



Universidade de Brasília

Faculdade de Tecnologia

Departamento de Engenharia Florestal

## **Produção e Propriedades de Compósitos Madeira-Plástico Utilizando Resíduos Minimamente Processados.**

Aluna: Vanessa Pozzi Zoch 08/42222

Brasília, fevereiro de 2013.



**Universidade de Brasília**

**Faculdade de Tecnologia**

**Departamento de Engenharia Florestal**

## **Produção e Propriedades de Compósitos Madeira-Plástico Utilizando Resíduos Minimamente Processados.**

**Orientador: Cláudio Henrique Soares Del Menezzi**

Projeto de pesquisa a ser apresentado ao Departamento de engenharia florestal da Universidade de Brasília como parte das exigências para obtenção do título de Engenheiro Florestal.

**Aluna: Vanessa Pozzi Zoch 08/42222**

**Brasília, Fevereiro de 2013.**

**Universidade de Brasília**

**Faculdade de Tecnologia**

**Departamento de Engenharia Florestal**

**Produção e Propriedades de Compósitos Madeira-Plástico Utilizando  
Resíduos Minimamente Processados.**

Aluna: Vanessa Pozzi Zoch, matrícula: 08/42222

Menção: \_\_\_\_\_

Aprovada por:

\_\_\_\_\_  
Divino Eterno Teixeira, PhD.

Membro da banca

\_\_\_\_\_  
Sandra Maria da Luz, Pós PhD.

Membro da banca

\_\_\_\_\_  
Cláudio Henrique Soares Del Menezzi, DR.

Orientador

**Brasília, Fevereiro de 2013.**

## Resumo

### **Produção e Propriedades de Compósitos Madeira-Plástico Utilizando Resíduos Minimamente Processados.**

O objetivo desse trabalho foi avaliar a possibilidade de se produzir compósitos madeira-plástico (CMP) utilizando materiais de baixo nível de processamento e testar suas propriedades mecânicas para avaliar se é um produto com qualidades capazes de competir no mercado de painéis de madeira convencionais. O material utilizado foi madeira provida de resíduos de marcenaria na forma de maravalha e termoplástico reciclado já processado em grânulos. As chapas de CMP foram produzidas nas dimensões 30 cm de comprimento x 30 cm de largura x 1,2 cm de espessura e com diferentes proporções de maravalha (30%, 40% e 50% em massa), e polipropileno (PP colorido e PP branco), totalizando seis tratamentos. Os painéis foram confeccionados pelo método de prensagem a quente. A produção foi feita utilizando prensa hidráulica, com controle de temperatura e pressão. A temperatura de prensagem foi de 200°C, a pressão específica foi de 6 MPa e o tempo total de prensagem foi de 25 minutos. As propriedades físicas e mecânicas foram interpretadas com auxílio do teste de média e com o teste de correlação de Pearson. Para as propriedades cuja correlação com a densidade foi alta, foi feita uma análise fatorial de dois fatores, proporção e tipo de polímero, utilizando o teste LSD e considerando a densidade como um cofator. A variação na proporção de madeira influenciou diretamente nas propriedades físicas e mecânicas, sendo a proporção 50% madeira em massa a que apresentou os melhores resultados para todos os testes mecânicos. Os diferentes PP testados não apresentaram diferenças aparentes entre si. Observou-se a forte correlação entre a densidade e as propriedades mecânicas e inchamento em espessura após 24h.

Palavras-chave: compósitos madeira-plástico, propriedades físico-mecânicas.

## Summary

### **Production and Properties of Wood-Plastic Composites Using Minimally Processed Residues.**

The aim of this study was to evaluate the feasibility of producing wood-plastic composite (WPC) materials using low-level processing technology and test their mechanical properties to evaluate whether it is a product with competitive qualities that can be introduced in the market for conventional wood panels. The material used was a residual wood from woodworking as wood shavings and recycled thermoplastic already processed into granules. WPC boards were produced in dimensions 30 cm length x 30 cm width x 1.2 cm thickness and with different proportions of wood (30%, 40% and 50%), and polypropylene (color and white) in six different ways of treatments. The boards were manufactured using a hot pressing method a hydraulic press with controlled temperature and pressure. The pressing temperature was 200 ° C, the specific pressure was 6 MPa for 25 minutes. The physical and mechanical properties were interpreted with an average test and the Pearson correlation test. For properties whose correlation with density was high, a full factorial ANOVA was run with two factors, proportion and type of polymer, using LSD test and considering the density as a co-factor. Furthermore, the variation in the proportion of wood directly affected the physical and mechanical properties; the proportion of 50% wood and 50% PP presented the better results for all mechanical tests. Different PP tested reveals no apparent differences between them. A strong correlation between the density and the mechanical properties can be noted.

