

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”

CAMPUS EXPERIMENTAL DE ITAPEVA

DAYANE CRISTINE NEGRI

**ANÁLISE DAS PROPRIEDADES FÍSICO-MECÂNICAS DE  
PAINEL PARTICULADO DE EUCALIPTO COMPOSTO POR  
TRÊS CAMADAS COM DUAS VARIAÇÕES DE PRESSÃO**

Itapeva - SP

2013

DAYANE CRISTINE NEGRI

**ANÁLISE DAS PROPRIEDADES FÍSICO-MECÂNICAS DE  
PAINEL PARTICULADO DE EUCALIPTO COMPOSTO POR  
TRÊS CAMADAS COM DUAS VARIAÇÕES DE PRESSÃO**

Trabalho de Graduação apresentado no Campus Experimental de Itapeva - Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", como requisito para a conclusão do curso de Engenharia Industrial Madeireira.

Orientador: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Cristiane Inácio de Campos

Itapeva - SP

2013

Negri, Dayane Cristine

N386a Análise das propriedades físicos-mecânicas de painel particulado de eucalipto composto por três camadas com duas variações de pressão / Dayane Cristine Negri. -- Itapeva, SP, 2013  
54 f. : il.

Trabalho de conclusão de curso (bacharelado - Engenharia Industrial Madeireira) - Universidade Estadual Paulista, Câmpus de Itapeva, 2013

Orientador: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Cristiane Inácio de Campos  
Banca examinadora: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Maria Angélica Martins Costa, Prof. Dr. Alexandre Jorge Duarte de Souza  
Bibliografia

1. Painéis de madeira. 2. Matéria -- Propriedades. 3. Eucalipto. I. Título. II. Itapeva - Curso de Engenharia Industrial Madeireira.  
CDD 674.836

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca - UNESP, Câmpus de Itapeva

## RESUMO

O objetivo da pesquisa foi produzir chapas de partículas com resíduos do processamento da madeira de *Eucalyptus* sp coladas com ureia-formaldeído e avaliar o efeito da variação da pressão na qualidade das chapas produzidas. Para tanto, as chapas confeccionadas foram divididas em dois tratamentos em função da pressão de prensagem de 30 e 40 kgf/cm<sup>2</sup>. Depois de prensadas e climatizadas, as chapas foram seccionadas em corpos de prova, e realizados ensaios físico-mecânicos para a determinação da densidade, inchamento e absorção de água, módulo de ruptura e elasticidade em flexão estática e ligação interna. As chapas prensadas à 40 Kgf/cm<sup>2</sup> foram as que apresentaram melhores resultados.

**Palavras-chaves:** Painéis de madeira. Aglomerado. Eucalipto. Pressão.

## **ABSTRACT**

The research aimed to produce sheets of particles with waste processing of Eucalyptus sp bonded with urea-formaldehyde and evaluate the effect of pressure variation in the quality of the boards produced. To do so, the Boards made were divided into two treatments depending on the pressing pressure of 30 to 40 kgf / cm<sup>2</sup>. Once pressings, climatized, the particleboards have been sectioned in test samples, and underwent physical-mechanical tests for determining density, swelling and water absorption, modulus of rupture and elasticity in static bending and internal linking. The particleboards pressed at 40 kgf / cm<sup>2</sup> showed the best results.

**Keywords:** Wood panels. Particleboard. Eucalyptus. Pressure.

## LISTA DE FIGURAS

|   |    |
|---|----|
| Figura 1 - Esquema representativo de particulados e laminados.....  | 4  |
| Figura 2 - Esquema cadeia produtiva de painéis aglomerados.....   | 8  |
| Figura 3 - Módulo de ruptura, inchamento em espessura, absorção de água e expansão linear em função da razão de esbeltez. ....              | 9  |
| Figura 4 - Capacidade nominal brasileira (mil/m <sup>3</sup> ).....   | 14 |
| Figura 5 - (a) Picador Laboratorial tipo Anel; (b) Moinho tipo Martelo.....   | 17 |
| Figura 6 - Agitador de peneiras utilizado para a classificação das partículas. ....   | 18 |
| Figura 7 - Pesagem do material: (a) Adesivo; (b) Parafina; (c) Partículas CI; (d) Partículas CE. ....                                       | 20 |
| Figura 8 - Adição e mistura de parafina, catalisador e água com adesivo. ....   | 20 |
| Figura 9 - Adição e mistura manual do adesivo às partículas. ....   | 21 |
| Figura 10 - Misturando o adesivo às partículas com auxílio de uma bateadeira orbital. ....  | 21 |
| Figura 11 - Formação do colchão: (a) 1 <sup>a</sup> camada; (b) 2 <sup>a</sup> camada; (c) 3 <sup>a</sup> camada; (d) colchão formado. .... | 22 |
| Figura 12 - Pré-prensagem do colchão para acomodação dos materiais em camadas.....  | 23 |
| Figura 13 - Retirada do molde para a realização da prensagem a quente.....  | 23 |
| Figura 14 - Espessura do painel antes da prensagem a quente. ....   | 24 |
| Figura 15 - (a) Colchão de partículas dentro da prensa; (b) Painel consolidado.....   | 24 |
| Figura 16 - Espessura do painel consolidado.....  | 25 |
| Figura 17 - Esquema de corte das chapas para obtenção dos corpos de prova.....  | 25 |
| Figura 18 – Corpos de prova submersos após 24 h ± 3 min para determinação do inchamento e absorção de água. ....                            | 27 |
| Figura 19 - corpos-de-prova ensaio adesão interna.....  | 29 |
| Figura 20 – (a) Máquina universal de ensaios EMIC; (b) Corpo de prova acoplado a máquina universal de ensaios. ....                         | 29 |
| Figura 21 – Corpo de prova ensaio flexão estática acondicionados. ....  | 30 |
| Figura 22 - Ensaio do corpo de prova de flexão estática. ....   | 30 |
| Figura 23 - Gráfico comparativo: resultados encontrados no estudo X valores normativos.....   | 32 |

|  |    |
|--|----|
| Figura 24 - Gráfico comparativo: resultados encontrados no estudo X valores encontrados na literatura.....                       | 34 |
| Figura 25 - Gráfico comparativo: resultados encontrados no estudo X valores encontrados na literatura.....                       | 35 |
| Figura 26 - Gráfico comparativo: resultados encontrados no estudo X valores mínimos e máximos normativos.....                    | 37 |
| Figura 27 - Gráfico comparativo: resultados encontrados no estudo X valores normativos.....                                      | 38 |
| Figura 28 - Gráfico comparativo: resultados encontrados no estudo X valores na literatura. ....                                  | 39 |
| Figura 29 - Gráfico comparativo: resultados encontrados no estudo X valores normativos X valores encontrados na literatura. .... | 40 |

## LISTA DE TABELAS

|  |    |
|--|----|
| Tabela 1 - Quantificação e características da mistura de adesivo .....           | 19 |
| Tabela 2 - Valores médios de densidade aparente para as duas situações. ....     | 32 |
| Tabela 3 - Valores médios de inchamento em espessura para as duas situações. ... | 34 |
| Tabela 4 - Valores médios de absorção de água para as duas situações. ....       | 36 |
| Tabela 5 – Valores médios do teor de umidade para as duas situações. ....        | 37 |
| Tabela 6 - Valores médios de tração perpendicular para as duas situações. ....   | 38 |
| Tabela 7 - Valores médios de MOE para as duas situações.....                     | 39 |
| Tabela 8 - Valores médios de MOR para as duas situações. ....                    | 40 |



## SUMÁRIO

|       |  |    |
|-------|--|----|
| 1.    | INTRODUÇÃO .....                                       | 1  |
| 2.    | OBJETIVOS.....   | 2  |
| 2.1   | Objetivos Gerais .....                                 | 2  |
| 2.2   | Objetivos Específicos .....                            | 2  |
| 3.    | REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....                            | 3  |
| 3.1   | Classificação dos painéis de madeira .....             | 3  |
| 3.2   | Painel de madeira aglomerada.....                      | 4  |
| 3.3   | Adesivo.....   | 6  |
| 3.4   | Processo produtivo de painéis particulados .....       | 8  |
| 3.4.1 | Ciclo de prensagem .....                               | 13 |
| 3.5   | Tendências de mercado .....                            | 14 |
| 4.    | MATERIAIS E MÉTODOS .....                              | 16 |
| 4.1   | Processamento do eucalipto em partículas menores ..... | 17 |
| 4.2   | Classificação das partículas .....                     | 17 |
| 4.3   | Secagem das partículas .....                           | 18 |
| 4.4   | Mistura do adesivo .....                               | 18 |
| 4.5   | Formação do colchão .....                              | 22 |
| 4.6   | Pré-prensagem do colchão.....                          | 23 |
| 4.7   | Prensagem do colchão .....                             | 24 |
| 4.8   | Ensaio físicos e mecânicos.....                        | 25 |
| 5.    | RESULTADOS E DISCUSSÕES.....                           | 32 |
| 5.1   | Ensaio de densidade .....                              | 32 |
| 5.2   | Ensaio de inchamento em espessura.....                 | 33 |
| 5.3   | Ensaio de absorção de água .....                       | 35 |
| 5.4   | Ensaio de teor de umidade da chapa .....               | 36 |
| 5.5   | Ensaio de tração perpendicular (adesão interna).....   | 38 |
| 5.6   | Ensaio de flexão estática.....                         | 39 |

|    |                                  |    |
|----|----------------------------------|----|
| 6. | CONCLUSÃO .....                  | 42 |
| 7. | REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS ..... | 43 |

## 1. INTRODUÇÃO

A indústria madeireira em alguns segmentos caracteriza-se por gerar grande quantidade de resíduos e, embora seja um assunto estudado com o objetivo de reduzir tal geração, muitas vezes não é possível devido às características próprias do processo, ou ainda baixa qualificação de mão de obra. O processamento mecânico primário da madeira, embora com alta tecnologia gera no mínimo 40% de resíduo a partir do volume da tora, resíduo esse apresentado na forma de aparas, costaneiras, cascas, cavacos, pó de serra, maravalha, entre outros.

Os resíduos gerados no processamento da madeira, quando não utilizados, tornam-se um problema econômico e ambiental. Problema econômico devido à subutilização da madeira, ao baixo valor agregado aos produtos fabricados. E problema ambiental, oriundo do grande volume de resíduos gerando situações preocupantes como a queima e a disposição indevida do material no solo e cursos d'água.

O Brasil possui grande área de florestas, no entanto, ao longo dos anos percebeu-se a necessidade de racionalização do uso da madeira devido aos aspectos econômico e ambiental, que através do desenvolvimento de novas tecnologias reduz-se a geração de resíduos com uma melhor utilização dos recursos florestais, além de melhorar algumas de suas propriedades. Com isso começaram a surgir os painéis à base de madeira, dentre os quais se podem citar os compensados, os painéis de partículas, os painéis de fibras, entre outros.

A utilização dos resíduos como matéria-prima na produção de painéis de fibras e partículas, tem a intenção de diminuir a necessidade de madeira em forma de tora para sua produção, e também dar um uso mais nobre a estes materiais, que normalmente são apenas descartados ou queimados para a geração de energia, provocando, portanto, a sua subutilização. Desta forma pode-se diminuir o consumo da madeira e gerar um aproveitamento de resíduos, contribuindo para um menor impacto ambiental na produção de painéis sem haver comprometimento no desempenho dos mesmos.

Com base no exposto é que surgiu a ideia da presente pesquisa que procurou produzir painéis partículas de três camadas utilizando resíduos do processamento mecânico da madeira e variando a pressão do ciclo de prensagem.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivos Gerais**

Este trabalho teve por objetivo geral produzir um painel de MDP (*Medium Density Particleboard*) a partir de resíduos de eucalipto (*Eucalyptus sp*).

