativo Técnico Rede de Sementes da Amazônia nº 13**, Pará, 2005.

SOUZA, F. **Propriedades mecânicas, físicas, biológicas e avaliação não- destrutiva de painéis de lâminas paralelas confeccionados com madeira de *Pinus oocarpa* e *P. kesiya***. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais), Departamento de Engenharia Florestal, Universidade de Brasília, 135f, 2009.

STAMM, A. J. **Wood and cellulose science**. New York: Ronald Press, 1964. 549p.

TAMMELA, K. **Laminated veneer lumber (LVL) manufacturing**. In: Seminário Internacional Sobre Produtos Sólidos de Madeira de Alta Tecnologia, 1, 1998, Belo Horizonte. Anais... Viçosa: SIF/UFV, 1998. p.162-168.

TEREZO, R. **Avaliação tecnológica do paricá e seu uso em estruturas de madeira laminada colada**. 2010. 177f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2010.

TOMASELLI, I. **A indústria de painéis no Brasil e no mundo: tendências de mudanças do perfil de produção e usos**. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL SOBRE PRODUTOS SÓLIDOS DE MADEIRA DE ALTA TECNOLOGIA, 1, 1998, Belo Horizonte-MG. Anais...Viçosa-MG: SIF/UFV/DEF, 1998. p. 55-64.

TONELLO, K.C.; COTTA, M.K.; ALVES, R.R.; RIBEIRO, C.F.A.; POLLI, H.Q. **O Destaque econômico do setor florestal brasileiro**. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL CIÊNCIA E TECNOLOGIA NA AMÉRICA LATINA, 3, 2006, Campinas. Anais... Campinas: UNICAMP, 2006.

TSOUMIS, G. **Science and technology of wood: structure, properties, utilization**. New York: Chapman e Hall, 1991. 494p.

VIDAURRE, G. B. **Caracterização anatômica, química e físico- mecânica da madeira de paricá (*Schizolobium amazonicum*) para produção de energia e polpa celulósica**. Tese (Doutorado). Universidade Federal de Viçosa, 2010.

UNSAL, O., et al. Decay and termite resistance, water absorption and swelling of thermally compressed wood panels. **International Biodeterioration & Biodegradation**, v. 63, n.5, p.548-552, 2009.

VIEIRA, M.C. et al. Evolução Econômica do Painel Compensado no Brasil e no Mundo. **Floresta e Ambiente**, v. 19, n.3, p.277-285, 2012.

WELZBACHER, C. R.; WEHSENER, J.; RAPP, A. O.; HALLER, P. Thermo-Mechanical Densification Combined with Thermal Modification of Norway spruce (*Picea abies* Karst) in Industrial Scale - Dimensional Stability and Durability Aspects. **Holz als Roh-und Werkstoff**, v. 66, p. 39-49, 2008.

ZUGMAN, I.C. **Estrutura das indústrias e comércio de madeira compensada e laminada no Brasil e no mundo**. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL SOBRE PRODUTOS SÓLIDOS DE MADEIRA DE ALTA TECNOLOGIA, 1, Belo Horizonte, 1998. Anais. Viçosa: SIF / UFV / DEF, 1998. p. 49-54.