Keywords: wood-plastic composites, physical and mechanical properties

## Sumário

<b>1.INTRODUÇÃO.....</b>	<b>1</b>
<b>2.OBJETIVOS .....</b>	<b>2</b>
<b>3.REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>2</b>
3.1 Resíduos Madeireiros: Produção e Reutilização .....	2
3.2 Polímeros: Impacto Ambiental e Reciclagem.....	4
3.3 Caracterização do Polipropileno.....	7
3.5 3.5 Caracterização da Madeira como Material para Produção de CMP.....	8
3.6 Compósitos de Madeira Plástico.....	9
3.6.1 Algumas considerações relativas ao processo de produção dos compósitos madeira plástico.....	10
3.6.2 Alguns resultados obtidos em ensaios mecânicos para compósitos madeira plástico.....	12
<b>4. MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>	<b>15</b>
4.1 Materiais.....	15
4.2 Métodos.....	16
4.2.1 Pré-teste.....	16
4.2.2 Preparação do Material.....	17
4.2.3 Metodologia da Fabricação de Painéis.....	18
4.3 Análise Estatística.....	21
<b>5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>22</b>
5.1 Projeto Piloto.....	22
5.2 Dados médios observados e correlação.....	22
5.3 Efeito dos diferentes tipos de polipropilenos nas propriedades físicas e mecânicas.....	25
5.4 Efeito das diferentes proporções nas propriedades físicas e mecânicas.....	28
5.4.1 Propriedades físicas.....	28
5.4.2 Propriedades mecânicas.....	32
5.5 Análise da metodologia aplicada na produção dos painéis CMP.....	36
<b>6. CONCLUSÃO... ..</b>	<b>38</b>

<b>7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	39
<b>8. APÊNDICE</b> .....	42

## **Lista de Tabelas**

Tabela 1: Composição média de madeiras de coníferas e folhosas.....	8
Tabela 2: Valores médios de resistência à tração perpendicular (kgf), Arrancamento de Parafusos (Kgf) e Dureza Janka (kgf/cm <sup>2</sup> ) em painéis de partículas em função da composição das partículas.....	13
Tabela 3: Valores médios de MOE, Módulo de Ruptura e absorção de água em painéis de partículas em função da composição das partículas.....	13
Tabela 4: Valores encontrados para ensaios de modulo de elasticidade, tração, tensão e inchamento para diferentes combinações de PEAD com farinha de madeira.....	14
Tabela 5: Termoplásticos testados em temperatura de 200°C.....	16
Tabela 6: Diferentes misturas de madeira em formato de maravalha e polipropileno para produção de chapas de compósitos madeira plástico.....	19
Tabela 7: proporções e condições testadas nos testes pilotos.....	22
Tabela 8: resultados obtidos nos testes mecânicos do projeto piloto.....	22
Tabela 9: Valores médios observados para as proporções e seus respectivos coeficientes de variação.....	23
Tabela 10: Valores médios observados para tipo de plástico e seus respectivos coeficientes de variação.....	23
Tabela 11: Resultado obtido para a Correlação de Pearson.....	25
Tabela 12: Modelos de regressão obtidos para os valores médios estimados.....	36

## **Lista de Figuras**

Figura 1: Simbologia utilizada para identificação de embalagens polimérica .....	5
Figura 2: Termoplásticos testados no pré-teste na temperatura de 200°C.....	16
Figura 3: Partículas de termoplástico e madeira após o processo de classificação.....	18
Figura 4: Fotos dos ensaios mecânicos.....	20
Figura 5: Corpos de prova (cp) utilizados nos ensaios mecânicos.....	21