### **2.2 Objetivos Específicos**

Os objetivos específicos são:

- Produção dos painéis com variação de duas pressões de prensagem;
- Caracterização físico-mecânica;
- Análise da influência da pressão na resistência físico-mecânica dos painéis;
- Comparação dos resultados obtidos com documentos normativos e literaturas.

### **3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

Os painéis à base de madeira surgem como um produto alternativo para concorrer com os elevados preços das toras e das tábuas, pois são produtos mais baratos que utilizam de forma mais integral a madeira. Alguns painéis à base de madeira podem ser produzidos com o uso matéria-prima de menor valor agregado, como por exemplo, tábuas com defeitos naturais da madeira (nós). O processamento mecânico da madeira gera muitos resíduos como cavacos, serragem e outros tipos de resíduos, os quais na maioria das vezes servem apenas para a geração de energia, mas poderiam ser utilizados na produção de alguns tipos de painéis (IRLE et. al., 2012).

A revisão de literatura apresentada a seguir descreve aspectos relevantes relacionados ao painel particulado, objeto do presente estudo, de modo a fornecer embasamento teórico para o desenvolvimento da pesquisa, destacando processo produtivo, adesivos utilizados, ciclo de prensagem e mercado de painéis.

#### **3.1 Classificação dos painéis de madeira**

Iwakiri (2005) define painéis de madeira como todo produto composto de elementos de madeira obtidos através da transformação da madeira sólida em partículas, fibras, sarrafos e lâminas de madeira, unidos por ligação adesiva. Os painéis à base de madeira podem ser classificados em três grupos principais, dividindo-se em laminados, particulados e de fibras.

Os compostos particulados e laminados podem ser subdivididos em minerais, fibras e aglomerados. Como pode ser observado na Figura 1.

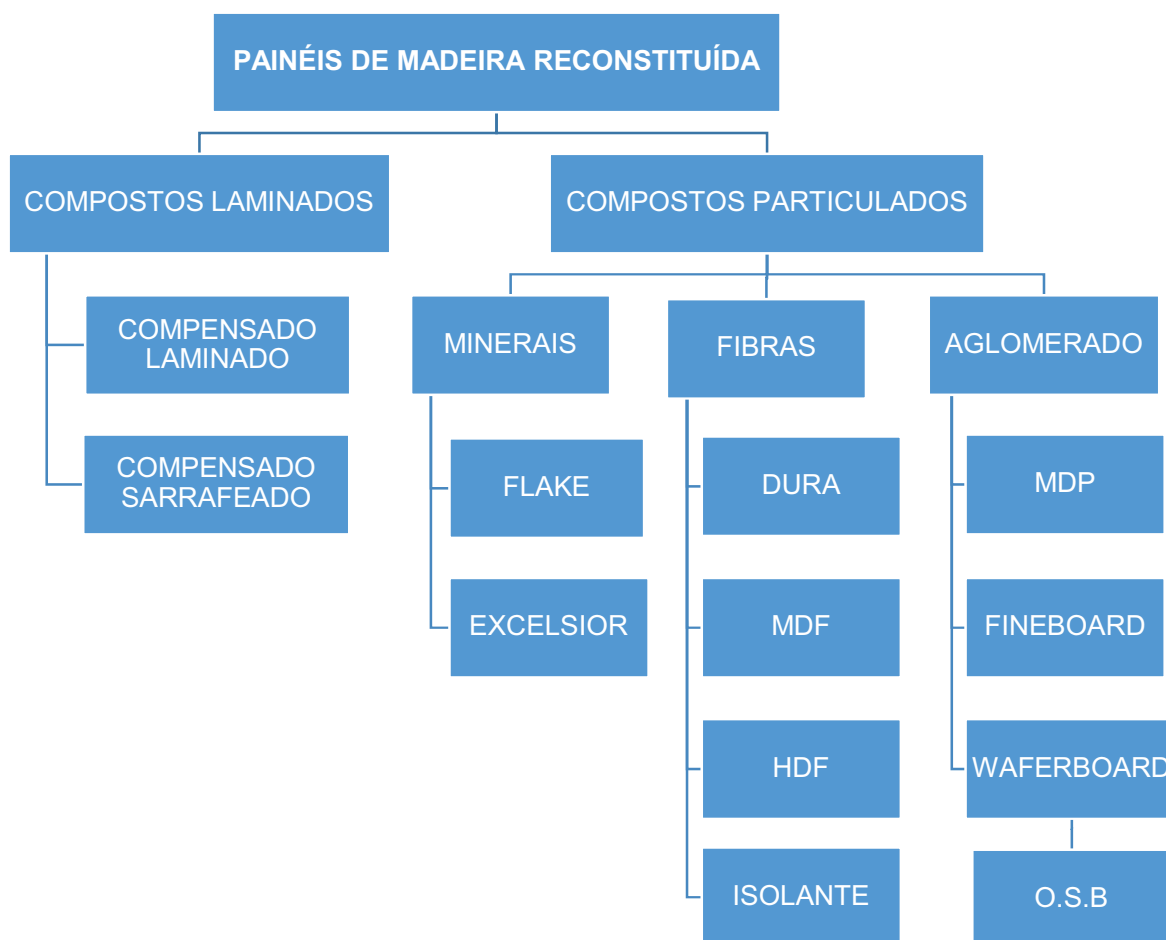


Figura 1 - Esquema representativo de particulados e laminados.

Fonte: Adaptado de IWAKIRI (2005).

Estes compostos serão descritos posteriormente.

### 3.2 Painel de madeira aglomerada

O painel aglomerado é constituído de partículas de material lignocelulósicos combinados com material ligante (adesivo) e é consolidado através da ação da pressão e calor, são caracterizados pela estrutura descontínua entre as partículas e a linha de cola (MALONEY, 1993; REMADE, 2002).

É um material isotrópico no plano da chapa, no entanto, pode apresentar valores de resistência na direção paralela à formação do colchão cerca de 10% superiores aos da direção perpendicular (MACHADO, 2005).

Podem ser classificados por sua densidade, tipo e distribuição das partículas empregadas na chapa. Sendo classificados em painéis de baixa, média e alta densidade, onde os de média densidade possuem entre 0,59 e 0,80 g/cm<sup>3</sup>, os de alta densidade acima de 0,80 g/cm<sup>3</sup> e abaixo de 0,59 g/cm<sup>3</sup> os de baixa densidade. Podem ser homogêneos ou possuir múltiplas camadas com partículas distribuídas de forma aleatória ou orientadas. Assim este tipo de painel é dividido em MDP (*Medium Density Particleboard*), *Fineboard*, *Waferbord* (WB) e OSB (*Oriented Strand Board*) (IWAKIRI, 2005).

- WAFERBOARD: Painel produzido com partículas maiores, lascas de formato quadrado ou retangular distribuídas de forma aleatória, possui função estrutural. Foi gradativamente substituído pelo OSB que também possui função estrutural, e difere-se do *waferboard* por ser produzido com partículas longas do formato retangular, que são distribuídas de forma orientada (IWAKIRI, 2005).

- MDP: painel produzido sobre o conceito de três camadas: camada interna e externas, possuindo granulometria mais fina nas camadas externas, o que permite um melhor acabamento superficial devido à maior compactação das partículas e mais grossas na camada externa (miolo). Devido à grande homogeneidade e uniformidade das partículas, este painel não sofre os efeitos da anisotropia, possui grande estabilidade dimensional em relação a madeira maciça, resistência mecânica uniforme ao longo do painel, não havendo diferença entre as direções longitudinal e transversal. Além desta vantagem em relação à madeira maciça pode-se citar também melhor aproveitamento da madeira, eliminação de fatores que reduzem a resistência da madeira, como inclinação da grã, nós, lenho juvenil e adulto, inicial e tardio, cerne e alborno; são mais fáceis de impregnar produtos retardantes de fogo, repelentes de umidade e agentes xilófagos, pode ser produzido em grandes dimensões, sendo que esta limitação dimensional deixa de ser a dimensão da tora e passa a estar relacionada à dimensão da prensa (IWAKIRI, 2005; REMADE, 2003).

Estes painéis são consumidos principalmente pela indústria moveleira, entretanto também é utilizada na construção civil, tais como: pisos residenciais, vigamento de telhados, divisórias, degraus de escadas e como soalhos para casas (GONÇALVES, 2000).

### **3.3 Adesivo**

O adesivo é um material com propriedades aderentes que tem por finalidade manter unidos outros materiais em sua superfície (IWAKIRI, 2005).

O processo de colagem se inicia com o derramamento do adesivo sobre a superfície, o adesivo deve fluir se espalhando e umedecendo as fibras e, então, ocorre a solidificação, formando elos de ligação entre as peças coladas (IWAKIRI, 2005).

Os adesivos utilizados para colar a madeira têm origem em polímeros naturais ou sintéticos, sendo que os naturais vêm sendo substituídos pelos sintéticos, mas mesmo assim continuam sendo utilizados (FRIHART e HUNT, 2010).

Segundo Iwakiri (2005) algumas propriedades da madeira podem influenciar no resultado deste processo de colagem, sendo elas: propriedades anatômicas, físicas, químicas e mecânicas. Estas propriedades estão detalhadas a seguir.

A influência da anatomia da madeira está relacionada aos efeitos do movimento do adesivo para o interior da madeira, não possibilitando uma adesão adequada, neste quesito pode-se citar lenhos inicial e tardio, cerne e alburno, lenhos de reação, grã e porosidade que estão relacionadas com a penetração do adesivo na estrutura da madeira. Já as propriedades físicas mais relevantes para a colagem é a densidade e o conteúdo de umidade da madeira, onde a densidade se relaciona com a porosidade e a penetração do adesivo e o conteúdo de umidade a taxa de absorção do adesivo pela madeira, a velocidade de cura e solidificação do adesivo, a umidade também está relacionada com o surgimento de bolhas no painel, o que dificulta a colagem resultando em delaminação das camadas de ligação adesiva (IWAKIRI, 2005).



A influência dos componentes químicos da madeira está relacionada à concentração de extrativos, ao pH e componentes inorgânicos da madeira, estes podem dificultar a penetração e reagir com o adesivo inibindo o endurecimento ou favorecendo o pré-endurecimento do adesivo prejudicando o processo de adesão (IWAKIRI, 2005).

Os adesivos podem ser classificados quanto a sua utilização, uso interno, externo e intermediário, e quanto a sua origem, natural e sintética. Dentro da classe de origem natural temos os de origem animal como a glutina, caseína e albumina do sangue e os de origem vegetal como a borracha natural, éter celulósico, derivados de amido, já na classe de origem sintética eles se dividem em termoplásticos, termofixos (RECH, 2007).

O adesivo mais comumente utilizado na produção de painéis de partículas é a ureia-formaldeído, seguido da melanina-formaldeído e do fenol-formaldeído (IRLE, 2012). Por ser o adesivo de maior utilização industrial a ureia-formaldeído será o adesivo utilizado neste estudo. A ureia-formaldeído é um adesivo termofixo, também conhecido como termorrígido ou termoendurecedor, e isto significa que sob ação do calor sua modificação química e física se torna irreversível, o tornando rígido e insolúvel. As resinas ureia-formaldeído são indicadas para painéis de uso interior devido a degradação hidrolítica na presença de umidade e/ou ácidos, são produzidas em solução aquosa com conteúdo de sólidos entre 60 e 70%, apresenta coloração branca leitosa, viscosidade na faixa de 400 a 1000 cp. a uma temperatura de 25°C, pH entre 7,4 e 7,8, o processo de cura acontece pela redução do pH através da adição de um catalisador ácido (IWAKIRI, 2005). Ainda sobre a resina ureia-formaldeído existem alguns aspectos positivos como custo muito baixo, não inflamável, taxa de cura muito rápida, no entanto, a colagem não resistente a água (FRIHART, 2012). Segundo Stark; Cai e Carll (2010) dentre os adesivos termoendurecedores a ureia-formaldeído é o mais barato, e a vantagem de possuir cor clara é que pode ser utilizada em produtos decorativos, já que a cor clara é um requisito para a produção deste tipo de produto.