Figura 6: Valores médios observados de densidade aparente em g/cm <sup>3</sup> .....	24
Figura 7: Efeito dos diferentes tipos de polipropileno nas propriedades físicas de absorção de água (aa %) e inchamento em espessura (ie %).....	27
Figura 8: Efeito dos diferentes tipos de polipropileno nas propriedades mecânicas de compressão, dureza janka e flexão estática (Em e Fm).....	28
Figura 9: Valores médios observados para o ensaio de absorção de água após 2h .....	30
Figura 10: Valores médios observados para o ensaio de absorção de água após 24h.....	30
Figura 11: Valores médios observados para o ensaio de inchamento em espessura, após 2h.....	31
Figura 12: Valores médios estimados de inchamento em espessura após 24h (densidade igual a 0,64g/cm <sup>3</sup> ).....	31
Figura 13: Valores médios estimados de Módulo de elasticidade (Em), em MPa (densidade igual a 0,64g/cm <sup>3</sup> ).....	32
Figura 14: Valores médios estimados de módulo de ruptura (Fm), em MPa (densidade igual a 0,64g/cm <sup>3</sup> ).....	33
Figura 15: Resultado das médias estimadas para os valores de compressão na condição úmida, em MPa (densidade igual a 0,64g/cm <sup>3</sup> ).....	34
Figura 16: Resultado das médias estimadas para os valores de compressão na condição seca, em MPa (densidade igual 0,64g/cm <sup>3</sup> ).....	34
Figura 17: Defeitos dos painéis CMP.....	38
Figura 18: Alumínio no painel CMP.....	38

## Apêndice

Tabela 13: Valores obtidos nos testes mecânicos e físicos usados para rodar a estatística descritiva.....	42
Tabela 14: resultado do teste ANOVA para as diferentes proporções.....	43
Tabela 15: resultado do teste ANOVA para os diferentes tipos de plástico.....	44

## 1. INTRODUÇÃO

A produção de novos materiais com reutilização de resíduos é uma nova tendência do mercado que visa ao mesmo tempo obter produtos ecologicamente corretos e reduzir o custo de produção. De acordo com YAMAJI (2004) é cada vez maior o interesse dos pesquisadores e empresários por aproveitamento de resíduos, aplicados às possibilidades de reutilização desses materiais, diminuindo o desperdício e valorizando a matéria-prima.

As indústrias, no setor madeireiro, que reutilizam os resíduos acumulados durante o processo de produção de painéis, por exemplo, tem a vantagem de gerar uma fonte extra de dinheiro revendendo os descartes ou reutilizando-os na produção de novos materiais, o que também reduz os custos.

Os resíduos madeireiros, principalmente o pó e o farelo de madeira que possuem menor densidade, normalmente são transportados da indústria madeireira para áreas rurais, sendo estes utilizados para cobertura de solo ou forragem de cama para criação de animais. No entanto o transporte desse material é um problema, pois, além da baixa densidade, o farelo de madeira seco é um material altamente inflamável e explosivo, tendo vários riscos de incêndio tanto na estocagem como no transporte (YAMAJI, 2004). Sendo assim, se a indústria opta por reutilizar seus resíduos além de evitar riscos de incêndio e gastos com transporte, ela agrega a essa ação inúmeros benefícios, como estes citados acima.

A produção de compósitos madeira-plástico (CMP), utilizando em sua composição plástico reciclado, vem se mostrando uma boa alternativa para a indústria de painéis, pois gera um material que possui qualidades distintas de um painel de madeira convencional e ao mesmo tempo incentiva a reutilização do plástico que é considerado um dos maiores vilões do meio ambiente pois não é biodegradável.

O mercado de CMP de acordo com REZENDE et al. (2009) está voltado para construção civil, indústria automobilística, aplicações estruturais, construção de decks, estruturas expostas externamente entre outros. Sua utilização continua sendo mais expressiva nos Estados Unidos e Europa (REZENDE et al. 2009). No Brasil o emprego desta tecnologia ainda não é muito significativo quando comparada aos painéis convencionais, no entanto é crescente o interesse e o número de pesquisas voltadas para este mercado.

## **2. Objetivos**

O principal objetivo deste trabalho é produzir painéis CMP utilizando materiais de menor grau de processamento, reduzindo os custos de produção e tornando o material um produto de fácil acesso e ecologicamente correto. Visa também testar suas propriedades mecânicas para avaliar se é um produto com qualidades capazes de concorrer no mercado de painéis de madeira convencionais e em que condições o material se destaca de um painel de madeira convencional.

Os objetivos secundários do trabalho são avaliar as diferentes composições dos painéis com resíduos de madeira e polipropileno e verificar qual composição atingiu os melhores resultados para testes mecânicos e características físicas do material.

## **3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **3.1 Resíduos Madeireiros: Fonte e Reutilização**

A produção de resíduos na indústria madeireira vem chamando a atenção de pesquisadores e indústrias de confecção de painéis para desenvolvimento de formas de reutilização do resíduo. Dessa forma, proporciona retorno econômico para a empresa, que perde boa parte do volume de madeira em resíduos, e também minimiza o descarte de resíduos no meio ambiente. Reduzindo o desperdício e a maior demanda por matéria prima virgem.

Em estudos feitos por YAMAJI (2004) em uma indústria de compensados nas proximidades de Curitiba (PR), foram levantados que para cada 100 m<sup>3</sup> de madeira que chegam à esquadrejadeira são gerados aproximadamente 5 m<sup>3</sup> de serragem. Esse volume depende diretamente das densidades das madeiras utilizadas no processo, o restante sai na forma de refilo. Na presença de um desintegrador na esquadrejadeira, esse volume de serragem pode chegar a valores cinco ou seis vezes maiores. Da mesma forma, na calibradora e lixadeira são gerados aproximadamente 40 m<sup>3</sup>/dia de pó-de-lixia, considerando uma densidade de 0,14 g/cm<sup>3</sup> para o pó-de-lixia.

STADLER et al. (2009) analisando a forma de produção de uma indústria de painéis e compensados localizada em Ibituva (PR), constataram que no processo de desdobramento de toras de madeira, a porcentagem média de aproveitamento é de 38,7%, com conseqüente perda média de 61,3%. Portanto, para cada metro cúbico de madeira processada tem-se 0,613 m<sup>3</sup> de resíduo. No mesmo estudo, os autores afirmaram que o aproveitamento desses resíduos gerados pode contribuir para a racionalização do uso dos recursos florestais, proporcionando uma nova alternativa

socioeconômica às empresas, tornando-as ambientalmente adequadas ao gerenciamento de resíduos industriais. Observaram ainda que os resíduos produzidos, com exceção da serragem, que é armazenada para venda a criadores de aves, são aproveitados como combustível na caldeira da empresa ou reciclados através da fabricação de embalagens utilizadas para a expedição do painel.

O uso de resíduos oriundos de um processo produtivo usado como matéria prima em outros processos é a base da Ecologia Industrial. A reutilização diminui a demanda da matéria prima e reduz a disposição de resíduos no ambiente (DUTRA et al, 2010). Em estudos feitos por DUTRA et al. (2010) foi analisado o processo de produção de uma indústria madeireira localizada na região de Campos Gerais (PR) e sua gestão de reaproveitamento de resíduos. A empresa estudada aplicou a política de resíduo zero, reaproveitando parte dos resíduos em seu processo e encaminhando os remanescentes para outras empresas como fonte extra de receita. Segundo os autores, a geração de receita por meio da Gestão Ambiental está se tornando cada vez mais comum, fazendo com que várias empresas invistam na área de proteção ambiental.

Para FONTES (1994), os resíduos de madeira podem ser classificados em três diferentes tipos, dependendo da forma de processamento e dimensões: como serragem, quando o resíduo é proveniente da operação com serras; como cepilho ou maravalha, quando o resíduo é gerado por plainas e beneficiadoras ( processamento de madeira já transformada); e lenha quando os resíduos gerados possuem maior dimensão, como costaneiras, aparas, restos de lâminas e resíduos de topo de tora. Para a produção de CPM , os resíduos selecionados são aqueles que apresentam menor dimensão, podendo ser serragem ou pó de madeira, dependendo do processo produtivo e características desejadas para o painel.