### 3.4 Processo produtivo de painéis particulados

O processo produtivo do painel aglomerado envolve as etapas seguintes etapas: geração de partículas, secagem das partículas, classificação das partículas, aplicação do adesivo, formação do colchão, pré-prensagem, prensagem a quente, acondicionamento e acabamento. As etapas descritas podem ser visualizadas através da Figura 2.

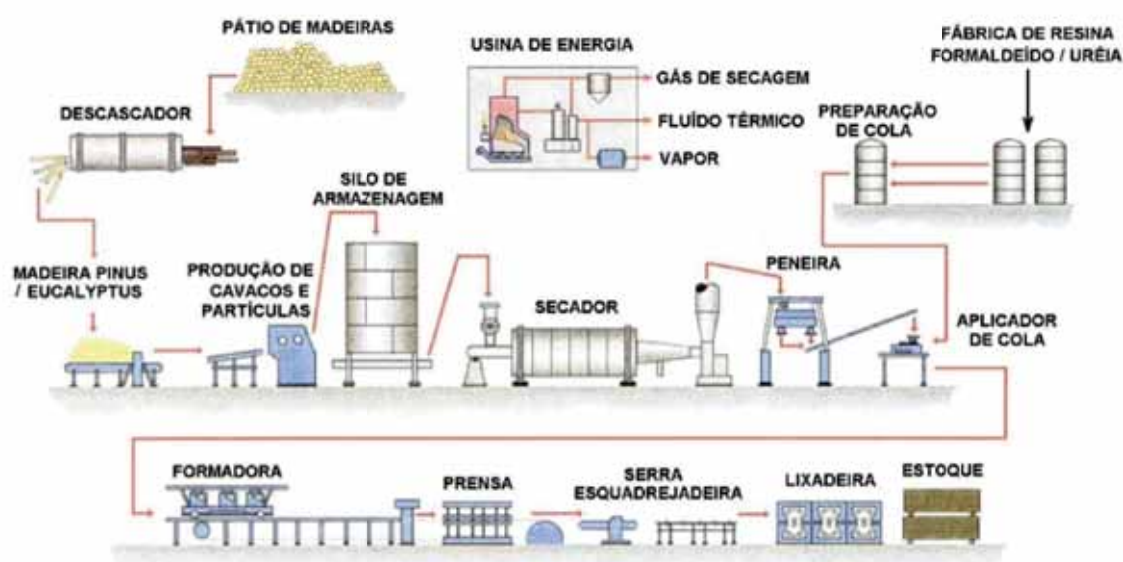


Figura 2 - Esquema cadeia produtiva de painéis aglomerados.

Fonte: Eucatex (2006)

#### a. Geração das partículas

Para a obtenção de partículas o material a ser picado pode ser obtido de diversas fontes, como resíduos de outras indústrias madeireiras ou ainda de costaneiras, maravalhas, aparas, no entanto devido ao grande volume de madeira requerido o mais comumente utilizado são toras advindas de florestas plantadas. Na geração das partículas é importante que as toras sejam descascadas, pois a casca

possui influência negativa nas propriedades dos painéis. Assim como também é importante controlar a umidade das toras a serem picadas, tendo como ideal uma umidade na faixa de 35 e 50%, pois a madeira estando saturada pode resultar no esmagamento das partículas e obstrução das facas e contra-facas do moinho, da mesma forma que se a umidade estiver abaixo de 35% há um maior desgaste das facas e contra-facas, maior consumo de energia, maior dificuldade de controlar a geometria da partícula, com uma maior geração de finos. Nesta etapa são definidas as dimensões das partículas como comprimento, largura e espessura e, por conseqüência, a razão de esbeltez que influenciará na usinabilidade, nas características de acabamento do painel e nas propriedades mecânicas do painel. A razão de esbeltez (razão entre o comprimento e a espessura) deve estar na faixa de 120 a 200 para camada externa e em torno de 60 para camada interna (IWAKIRI, 2005; MICHAQUE, 1992 apud IWAKIRI, 2005).

Moslemi (1974) já havia estudado a relação entre a razão de esbeltez e as propriedades físicas e mecânicas dos painéis, como pode-se verificar na Figura 3, na qual observa-se que a menor razão de esbeltez resulta em menor MOR, maior inchamento em espessura e maior absorção de água, tornando o material menos resistente e mais instável.

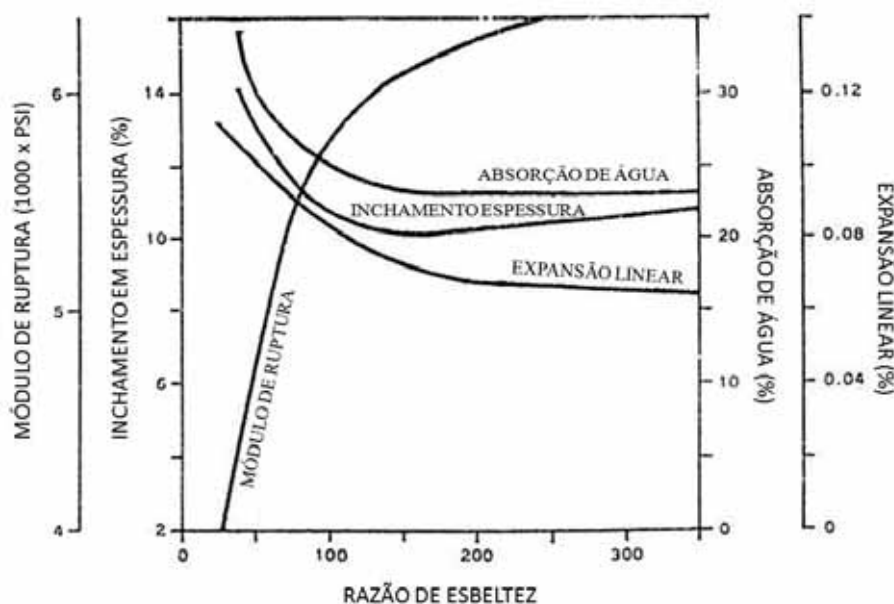


Figura 3 - Módulo de ruptura, inchamento em espessura, absorção de água e expansão linear em função da razão de esbeltez.

Fonte: Adaptado de MOSLEMI, 1974.

### **b. Secagem das partículas**

Finalizada a etapa de geração das partículas, as mesmas devem ser secas até um teor de umidade entre 2% e 8%. Para a secagem das partículas as indústrias utilizam geralmente secadores do tipo tambor rotativo de uma passagem e o de três passagens (IRLE, 2012).

A determinação do teor de umidade das partículas é decisiva na melhoria das propriedades do painel. O teor de umidade influencia diretamente na cura da resina, no tempo de prensagem e na pressão necessária para consolidação do painel até a espessura final desejada (BARROS FILHO, 2009).

### **c. Classificação das partículas**

A classificação de partículas tem por objetivo remover as impurezas e finos, e separar as partículas adequadas ao processo. Existem dois sistemas de classificação de partículas, em função de peso e em função das dimensões das partículas (IWAKIRI, 2005).

Algumas plantas industriais realizam a secagem após a classificação, pois com isso não necessitam secar as partículas que serão descartadas, economizando energia; e também pelo fato de facilitar o controle das variáveis da secagem quando se tem partículas da mesma dimensão a serem secas. Entretanto, a maior parte das plantas industriais realizam a secagem antes da classificação, pois as partículas úmidas tendem a se aglutinar, não permitindo uma classificação muito eficiente e sendo descartadas como se fossem partículas maiores (IRLE, 2012).

### **d. Aplicação do adesivo**

O adesivo pode representar até 60% dos custos da fabricação de aglomerados, sendo assim sua utilização deve ser otimizada. É importante levar em consideração que a quantidade de adesivo a ser aplicada é de 6 a 12% em relação ao peso seco das partículas e quanto maior a área superficial das partículas maior a quantidade

de adesivo a ser aplicado. Na aplicação do adesivo deve-se assegurar a homogeneidade da distribuição do adesivo afim que as propriedades do painel sejam uniformes em toda sua extensão (IWAKIRI, 2005).

Segundo Stark, Cai e Carll (2010) a quantidade média de adesivo varia de 4% a 10% em relação ao peso seco das partículas, sendo que para painéis de três camadas, normalmente utiliza-se de 8% a 15% para as partículas da face e de 4 a 8% para as partículas do centro.

#### **e. Formação do colchão**

Nesta etapa as partículas já impregnadas com adesivo são depositadas sobre uma mesa formadora móvel, em quantidades pré-definidas em função da espessura e densidade do painel. Além destas variáveis deve-se ter determinado como será o arranjo das partículas, ou seja, forma orientada ou aleatória deve-se definir ainda se o painel terá camadas homogêneas, graduadas ou multicamadas, de modo a garantir a uniformidade da distribuição das partículas para que a densidade e outras propriedades sejam homogêneas em toda extensão do painel (IWAKIRI, 2005).

Segundo Irle et al. (2012) esta etapa deve ser executada de forma que a deposição das partículas seja feita de maneira uniforme em relação ao comprimento e largura do painel, na quantidade necessária, para que com isso se atinja a densidade pré-determinada, e para que o perfil de densidade seja simétrico com relação ao centro da chapa.

#### **f. Pré-prensagem e prensagem dos painéis**

Antes do painel ser prensado passa pelo processo de pré-prensagem com o principal objetivo de diminuir os espaços vazios do colchão, aumentando assim a transferência de calor. Também tem por objetivo diminuir a altura do colchão melhorando a consistência e diminuindo o tempo de fechamento da prensa. Logo

após a pré-prensagem o painel é prensado em prensa aquecida para que ocorra a consolidação do colchão, cura da resina e densificação o painel (IWAKIRI, 2005).

De acordo com Stark, Cai e Carll (2010) a pré-prensagem promove a redução da altura do colchão e ajuda a consolidá-lo para que, posteriormente, seja realizada a prensagem.

#### **g. Acondicionamento e acabamento dos painéis**

Após a prensagem, os painéis precisam ser acondicionados para que atinjam a temperatura e umidade de equilíbrio com o ambiente, para que não ocorram problemas como o empenamento do painel. Depois de climatizados os painéis são esquadrejados para obterem as dimensões comerciais e, então, são lixados para que obtenham uma espessura uniforme e padrão, além de melhorar o acabamento superficial possibilitando a aplicação de revestimentos (IWAKIRI, 2005).

De acordo com Irle et al. (2012) o lixamento é feito para remover superfícies onde houve pré-cura do adesivo, pois são mais fracas, fibrosas e porosas, para calibrar a espessura dos painéis e melhorar a qualidade da superfície para aplicações subseqüentes de laminação, pintura, aplicação de verniz, entre outras.

#### **h. Classificação, embalagem e armazenamento.**

Os painéis são classificados de acordo com padrão de qualidade comercial exigido, embalados e armazenados com cuidado para que não haja quebra de bordas ou danificação da superfície do painel (IWAKIRI, 2005).

Foram descritas as etapas de produção de chapas de MDP produzidas comercialmente. No entanto, a seguir serão apresentadas as influências que ocorrem quando se alteram as variáveis do processo de prensagem na fabricação dos painéis.