Outro fator importante é o descarte da madeira tratada. Em pesquisa realizada por KAMDEM et al. (2004), constatou se a possibilidade de reutilizar madeira tratada com CCA (cobre, cromo e arsênio) para a produção de CMP, apresentando um produto final com maior resistência a fotodegradação e ataques biológicos. Sendo assim, a reutilização de madeira tratada pode gerar, além do benefício ecológico, a incorporação das propriedades do aditivo no painel produzido.

### 3.2 Polímeros: Impacto Ambiental e Reciclagem

Quando se pensa em problemas ambientais causados pelo acúmulo de resíduos urbanos e industriais, os produtos que causam maiores danos são sempre aqueles mais resistentes à degradação natural. O plástico, em sua composição natural, é um polímero não biodegradável e o seu consumo acompanha o crescimento das grandes cidades por este ser um produto de baixo custo e versátil.

Os polímeros são macromoléculas que são caracterizadas por seu tamanho, sua estrutura química e interações intra e intermoleculares. Eles podem ser naturais, como por exemplo, a seda, a celulose e as fibras de algodão, ou podem ser sintéticos, como o polipropileno (PP), o poli(tereftalato de etileno) (PET), o polietileno (PE) e o poli(cloreto de vinila) (PVC) (SPINACÉ & DE PAOLI, 2005). Segundo os mesmo autores, esses polímeros podem ser classificados como termoplásticos (que englobam a classe dos plásticos como polipropileno, polietileno, politereftalato de etileno e policloreto de vinila), termofixos, borrachas e fibras. Algumas características dos termoplásticos são a moldabilidade a altas temperaturas, isolantes térmicos e elétricos, resistência ao impacto, baixo custo de mercado e reciclabilidade. Essas propriedades aliadas a grande diversidade de aplicações do produto fazem o consumo de polímeros ser cada vez maior no Brasil e no mundo.

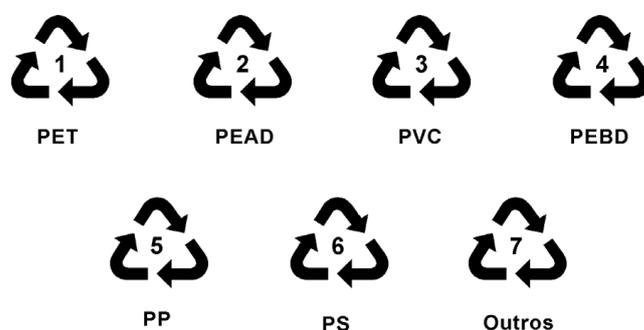
Os polímeros termoplásticos se fundem por aquecimento e se solidificam por resfriamento em um processo reversível. São materiais relativamente macios e dúcteis devido às ligações do tipo Van der Waals, que são ligações fracas, permitindo a reversibilidade (FONSECA, 2005).

Os polímeros são considerados inimigos ambientais, pois demoram séculos para se degradar e ocupam boa parte do volume dos aterros sanitários, interferindo de forma negativa nos processos de compostagem e de estabilização biológica (SPINACÉ & DE PAOLI, 2005). Os autores ainda afirmam que os resíduos poliméricos causam impacto ainda maior ao meio ambiente quando são descartados em lugares inadequados e que a reciclagem sistemática de polímeros é uma das soluções mais viáveis para minimizar o impacto causado ao meio ambiente. Em pesquisas realizadas pelos mesmos autores, constatou-se que o polietileno e o polipropileno são reciclados por um maior número de empresas, e cerca da metade destas empresas reciclam de 20 até 50 ton/mês, poucos superam a faixa de 100 ton/mês.

MARINELLI et al. (2008), realizaram estudos sobre o desenvolvimento de compósitos poliméricos com fibras vegetais como forma de contribuir para a sustentabilidade na região amazônica. Afirmaram que essa procura por novas tecnologias que possibilitem a utilização de produtos com menor impacto ambiental, em especial as

que utilizam o material plástico, estão em foco porque colocam em pauta várias questões ambientais, principalmente a não-biodegradabilidade e a dificuldade de reciclagem. Os CPM entram como alternativa para a reutilização desse resíduo, e de acordo com os autores a produção desses compósitos é capaz de garantir, em parte, a preservação ambiental e proporcionar um melhor padrão de vida para as comunidades amazônicas e a sociedade como um todo.