### 3.4.1 Ciclo de prensagem

A consolidação do painel particulado é realizada durante o processo de prensagem, onde com aplicação de elevada pressão e temperatura o colchão de partículas adquire as condições finais desejadas, seja quanto à espessura assim como propriedades físico-mecânicas. A operação de prensagem é uma das etapas mais importantes e com maior custo operacional no processo de fabricação do painel. A prensagem exige um controle rigoroso de todos os parâmetros operacionais de forma a garantir a qualidade do produto e a redução do tempo de prensagem. (RANITA et. al., 2005).

Estudos sobre as principais variáveis do processo de prensagem têm sido realizados de modo a melhorar a qualidade do produto final (maior resistência à umidade, melhor desempenho mecânico), redução dos custos através da economia energética (redução dos tempos de prensagem) e adequação quanto a utilização de matérias-primas alternativas. (PAPADOPOULOS et. al, 2004; NEMLI et. al. 2001).

Segundo Ranita et. al (2005) os parâmetros do processo de prensagem atuam efetivamente no ambiente interno do colchão de partículas e, conseqüentemente, as propriedades finais do painel. Os principais parâmetros do processo de prensagem são: temperatura dos pratos, a pressão hidráulica, a velocidade de fechamento da prensa e a duração do ciclo de prensagem quando o processo é descontínuo. Quando o processo de prensagem é contínuo a velocidade de passagem do colchão pela prensa influencia diretamente nas propriedades finais do painel. É na etapa de prensagem que são definidas a maior parte das propriedades e formas de uso dos painéis (MATOS, 1988).

A temperatura de prensagem está relacionada a taxa de transferência de calor através da umidade presente no painel e também com a temperatura necessária para realizar a cura do painel (IWAKIRI, 2005).

O tempo de prensagem é o tempo decorrido entre o momento da consolidação do colchão de partículas em sua espessura final, até o momento de abertura dos pratos da prensa, este deve ser suficiente para que a linha mais interna do painel

atinja a temperatura necessária para que ocorra a cura do painel (MATOS, 1988; IWAKIRI, 2005).

A pressão aplicada tem o objetivo de transferir o adesivo entre as partículas, aumentar a área de contato entre as partículas, diminuir os espaços vazios e também esta relacionada a densidade final do painel, quanto maior a pressão de prensagem maior a densidade do painel (IWAKIRI, 2005).

### 3.5 Tendências de mercado

Em 2008 a indústria mundial de painéis de madeira apresentou um faturamento de cerca de US\$ 98,3 bilhões, onde os painéis de madeira reconstituídas representaram cerca de 58,9% deste faturamento. Dez países concentram 73% do consumo mundial, onde o principal país consumidor é a China que representa 29% deste consumo. No Brasil a estrutura produtiva da indústria de painéis de madeira reconstituída concentra-se em seis empresas principais, onde a maior delas é a Duratex que em 2008 tinha 44% da capacidade nominal instalada no país em 2008 e passou para mais de 50% em 2010, estando entre as 10 maiores empresas de painéis de madeira reconstituída do mundo (BIAZUS; HORA; LEITE, 2010).

Segundo a Associação Brasileira da Indústria de Painéis de Madeira – ABIPA (2013) foi realizado um investimento da ordem de US\$ 1,2 bilhões para o período de 2010/2014, fazendo com que a capacidade instalada brasileira das indústrias de painéis de madeira dê um salto de 9,1 milhões de metros cúbicos em 2010 para 10,9 milhões de metros cúbicos anuais em 2014, e afirma também que a produção, em 2011, alcançou 6,4 milhões de metros cúbicos. A Figura 4 apresenta a capacidade nominal brasileira para os painéis de MDF, MDP e chapa de fibra.



Figura 4 - Capacidade nominal brasileira (mil/m³).  
FONTE: ABIPA



Segundo Biazus, Hora e Leite (2010) no Brasil, as indústrias de móveis são as principais consumidoras de painéis de madeira, responsáveis por pelo menos 73% do consumo dos painéis de madeira reconstituída, por este motivo as fábricas de painéis de madeira reconstituídas localizam-se próximas aos pólos moveleiros, em locais que favoreçam o escoamento da produção aos clientes, garantindo assim um mercado e preços competitivos. Embora esta proximidade com o mercado consumidor deva ser levada em consideração, é mais relevante que a indústria esteja próxima a sua base florestal devida a maior sensibilidade dos produtos de menor valor agregado ao custo do frete, esta preocupação em reduzir os custos e aumentar a competitividade dos produtos gera uma melhoria contínua no processo produtivo e nos resultados operacionais das empresas gerando ganhos financeiros e melhorando a qualidade de seus produtos (BIAZUS; HORA; LEITE, 2013).

#### 4. MATERIAIS E MÉTODOS

Para este trabalho foram analisadas duas condições de pressão aplicadas na manufatura do painel com dimensões de 450 mm x 450 mm e 15 mm de espessura. As pressões aplicadas foram:

Situação 1 – 30 Kgf/cm<sup>2</sup>;

Situação 2 – 40 Kgf/cm<sup>2</sup>;

Estas foram escolhidas devido a serem pressões empregadas em estudos encontrados na literatura.

Utilizou-se como matéria-prima partículas de *Eucalyptus sp*, com granulometria de 20 e 10 *mesh* para a camada interna (CI) do painel e 60 e 32 *mesh* para a camada externa (CE).

O adesivo utilizado no processo de fabricação das chapas foi resina sintética do tipo ureia-formaldeído da marca Momentive com teor de sólidos de 65% e pH de 6,5.

Também foram adicionados os respectivos reagentes compostos com funções específicas para melhor o desempenho do painel em contato com água, acelerar a cura do adesivo sob ação de temperatura e água para aumentar a umidade do colchão. Os aditivos misturados à resina estão descritos a seguir.

- Agente impermeabilizante - emulsão parafínica da marca Isogama tipo Humocer 100 a 70 DMD com teor de sólidos de 70%;
- Catalisador para acelerar o processo de cura da resina do tipo sulfato de amônia com teor de sólidos de 20% da marca Leo Madeiras.
- Água para a solubilizar a resina e aumentar a umidade do colchão de partículas.

Após a produção dos painéis foram retiradas amostras para a realização de testes físico-mecânicos, sendo os mecânicos de tração perpendicular (adesão interna) e flexão estática, e os físicos de umidade residual, densidade, inchamento em espessura e absorção de água. Os valores obtidos foram analisados com base

nas especificações da norma ABNT NBR 14.810/2006, em literaturas semelhantes e, ainda, com valores de painéis comerciais.

#### 4.1 Processamento do eucalipto em partículas menores

Foram utilizados pedaços de madeira de eucalipto, estes foram cortados em tamanho adequado para que pudessem ser processados no picador laboratorial (Figura 5a) da marca Marconi modelo MA 683/3. O material obtido após este processo é chamado de cavaco e, este foi levado e processado no moinho tipo martelo (Figura 5b) da marca Marconi modelo MA 630 onde o cavaco foi transformado em partículas menores que serviram de matéria prima para formação do colchão do painel de MDP.

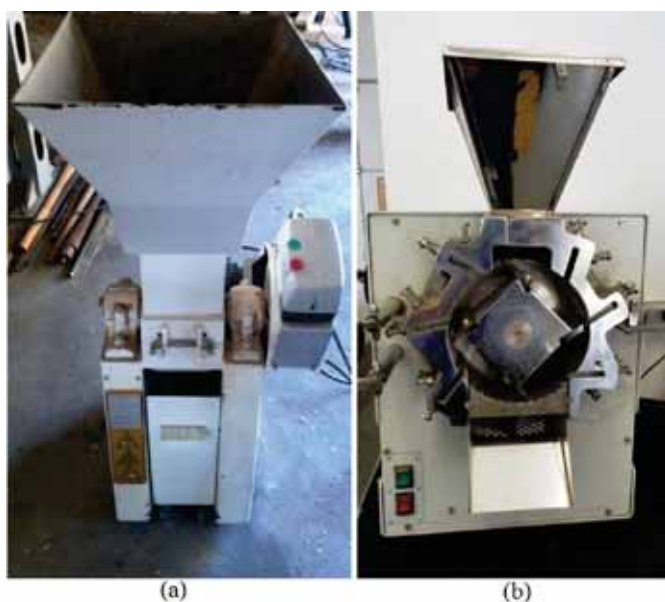


Figura 5 - (a) Picador Laboratorial tipo Anel; (b) Moinho tipo Martelo.

#### 4.2 Classificação das partículas

As partículas obtidas no moinho martelo foram classificadas através de peneiras de 10 e 20 *mesh* para compor a camada interna do colchão e em 32 e 60 *mesh* para a camada externa. Para tanto utilizou-se um agitador de peneiras para análises granulométricas eletromagnético da marca Bertel, apresentado na Figura 6,

equipamento localizado no Laboratório de Fluido-térmica e Ambiental da UNESP campus de Itapeva - SP.



Figura 6 - Agitador de peneiras utilizado para a classificação das partículas.

### **4.3 Secagem das partículas**

Para que não houvesse o surgimento de bolhas durante a prensagem do painel, as partículas foram secas em estufa  $103 \pm 3$  °C, para que no momento da prensagem estivessem com 2 a 3% de umidade. As partículas foram levada a estufa da marca Tecnal localizada no Laboratório de Propriedade dos Materiais.

### **4.4 Mistura do adesivo**

A quantidade de material a ser utilizado na produção de uma considerou a forma para a produção do painel de 450 mm x 450 mm e a espessura desejada de 13 mm, pode-se definir as quantidades de materiais para a formação do painel. Utilizou-se 1600 g de partículas de madeira, 214,88 g de adesivo, 11,08 g de parafina, 6,99 g de catalisador e 15,78 g de água. Primeiramente determinou-se a

quantidade de partículas nas camadas externas (CE) e internas (CI), assim pode-se calcular a quantidade de adesivo, parafina, catalisador e água a ser misturados as partículas, estes valores podem ser observados na Tabela 1.

Tabela 1 - Quantificação e características da mistura de adesivo

| <b>Teor de sólidos da resina = 65%</b><br><b>Teor de sólidos da parafina = 70%</b><br><b>Teor de sólidos do catalisador = 20%</b><br><b>Teor de umidade das partículas = 3%</b> |           |           |
|---|-----------|-----------|
|   | <b>CE</b> | <b>CI</b> |
| <b>Partículas (g)</b>   | 240       | 1120      |
| <b>Adesivo (g)</b>  | 32,23     | 150,42    |
| <b>Parafina (g)</b>   | 1,66      | 7,76      |
| <b>Catalisador (g)</b>  | 1,05      | 4,89      |
| <b>Água (g)</b>   | 2,37      | 11,04     |

Pesou-se em balança semi-analítica as quantidades pré-determinadas como pode ser observado na Figura 7. Depois de mensurados adicionou-se ao adesivo, ureia-formaldeído, a parafina, o catalisador e água misturando-os até obter um solução homogênea (Figura 8), então adicionou-se esta mistura homogênea as partículas, misturando de forma a ficar bem distribuído, primeiro manualmente (Figura 9), e depois com o auxílio de uma bateadeira orbital (Figura 10).



Figura 7 - Pesagem do material: (a) Adesivo; (b) Parafina; (c) Partículas CI; (d) Partículas CE.



Figura 8 - Adição e mistura de parafina, catalisador e água com adesivo.



Figura 9 - Adição e mistura manual do adesivo às partículas.



Figura 10 - Misturando o adesivo às partículas com auxílio de uma bateadeira orbital.

As quantidades de materiais constituintes das camadas foram processadas em três porções separadas, iniciando pela mistura de material da CE inferior, seguida da preparação e mistura do material da CI e, por fim, o processamento dos constituintes da CE superior, sempre atendendo as especificações contidas na Tabela 1, apresentada anteriormente.



#### 4.5 Formação do colchão

Concluída a etapa de mistura do adesivo com as partículas, despejou-se o material da primeira camada (camada externa) em um molde de madeira de 450 x 450 mm (Figura 11a) distribuindo de forma uniforme para que a camada obtivesse uma espessura homogênea. Após a mistura da segunda camada (camada interna) despejou-se o material sobre a primeira camada (Figura 11b) e, posteriormente, fez-se o mesmo com a terceira e última camada (camada externa) (Figura 11c), sempre atentando-se para que o material fosse distribuído uniformemente ao longo do molde.



Figura 11 - Formação do colchão: (a) 1ª camada; (b) 2ª camada; (c) 3ª camada; (d) colchão formado.



#### 4.6 Pré-prensagem do colchão

Após a formação do colchão efetuou-se a pré-prensagem aplicando uma força vertical sobre o colchão, para melhor acomodar as partículas, diminuir os espaços vazios, assim como a espessura do colchão (Figura 12).



Figura 12 - Pré-prensagem do colchão para acomodação dos materiais em camadas.

Ao término da pré-prensagem retirou-se o molde (Figura 13) para que fosse possível levá-lo à prensa. Verificou-se que o colchão possuía em média 35 mm de espessura como pode ser observado na Figura 14.



Figura 13 - Retirada do molde para a realização da prensagem a quente.



Figura 14 - Espessura do painel antes da prensagem a quente.

#### 4.7 Prensagem do colchão

O colchão de partículas foi levado para a prensa hidráulica com sistema de aquecimento da marca Hidral-Mac, modelo PHH 80T (Figura 15), onde foi prensado a uma temperatura de 150 °C por 7,5 minutos, estes divididos em três etapas: densificação inicial do painel e transferência do calor (3,5 minutos), redução de pressão para liberação de vapores (30 segundos) e consolidação do painel e definição da espessura nominal (3,0 minutos). Ao término do processo de prensagem retirou-se o painel da prensa, verificando-se que o painel apresentava 13 mm de espessura (Figura 16). Nesta etapa foram produzidas chapas com pressões de 30 Kgf/cm<sup>2</sup> e 40 Kgf/cm<sup>2</sup>.

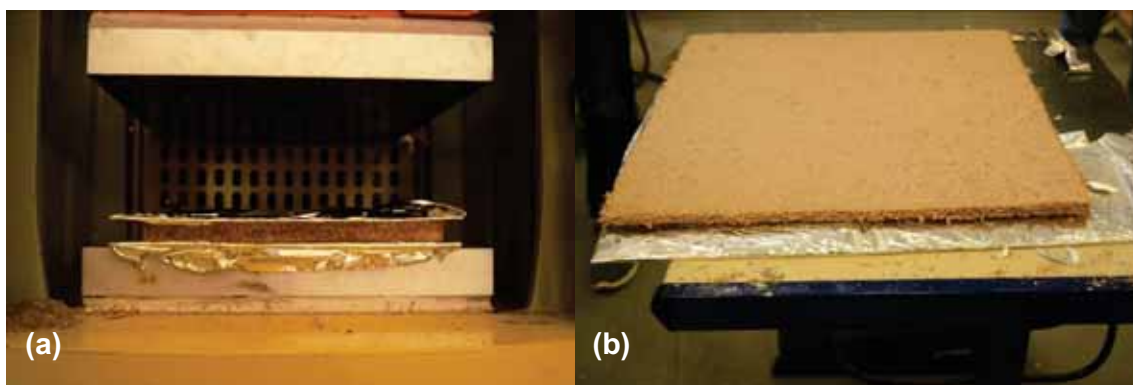


Figura 15 - (a) Colchão de partículas dentro da prensa; (b) Painel consolidado.



Figura 16 - Espessura do painel consolidado.

#### 4.8 Ensaios físicos e mecânicos

Para a realização dos ensaios físico-mecânicos seccionou-se as chapas para a obtenção dos corpos de prova para os ensaios físicos de densidade, inchamento e absorção, umidade residual, e mecânicos de tração perpendicular (adesão interna) e flexão estática, sendo todas as amostras nas dimensões requeridas pela norma ABNT 14.810/2006. A Figura 17 mostra o esquema de corte das chapas, feito de modo a seccionar os corpos de prova necessários para os ensaios.

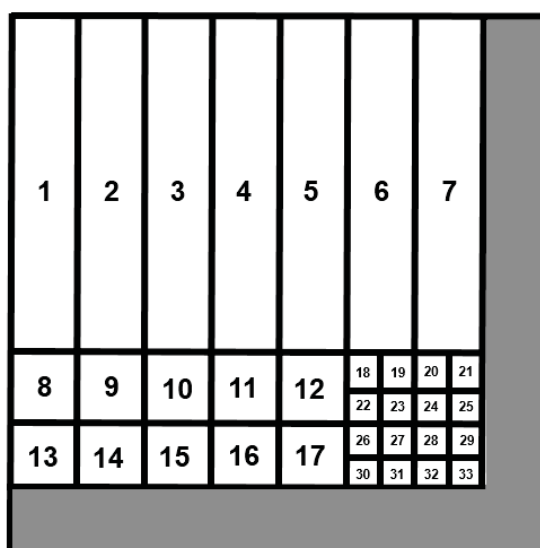


Figura 17 - Esquema de corte das chapas para obtenção dos corpos de prova.

### **a. Ensaio de densidade**

Foram utilizadas amostras de 50 mm x 50 mm como especificado na norma ABNT NBR 14.810/2006 para as duas situações de pressão empregadas. Com o auxílio da balança semi-analítica, foram obtidos os pesos das amostras e com o paquímetro digital foram medidos o comprimento, a largura e a espessura, sempre em conformidade com a norma ABNT NBR 14.810/2006.

A densidade foi calculada de acordo com a norma ABNT NBR 14.810/2006, através da Equação (1):

$$D = \frac{M}{V} \times 1000 \quad (1)$$

Onde:

D = Densidade do corpo de prova em g/cm<sup>3</sup>;

M = Massa do corpo-de-prova em g;

V = Volume do corpo-de-prova em cm<sup>3</sup> e é obtido através da Equação (2).

$$V = C \times L \times E \quad (2)$$

Onde:

V = Volume do corpo de prova (cm<sup>3</sup>);

C = Comprimento do corpo de prova (cm);

L = Largura do corpo de prova (cm).

### **b. Ensaio de inchamento em espessura e absorção em água**

Para os testes de inchamento em espessura e absorção de água foram utilizados corpos de prova com dimensões de 25 mm x 25 mm, determinou-se a espessura do centro de cada amostra com o auxílio de um micrômetro para o teste de inchamento, e massa das amostras através de uma balança semi-analítica para o teste de absorção.

Os corpos de prova foram submersos por 24 h ± 3 min em um recipiente com água destilada a 20 °C (Figura 18), após este período retirou-se as amostras do

recipiente e removeu-se o excesso de água com papel absorvente. Mediu-se novamente a espessura do centro e a massa.



Figura 18 – Corpos de prova submersos após 24 h ± 3 min para determinação do inchamento e absorção de água.

Para o cálculo de inchamento na espessura dos corpos de prova, utilizou-se a Equação (3):

$$I = \frac{E_1 - E_0}{E_0} \times 100 \quad (3)$$

Onde:

I = inchamento em espessura do corpo de prova (%);

$E_1$  = espessura do corpo de prova após o período de imersão (mm);

$E_0$  = espessura do corpo de prova antes da imersão (mm).

Para o cálculo de absorção de água, utilizou-se a seguinte equação (4):

$$A = \frac{M_1 - M_0}{M_0} \times 100 \quad (4)$$

Onde:

A = absorção de água do corpo de prova (%);

$M_1$  = massa do corpo de prova após imersão (g);

$M_0$  = massa do corpo de prova antes da imersão (g).

### c. Teor de umidade da chapa

Na realização do teste de teor de umidade da chapa utilizou-se amostras com dimensões de 50 mm x 50 mm. Primeiramente pesou-se estas amostras em balança semi-analítica para obtenção da massa úmida, em seguida, estas foram levadas a uma estufa mantida a  $103 \pm 3$  °C até obter uma massa constante, após as amostras serem retiradas da estufa foram levadas ao dessecador para que esfriassem e, então, foram pesadas novamente para a obtenção da massa seca.

Para a determinação do teor de umidade utilizou-se a Equação (5):

$$T_U = \frac{M_U - M_S}{M_S} \times 100 \quad (5)$$

Onde:

TU = umidade residual do corpo de prova (%);

MU = massa úmida do corpo de prova (g);

MU = massa seca do corpo de prova (g).

### d. Ensaio de tração perpendicular (adesão interna)

Para a realização do ensaio foram confeccionados corpos de prova com seção transversal de 50 mm x 50 mm, para este teste utilizou-se os mesmos corpos de prova utilizados no teste de teor de umidade. Mediu-se as dimensões das amostras com um paquímetro digital com precisão de 0,01 mm. Os corpos de prova foram colados entre duas sapatas, com dimensões de 75 mm x 60 mm (Figura 19), com a utilização de um adesivo epóxi instantâneo de uso geral da marca Leo Madeiras. As amostras foram pressionadas com um sargento por 24 horas e, então, foram acomodados em um ambiente climatizado com temperatura de 25°C, por pelo menos 72 horas.



Figura 19 - corpos-de-prova ensaio adesão interna.

Após a climatização, acoplou-se o conjunto no dispositivo de tração na Máquina Universal de Ensaios da marca EMIC com capacidade de carga de 30 toneladas (Figura 20), e, segundo especificação da norma ABNT NBR 14.810/2006, regulou-se a velocidade de carregamento para 4 mm/min.

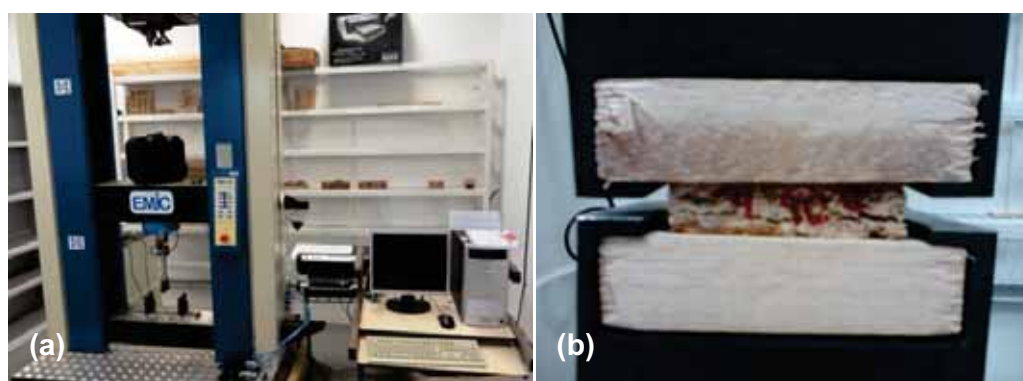


Figura 20 – (a) Máquina universal de ensaios EMIC; (b) Corpo de prova acoplado a máquina universal de ensaios.

A Equação (6) refere-se ao cálculo da resistência a tração perpendicular.

—

Onde:

TP = Resistência à tração perpendicular (MPa);

C = Comprimento do corpo de prova (mm);

L = Largura do corpo de prova (mm).



### e. Ensaio de flexão estática para determinação de MOE e MOR

Para a realização do teste de flexão estática foram utilizados corpos de prova de 250 mm x 50 mm no ensaio de flexão estática para a determinação do MOR e MOE (Figura 21), atendendo especificação normativa.



Figura 21 – Corpo de prova ensaio flexão estática acondicionados.

Colocou-se os extremos do corpo de prova sobre os dois apoios da máquina universal de ensaios (Figura 22), sendo que o comprimento do vão deve ter 10 vezes a dimensão da espessura e que seja no mínimo 200 mm, de modo que o dispositivo para aplicar a carga coincida com o centro do corpo de prova. Previamente à colocação dos corpos-de-prova, mediu-se suas dimensões, com um paquímetro digital com resolução de 0,1 mm.