SPINACÉ & DE PAOLI (2005) afirmaram que, no Brasil, em empresas de reciclagem, a separação dos polímeros é feita principalmente de forma manual e a sua classificação é facilitada por meio da simbologia que deve estar presente no produto, como pode ser visto na figura abaixo.



**Figura 1** Simbologia utilizada para identificação de embalagens poliméricas, Norma NBR 13.230 da ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas). SPINACÉ & DE PAOLI (2005). Onde PET= poli(tereftalato de etileno); PEAD= polietileno de alta densidade; PVC= poli(cloreto de vinila); PEBD= polietileno de baixa densidade; PP= polipropileno; PS= poliestireno.

Após esse processo, os polímeros são moídos em moinhos de facas rotativas e em seguida peneirados, formando os pellets. Quando processados dessa forma acomodam-se melhor em equipamentos de processamento como extrusora e injetora.

A reciclagem de polímeros pode ser dividida em três processos que se relacionam com os quatro tipos de reciclagem. Reciclagem mecânica, que engloba a reciclagem primária e secundária, reciclagem química, também denominada reciclagem terciária e reciclagem energética, denominada reciclagem quaternária (AGNELLI, 2009).

Na reciclagem mecânica o resíduo é processado de forma a obter um produto final semelhante ao polímero original, a diferença nesse processo está no polímero utilizado. Segundo SPINACÉ & DE PAOLI (2005) no processo mecânico pode-se utilizar tanto polímero pós-industrial, denominada assim reciclagem primária, ou pode-se utilizar resíduo pós consumo, denominada assim reciclagem secundária. Na reciclagem química, o polímero serve como base para produção de insumos químicos e combustíveis e na

reciclagem energética ocorre a recuperação de energia pela incineração dos resíduos poliméricos.

No processo mecânico o polímero passa pela etapa de separação do resíduo, associando o tipo de processamento com o tipo do produto, moagem, lavagem, revalorização, que engloba o processo de extrusão e granulação e posteriormente o reprocessamento. Plásticos em forma de filme e sacolas provenientes de lixo urbano apresentam grandes índices de contaminação, dificultando o processo de limpeza (AGNELLI, 2009). De acordo com YAMAJI (2004), deve-se ficar atento ao utilizar, para a produção de compósitos de madeira plástico, material reciclado, pois o material pode apresentar contaminação que venha a interferir nos ensaios, dificultando a análise dos resultados.

Para SPINACÉ & DE PAOLI (2005), a reciclagem de resíduos poliméricos deve ser motivada por diversos aspectos que englobam principalmente aspectos sócios econômicos e ambientais. Os autores afirmam que a reciclagem está relacionada com a economia de energia, a preservação de fontes esgotáveis de matéria prima, a redução de custos com disposição final do resíduo, a economia com a recuperação de áreas impactadas pelo mau acondicionamento dos resíduos, o aumento da vida útil dos aterros sanitários, a redução de gastos com a limpeza e a saúde pública e a geração de emprego e renda.

MILAGRES et al.(2006) afirmam que a produção de resinas termoplásticas tem aumentado no Brasil. O consumo aparente (que representa a soma do volume de produção com importações menos o volume exportado) de resinas termoplásticas no Brasil, , tem evoluído ao longo dos últimos anos, a uma taxa de aproximadamente 4,0% a.a. (BRASKEN, 2012). Isso é devido, em grande parte, pelo crescimento da economia brasileira, melhor distribuição de renda e maior poder de consumo das classes C, D e E. Considerando apenas o mercado de resinas (PE, PP, PVC), o potencial de crescimento no consumo de plástico do mercado brasileiro pode ser observado quando comparado com o consumo em países desenvolvidos, como nos EUA onde o consumo de resinas em 2011 foi de cerca de 66 kg por habitante enquanto no Brasil foi de 25 kg por habitante. Desde o plano real e o início da estabilização econômica no Brasil, o consumo de resinas vem subindo de forma significativa.