Figura 22 - Ensaio do corpo de prova de flexão estática.



A velocidade de avanço de carregamento foi de 6 mm/min conforme especificado na norma ABNT NBR 14.810/2006 para espessuras entre 6 e 12 mm.

Calculou-se a resistência à flexão do corpo de prova através da seguinte Equação (7):

$$\text{MOR} = \frac{1,5 \times P \times D}{L \times E^2} \quad (7)$$

Onde:

MOR = Módulo de ruptura (MPa);

P = Carga de ruptura lida no indicador de cargas (N);

D = Distância entre apoios do aparelho (mm);

L = Largura do corpo de prova (mm);

E = Espessura média tomada em três pontos do corpo-de-prova (mm).

Para calcular o módulo de elasticidade do corpo de prova utilizou-se a equação (8):

$$\text{MOE} = \frac{P_1 \times D^3}{d \times 4 \times L \times E^3} \quad (8)$$

Onde:

MOE = módulo de elasticidade (MPa);

P1= carga no limite proporcional lida no indicador de cargas (N);

D = distância entre os apoios do aparelho (mm);

d= deflexão, em milímetros, correspondente à carga P1;

L = largura do corpo de prova (mm);

E = espessura média tomada em três pontos do corpo de prova (mm).

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A seguir estão apresentados os resultados obtidos nos ensaios para a caracterização física e mecânica dos painéis de partículas, juntamente com as comparações realizadas entre os resultados deste trabalho e os encontrados na literatura e nas especificações normativas.

### 5.1 Ensaio de densidade

A Figura 23 apresenta um comparativo do resultado encontrado neste estudo com os valores referenciais da norma brasileira NBR 14.810-2 (2006), na Tabela 2 encontram-se os resultados médios obtidos no ensaio para determinar a densidade aparente para as duas situações estudadas.

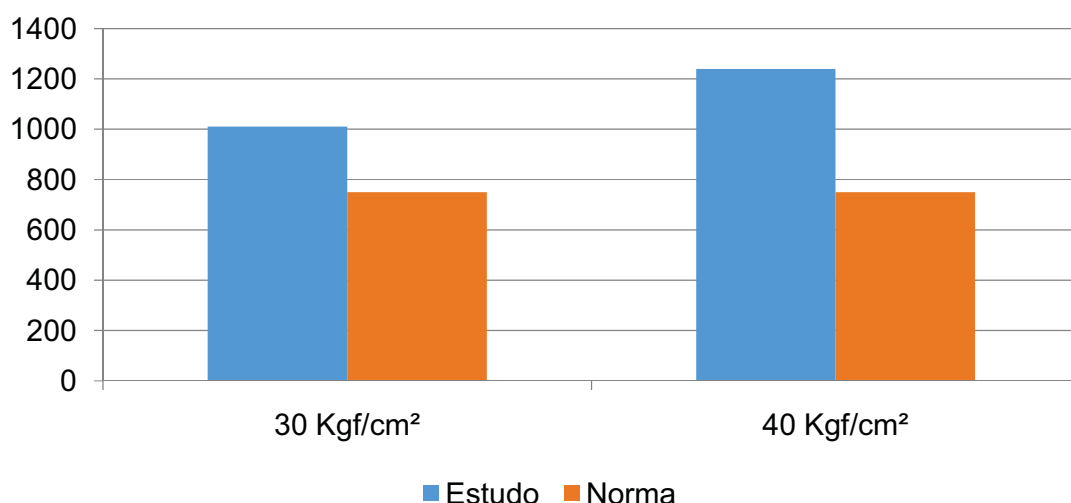


Figura 23 - Gráfico comparativo: resultados encontrados no estudo X valores normativos.

Tabela 2 - Valores médios de densidade aparente para as duas situações.

|                      |               | Situação 1 | Situação 2 |
|----------------------|---------------|------------|------------|
| N° DE AMOSTRAS       |               | 9          | 9          |
| DENSIDADE<br>(Kg/m³) | MÉDIA         | 1010,33    | 1240,00    |
|                      | DESVIO PADRÃO | 400,98     | 526,96     |

Os valores de densidade obtidos para as duas situações mostraram que os painéis são de alta densidade. Os painéis são classificados como sendo de alta densidade de acordo com a ABNT NBR 14.810-2/2006, pois a mesma classifica painéis de média densidade como sendo de 551 kg/m<sup>3</sup> a 750 kg/m<sup>3</sup>, e como os painéis aqui produzidos apresentaram densidades superiores a 1000 kg/m<sup>3</sup>. Pôde-se concluir ainda que a elevação da pressão proporcionou maior compactação do colchão o que refletiu no aumento da densidade do painel, pois a maior pressão aplicada reduziu os vazios existentes no colchão de partículas.

Segundo Cai et al. (2004) a densidade é o fator que mais influenciou as propriedades mecânicas dos painéis de partículas produzidos em seu estudo. O seu aumento ocasionou melhores resultados do MOR e do MOE quanto da adesão interna. Desta forma, os painéis com menor densidade apresentariam menores valores nestas propriedades. Portanto, neste estudo a densidade dos painéis acabou influenciando nos resultados obtidos. E com a redução da pressão aplicada diminuiu-se também a densidade do painel.

## **5.2 Ensaio de inchamento em espessura**

A Figura 24 apresenta um comparativo do resultado encontrado neste estudo com os valores encontrados na literatura, na Tabela 3 encontram-se os resultados médios obtidos no ensaio para a determinação do inchamento em espessura após 24 horas para as duas situações analisadas com variação de pressão de prensagem.

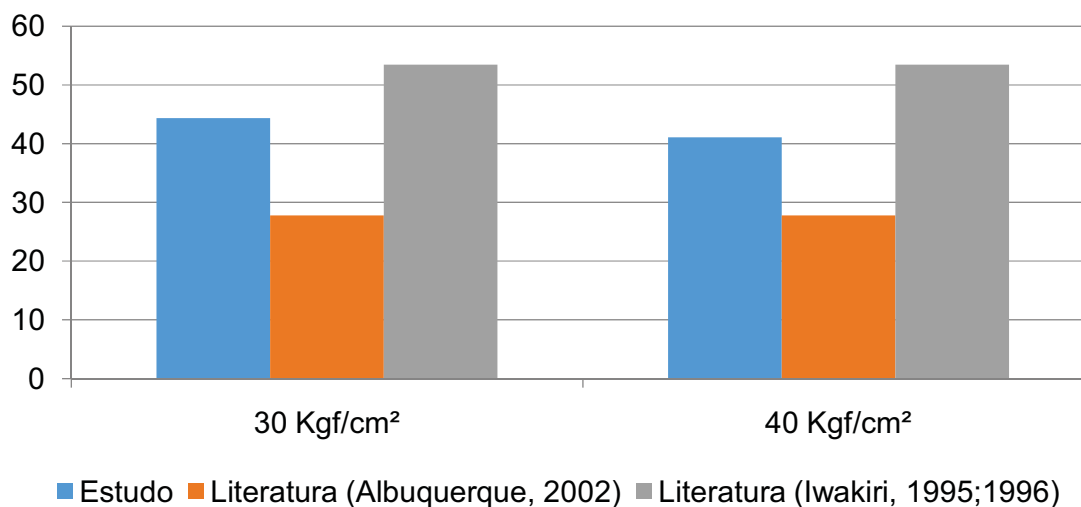


Figura 24 - Gráfico comparativo: resultados encontrados no estudo X valores encontrados na literatura.

Tabela 3 - Valores médios de inchaço em espessura para as duas situações.

|                |               | Situação 1 | Situação 2 |
|----------------|---------------|------------|------------|
| N° DE AMOSTRAS |               | 30         | 30         |
| INCHAMENTO (%) | MÉDIA         | 44,34      | 41,04      |
|                | DESVIO PADRÃO | 5,81       | 5,66       |

Pode-se concluir que o aumento de pressão proporcionou diminuição do inchaço do painel. Isto era esperado porque maior pressão aplicada reflete em menores vazios, como mencionado anteriormente.

Os valores obtidos para inchaço 24 horas no presente estudo foram bastante elevados e podem ser justificados pela parafina utilizada que ainda encontra-se em fase de teste, e, portanto, conclui-se a partir dos resultados obtidos que não desempenhou o papel desejado.

A norma brasileira NBR 14.810-2 (2006) apresenta apenas valores referenciais para inchaço após imersão de 2 horas e para a espessura do painel estudado este documento indica inchaço máximo de 8%. A norma brasileira não prevê valores referenciais para inchaço após imersão por 24 horas, entretanto, sugere tal teste.

Albuquerque (2002) chegou em valores de inchamento em espessura após 2 horas entre 10,59 e 24,44% quando realizou mudanças no ciclo de prensagem. Após imersão por 24 horas o mesmo autor obteve valores que variaram de 11,92 a 27,79%.

Paes et al. (2011) obtiveram valores de inchamento em 2 horas variando 9,71 e 8,19% para painéis particulados de pinus prensados com pressão de 20 e 30 kgf/cm<sup>2</sup>, respectivamente. E os mesmos autores obtiveram inchamento entre 16,91 e 15,51% para as pressões de 20 e 30 Kgf/cm<sup>2</sup>, respectivamente.

Iwakiri et al. (1995) e (1996) encontrou valores de inchamento em espessura após 24 horas de imersão em água na faixa de 23,87 a 53,41% para painéis de madeira aglomerada produzidos com as espécies de *Pinus elliottii*, *Mimosa scabrella* e *Eucalyptus dunnii*.

### 5.3 Ensaio de absorção de água

A Figura 25 apresenta um comparativo do resultado encontrado neste estudo com os valores encontrados na literatura, na Tabela 4 encontram-se os resultados médios obtidos no ensaio para a determinação absorção de água após imersão por 24 horas para as duas situações analisadas.

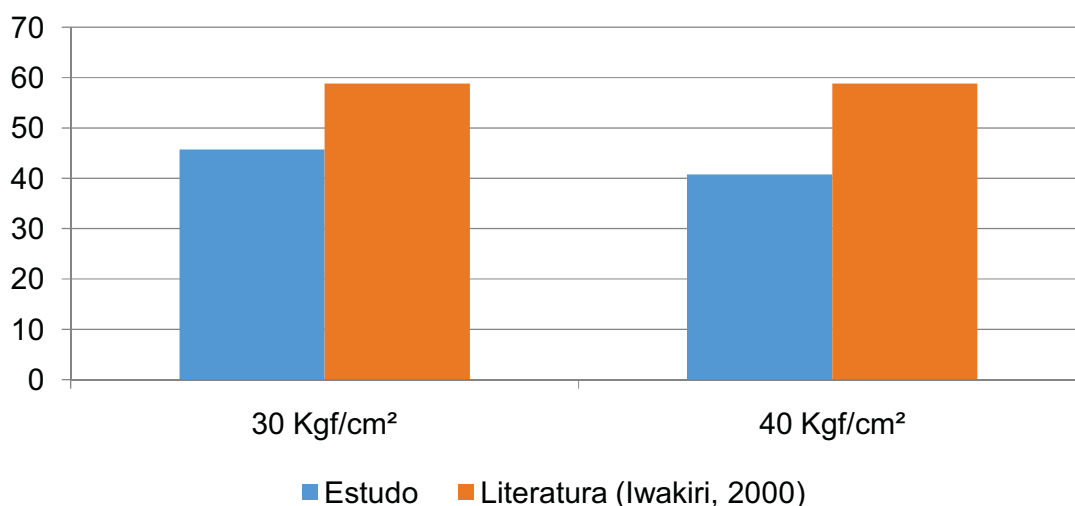


Figura 25 - Gráfico comparativo: resultados encontrados no estudo X valores encontrados na literatura.

Tabela 4 - Valores médios de absorção de água para as duas situações.

|                       |                      | Situação 1 | Situação 2 |
|-----------------------|----------------------|------------|------------|
| <b>N° DE AMOSTRAS</b> |                      | 30         | 30         |
| <b>ABSORÇÃO (%)</b>   | <b>MÉDIA</b>         | 45,75      | 40,76      |
|                       | <b>DESVIO PADRÃO</b> | 3,92       | 8,61       |

Pode-se concluir que o aumento de pressão proporcionou diminuição da absorção de água do painel, do mesmo modo que ocorreu para o inchamento em espessura. Isto era esperado porque maior pressão aplicada reflete em menores vazios, como mencionado anteriormente. No entanto, os valores obtidos são muito superiores aos valores comerciais e isto novamente pode ser justificado pela emulsão parafínica utilizada que ainda encontra-se em fase de teste pela empresa Isogama que pode ter influenciado de forma negativa na interação dos painéis com a água.

A absorção de água também é influenciada pela quantidade de vazios, quanto maior for a quantidade de vazios, mais espaço haverá para o alojamento da água dentro do painel, portanto, maior será a absorção da água. Com menor pressão aplicada mais vazios existem no painel e assim ocorre uma maior absorção de água pelos corpos de prova, o que também foi comprovado por Moslemi (1974).

Iwakiri et al. (2000) encontrou resultados para o teste de absorção de água após 24 horas de submersão em água na faixa de 37,37 a 58,80% para painéis de *Eucalyptus maculata*, *E. grandis* e *E. tereticomis* prensados a 40 Kgf/cm<sup>2</sup>.

#### 5.4 Ensaio de teor de umidade da chapa

A Figura 26 apresenta um comparativo do resultado encontrado neste estudo com os valores referenciais máximos e mínimos de teor de umidade encontrados na norma brasileira NBR 14.810-2 (2006), na Tabela 3 encontram-se os resultados médios obtidos no ensaio para a determinação do teor de umidade das chapas para as duas situações estudadas.

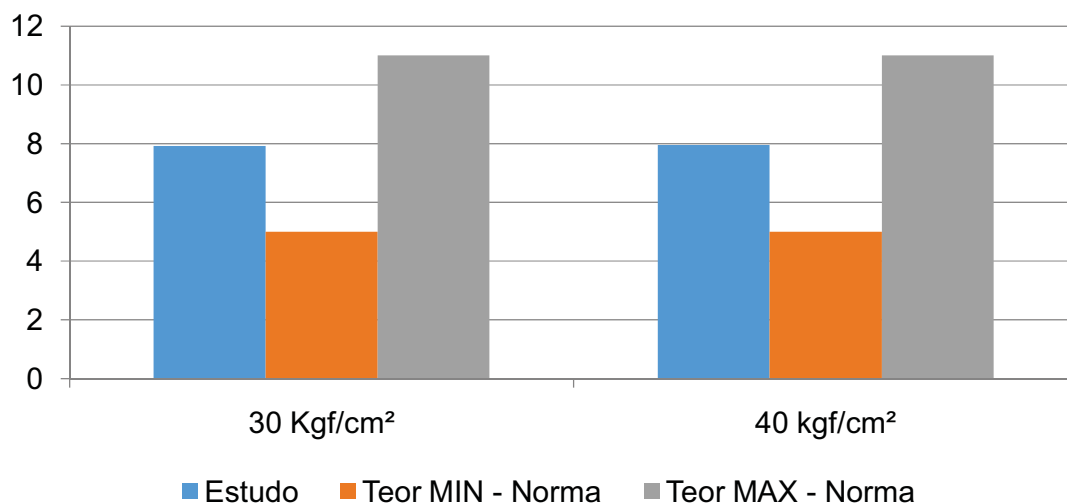


Figura 26 - Gráfico comparativo: resultados encontrados no estudo X valores mínimos e máximos normativos.

Tabela 5 – Valores médios do teor de umidade para as duas situações.

|                            |                      | Situação 1 | Situação 2 |
|----------------------------|----------------------|------------|------------|
| <b>Nº DE AMOSTRAS</b>      |                      | 9          | 9          |
| <b>TEOR DE UMIDADE (%)</b> | <b>MÉDIA</b>         | 7,92       | 7,96       |
|                            | <b>DESVIO PADRÃO</b> | 0,65       | 2,52       |

Para os dois tratamentos estudados pode-se observar que o teor de umidade dos painéis apresentaram valores próximos. O teor de umidade encontra-se dentro dos valores encontrados na literatura. Iwakiri (2002) obteve valores de teor de umidade variando entre 7 e 11% para painéis particulados de eucalipto.

A norma brasileira NBR 14.810-2 (2006) apresenta valores referenciais para o ensaio de teor de umidade do painel, onde este deve se apresentar na faixa de 5 a 11%.

O teor de umidade do painel é afetado principalmente pelo teor de umidade inicial das partículas, e como a umidade das partículas para as duas situações eram de aproximadamente 3% tanto para os dois tratamentos, isso ocasionou baixo teor de umidade final dos painéis e homogeneidade de teores de umidade entre os dois tratamentos.

### 5.5 Ensaio de tração perpendicular (adesão interna)

A Figura 27 apresenta um comparativo do resultado encontrado neste estudo com os valores referenciais da norma brasileira NBR 14.810-2 (2006), na Tabela 6 encontram-se os resultados médios obtidos no ensaio para a determinação tração perpendicular das chapas para as duas situações estudadas.

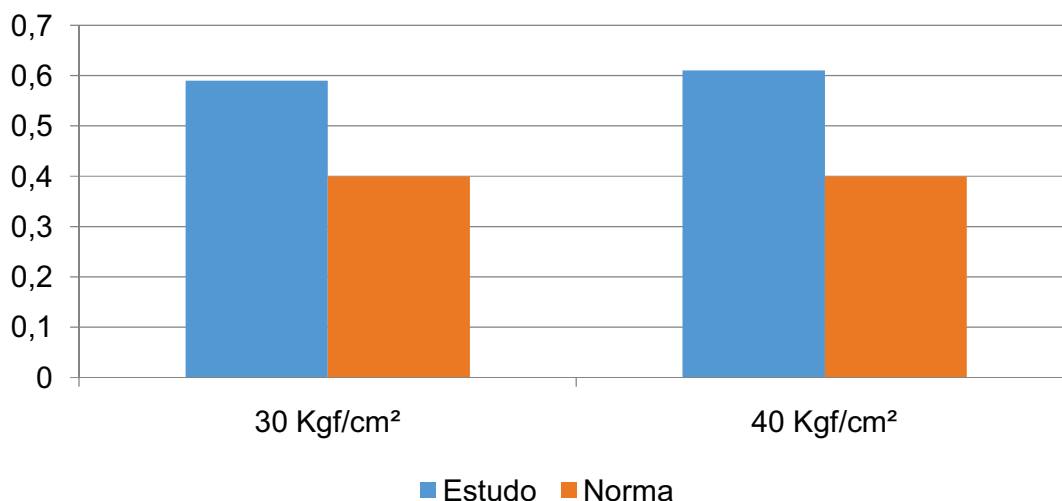


Figura 27 - Gráfico comparativo: resultados encontrados no estudo X valores normativos.

Tabela 6 - Valores médios de tração perpendicular para as duas situações.

|                                 |                      | Situação 1 | Situação 2 |
|---------------------------------|----------------------|------------|------------|
| <b>N° DE AMOSTRAS</b>           |                      | 9          | 9          |
| <b>ADESÃO INTERNA<br/>(MPa)</b> | <b>MÉDIA</b>         | 0,59       | 0,61       |
|                                 | <b>DESVIO PADRÃO</b> | 0,17       | 0,08       |

A norma brasileira NBR 14.810-2 (2006) apresenta valores referenciais mínimos para tração perpendicular de painéis com espessura de 8 a 13 mm de 0,4 MPa. Os resultados obtidos tanto para a Situação 1 como a Situação 2 atenderam a especificação mínima indicada pela norma brasileira.

Paes et al. (2011) obtiveram valores maiores com o aumento da pressão de prensagem como verificado no presente estudo. Maiores pressões tornam o painel



mais denso, com menos vazios e melhor compactação do colchão resultando em maior resistência na região interna do painel.

## 5.6 Ensaio de flexão estática

As Figuras 28 e 29 apresentam um comparativo do resultado encontrado neste estudo com os valores encontrados na literatura e na norma brasileira NBR 14.810-2 (2006), nas Tabelas 7 e 8 encontram-se os resultados médios obtidos no ensaio de flexão estática para a determinação do módulo de elasticidade (MOE) e módulo de ruptura (MOR), respectivamente, das chapas para as duas situações estudadas.

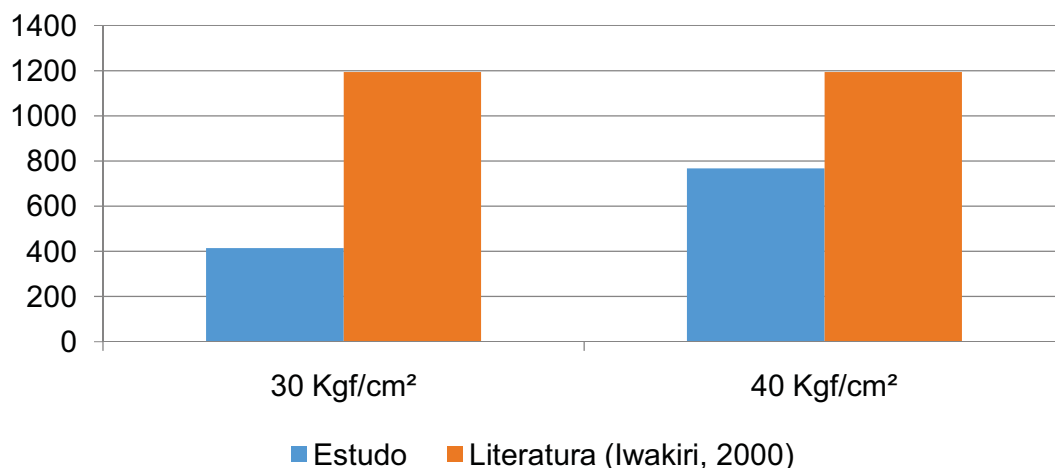


Figura 28 - Gráfico comparativo: resultados encontrados no estudo X valores na literatura.

Tabela 7 - Valores médios de MOE para as duas situações.

|                |               | Situação 1 | Situação 2 |
|----------------|---------------|------------|------------|
| N° DE AMOSTRAS |               | 13         | 13         |
| MOE (MPa)      | MÉDIA         | 413,73     | 768,05     |
|                | DESVIO PADRÃO | 103,03     | 161,20     |

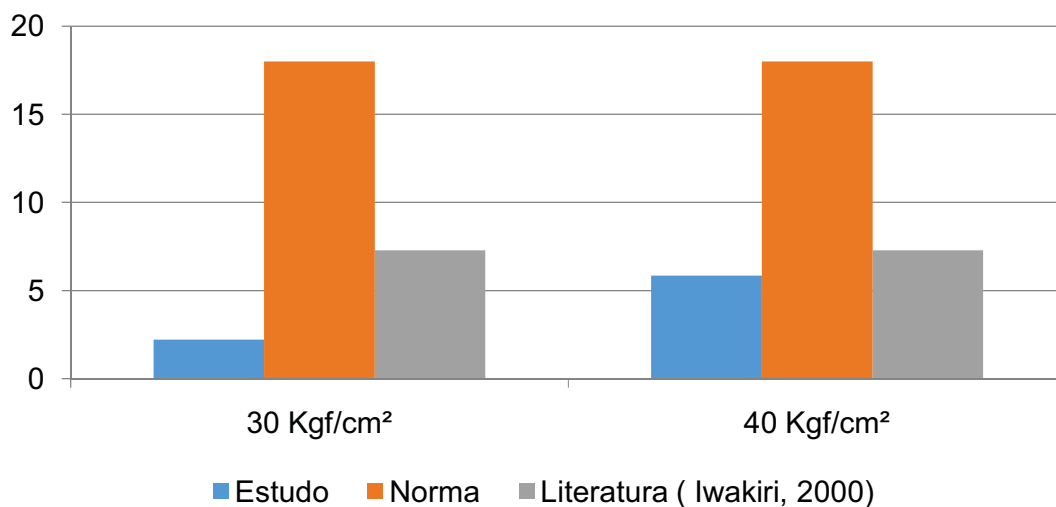


Figura 29 - Gráfico comparativo: resultados encontrados no estudo X valores normativos X valores encontrados na literatura.

Tabela 8 - Valores médios de MOR para as duas situações.

|                  |                       | Situação 1 | Situação 2 |
|------------------|-----------------------|------------|------------|
|                  | <b>Nº DE AMOSTRAS</b> | 13         | 13         |
| <b>MOR (MPa)</b> | <b>MÉDIA</b>          | 2,21       | 5,85       |
|                  | <b>DESVIO PADRÃO</b>  | 0,54       | 0,95       |

A norma brasileira NBR 14.810-2 (2006) apresenta valores referenciais mínimos para flexão estática de painéis com espessura de 8 a 13 mm de 18 MPa para MOR e não especifica valor mínimo para MOE.

Iwakiri et al. (2000) apresentaram valores médios de MOR e MOE em flexão estática na faixa de 7,27 a 16,02 MPa e 1194,35 a 2260,99 MPa respectivamente, valor acima do obtido neste estudo.

Segundo um estudo realizado por Haselein et al. (2002) no qual se estudou a resistência mecânica e a umidade de painéis particulados de madeira com diferentes tamanhos de partículas, constatou-se que as propriedades de flexão relativas ao MOE e MOR das chapas foram diretamente proporcionais ao comprimento das partículas e inversamente proporcionais a sua espessura das partículas. Desta forma, a adição de partículas espessas que resultam em menor razão de esbeltez

promove a diminuição destas propriedades devido à sua geometria, menor comprimento e maior espessura.

Deste modo o baixo valor apresentado pode ser explicado pela geometria das partículas, menores do que as utilizadas industrialmente, apresentando uma razão de esbeltez no valor de 11,53 e 16,72 para as partículas de 10 e 20 *mesh* respectivamente, valor bem inferior ao indicado na literatura ou mesmo das partículas utilizadas industrialmente que encontram-se em torno de 45 a 50 bem próximo dos valores referenciais indicados na literatura. Não foi possível determinar a razão de esbeltez das partículas da camada externa devido suas dimensões mínimas, estes valores encontrados podem ser justificados pelo tipo de resíduos utilizados que não permitiram o processamento das partículas adequadamente para a produção dos painéis.

Iwakiri (2005) indica como valores ideais de razão de esbeltez para as partículas da camada interna deve estar em torno de 60 e, para partículas da camada externa próximos a 80.

## 6. CONCLUSÃO

Através deste estudo pode-se concluir que ao aumentar a pressão as propriedades físicas e mecânicas do painel são melhoradas. Conclui-se também que o aumento da pressão diminui os espaços vazios do painel, o que, dificulta a entrada de água, fazendo que o inchamento e absorção de água diminuam, aumenta a área superficial de contato entre as partículas, fazendo com que haja uma melhor interação entre as partículas, melhorando assim suas propriedades mecânicas.

Pode-se concluir ainda que os resultados obtidos nos testes físicos e mecânicos foram em geral inferiores aos valores normativos ou mesmo encontrados na literatura e podem ser justificados pela geometria das partículas utilizadas não atenderem a razão de esbeltez (razão entre o comprimento e a espessura) adequada para garantir melhores propriedades aos painéis.

Entende-se que a geometria não adequada pode ser justificada pelo fato do trabalho trabalhar com resíduos de madeira que muitas vezes não permitem um processamento na etapa de moagem das partículas e, assim, interferem diretamente no desempenho do painel.

Sugere-se a realização de novos estudos fixando as variáveis já estudadas na presente pesquisa e ajuste inicialmente a geometria das partículas, tornando-as mais próximas a geometria utilizada industrialmente e assim seja possível verificar se ocorre melhora no desempenho físico-mecânico dos painéis em situação de variação da pressão de prensagem.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

A INDÚSTRIA brasileira de painéis de madeira. **REMADE: Revista da Madeira**, n. 71, maio 2003. Disponível em: <[http://www.remade.com.br/br/revistadamadeira\\_materia.php?num=331&subject=Mercado&title=A%20ind%FAstria%20brasileira%20de%20pain%E9is%20de%20madeira](http://www.remade.com.br/br/revistadamadeira_materia.php?num=331&subject=Mercado&title=A%20ind%FAstria%20brasileira%20de%20pain%E9is%20de%20madeira)>. Acesso em: 30 out. 2013.

ABIPA. **Números**. 2013. Disponível em: <<http://www.abipa.org.br/numeros.php>>. Acesso em: 01 dez. 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE PAINÉIS DE MADEIRA. Nossas unidades industriais. Disponível em: < <http://www.abipa.org.br/industrias.php>>. Acesso em: 12 fev. 2013.

BARROS FILHO, R. M. **Painéis aglomerados a base de bagaço de cana-de-açúcar e resinas uréia formaldeído e melamina formaldeído**. 2009. 116 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Materiais, Área de concentração análise e seleção de materiais) Universidade Federal Ouro Preto, Minas Gerais, 2009

BIAZUS, André; HORA, André Barros da; LEITE, Bruno Gomes Pereira. Panorama de mercado: painéis de madeira. **BNDS**, n. 32, p.49-90, set. 2010. Disponível em: <[http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/export/sites/default/bndes\\_pt/Galerias/Arquivos/conhecimento/bnset/set32102.pdf](http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/export/sites/default/bndes_pt/Galerias/Arquivos/conhecimento/bnset/set32102.pdf)>. Acesso em: 29 out. 2013.

BIAZUS, André; HORA, André Barros da; LEITE, Bruno Gomes Pereira. Painéis de Madeira MDP e MDF – Mercado e Competitividade. **REMADE: Revista da Madeira**, n. 136, jul. 2013. Disponível em: <[http://www.remade.com.br/br/revistadamadeira\\_materia.php?num=1683&subject=Pain%E9is&title=Pain%E9is%20de%20Madeira%20MDP%20e%20MDF%20%96%20Mercado%20e%20Competitividade#>](http://www.remade.com.br/br/revistadamadeira_materia.php?num=1683&subject=Pain%E9is&title=Pain%E9is%20de%20Madeira%20MDP%20e%20MDF%20%96%20Mercado%20e%20Competitividade#>)>. Acesso em: 30 out. 2013.

Eucatex S.A. Indústria e Comércio. <http://www.eucatex.com.br>, Acesso em 10 jul. 2006.

EVOLUÇÃO na produção de painéis. **REMADE: Revista da Madeira**, n. 67, out. 2002. Disponível em:

<[http://www.remade.com.br/br/revistadamadeira\\_materia.php?num=240&subject=Pa in%E9is&title=Evolu%E7%E3o%20na%20produ%E7%E3o%20de%20pain%E9is](http://www.remade.com.br/br/revistadamadeira_materia.php?num=240&subject=Pa in%E9is&title=Evolu%E7%E3o%20na%20produ%E7%E3o%20de%20pain%E9is)>. Acesso em: 29 out. 2013.

FRIHART, C. R.; HUNT, C. G. Adhesives with Wood Materials: Bond Formation and Performance. In: FOREST PRODUCTS LABORATORY. **Wood Handbook: wood as an engineering material**. Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory, 2010. Cap. 10.

GONÇALVES, M. T. T. **Processamento da madeira**. Bauru: Document Center Xerox – USC, 2000. 242 p.

IRLE, M. A.; BARBU, M. C.; REH, R.; BERGLAND, L.; ROWELL, R. M. Wood Composites. In: ROWELL, R. M. **Handbook of wood chemistry and wood composites**. Boca Raton: CRC Press, 2012. Cap. 10.

IWAKIRI, Setsuo et al. RESÍDUOS DE SERRARIAS NA PRODUÇÃO DE PAINÉIS DE MADEIRA AGLOMERADA DE EUCALIPTO. **Scientia Agraria**, [s.i], v. 1, n. 1-2, p.23-28, 2000. Editora UFPR. Disponível em: <<http://ojs.c3sl.ufpr.br/ojs/index.php/agraria/article/viewFile/963/789>>. Acesso em: 05 nov. 2013.

IWAKIRI, Setsuo. **Painéis de madeira reconstituída**. Curitiba: Fupef - Fundação de Pesquisas Florestais do Paraná, 2005. 254 p.

IWAKIRI, S.; LATORRACA, J.V.F.; SILVA, D.A.; GABARDO, J.L.; KLITZKE, R.J.; FOFANO JUNIOR, A.; FABROWSKI, F.; INTERAMENSE, M.T. Produção de chapas de partículas de madeira aglomerada de *Pinus elliottii* (Engelm) e *Eucalyptus dunnii* (Maid). **Revista do Setor de Ciências Agrárias**, Curitiba, v.15, n.1, p.33-41, 1996.

IWAKIRI, Setsuo; SALDANHA, Leopoldo Karman. Painéis. **REMADE: Revista da Madeira**, n. 68, dez. 2002. Disponível em: <[http://www.remade.com.br/br/revistadamadeira\\_materia.php?num=268&subject=Pa inéis&title=Painéis](http://www.remade.com.br/br/revistadamadeira_materia.php?num=268&subject=Pa inéis&title=Painéis)>. Acesso em: 30 out. 2013.

IWAKIRI, S.; KLOCK, U.; ROCHA, M.P.; SEVERO, E.T.D.; RINCOSKI, C.R.; BORTOLETTO JUNIOR, G.; PIO, N.S. Mistura de espécies na produção de chapas

de partículas estruturais “waferboard”. **Revista do Setor de Ciências Agrárias**, Curitiba, v.14, n.1-2, p.107-114, 1995.

MACHADO, J. S. **Placas de derivados de madeira**: tipos de placas e sua especificação. Lisboa: LNEC Divisão de edições e Artes Gráficas, 2005.

MATOS, J. L. M. **Ciclo de prensa em chapas de partículas estruturais “Waferboards”**. 1988. 163 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais)—Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1988.

MENDES, Rafael Farinassi; MENDES, Lourival Marin; ALMEIDA, Natalie Ferreira de. Produção de painéis aglomerados de bagaço de cana. **REMADE: Revista da Madeira**, n. 127, mar. 2011. Disponível em: <[http://www.remade.com.br/br/revistadamadeira\\_materia.php?num=1529&subject=E%20mais&title=Produ%E7%E3o%20de%20pain%E9is%20aglomerados%20de%20baga%E7o%20de%20cana](http://www.remade.com.br/br/revistadamadeira_materia.php?num=1529&subject=E%20mais&title=Produ%E7%E3o%20de%20pain%E9is%20aglomerados%20de%20baga%E7o%20de%20cana)>. Acesso em: 28 out. 2013.

MOSLEMI, A. A. **Particleboard**. Carbondale: Southern Illinois University Press, 1974. V. 2, 245p.

STARK, N. M.; CAI, Z.; CARLL, C. Wood-Based Composite Materials: Panel Products, Glued-Laminated Timber, Structural Composite Lumber, and Wood–Nonwood Composite Materials. In: FOREST PRODUCTS LABORATORY. **Wood Handbook**: wood as an engineering material. Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory, 2010. Cap. 11.