Para CARASCHI & LEÃO (2002) um dos fatores agravantes dos resíduos plásticos é a sua degradabilidade muito baixa associada à baixa densidade do material, implicando em um maior volume, fazendo com que o plástico ocupe vastos espaços no ambiente por um longo tempo. Segundo os autores, a demanda crescente desse material, principalmente para aplicações onde o descarte é muito rápido, como no setor de

embalagens, é um agravamento de problemas ambientais, prejudicando, inclusive, o tempo de vida útil dos locais de destino do lixo, como por exemplo, dos aterros sanitários.

A reciclagem é uma forma de prolongar a vida dos plásticos, sendo esta uma característica útil para as empresas e saudável para a sociedade e o meio ambiente. Reciclar é a forma de tratamento de resíduo plástico que mais tem concentrado esforços no âmbito empresarial e governamental e é um estímulo para criação de legislações específicas, tecnologias e centros de pesquisa e desenvolvimento voltados para o setor (CARASCHI & LEÃO, 2002). Dessa forma, o ato de reciclar resíduos plásticos, passa do âmbito de ser somente uma ação ecológica e engloba outros setores da sociedade trazendo benefícios mútuos entre, ciência, sociedade e tecnologia.

### **3.3 Caracterização do Polipropileno**

O polipropileno (PP) é um termoplástico versátil de uso geral, suas principais características são alta resistência, a rupturas por flexão, alta resistência química e a solventes, propriedades elétricas excelentes, boa estabilidade térmica, baixo peso específico (peso específico de  $0,905\text{g/cm}^3$ ) e baixo custo (MANO, 1991). Possui estrutura semicristalina do grupo das poliolefinas, de massa molar entre 80.000 e 500.000, índice de refração= 1,49, Tg (temperatura de transição vítrea) = 4 a  $12^\circ\text{C}$  e Tm (temperatura de fusão) = 165 a  $175^\circ\text{C}$ . Poliolefinas monosubstituídas como o PP contêm uma série de carbonos assimétricos ao longo da cadeia. O PP pode ser denominada isotático quando os radicais (CH<sub>3</sub>) da cadeia principal estão posicionados em apenas um dos lados da cadeia principal; denominado sindiotático quando estes radicais estão dispostos de forma alternada e quando não há nenhuma configuração periódica, tem-se o PP atático (STRAPASSON, 2004) .

Um CMP utilizando o PP, afirma-se que quanto maior a concentração de fibras de madeira, menor será a maleabilidade do compósito, portanto em produtos que a alta rigidez do compósito seja o objetivo, a carga de madeira deve ser da ordem de 50% a 70% da mistura. Em produtos que a flexibilidade ou a maleabilidade sejam exigidas, a concentração de madeira deve ser menor do que a de PP (KOENIG & SYPKENS, 2002).

O polipropileno é o material mais utilizado na produção de madeira plástico. Estudos realizados por YAMAJI (2004) mostram que os primeiros projetos de CMP, na década de 50, utilizaram pó de madeira e PP na fabricação de partes internas de carros. Na década de 70 a Itália patenteou um processo de extrusão de WPC para uma mistura de 50% de pó de madeira e 50% de PP em que o material era inicialmente misturado com

uma extrusora dupla rosca e depois extrusado em forma de lâminas (filmes) também para a produção de partes interiores de automóveis. Nas próximas décadas quem tomou parte na maioria das pesquisas relacionadas ao uso do CPM foram os Estados Unidos, ampliando as formas de utilização dos CPM.

### 3.4 Caracterização da Madeira como Material para Produção de CMP

A madeira é um material heterogêneo, variando estruturalmente e quimicamente. É um material extremamente complexo, poroso e com características diferentes nos seus três sentidos de crescimento. Anatomicamente, a madeira resulta do crescimento secundário do tronco, formando diversos tecidos que suprem as diferentes necessidades da planta, tais quais condução, armazenamento, suporte, entre outros (KLOCK, 2005).

É um material composto quimicamente por celulose, hemi-celulose, lignina e extrativos em diferentes proporções. A celulose é o componente de maior abundância e a lignina, composto responsável pela sustentação, é o segundo componente mais presente na composição da madeira, como se pode observar na tabela 1:

Tabela 1: Composição média de madeiras de coníferas e folhosas

Constituinte	Coníferas	Folhosas
Celulose	42 ± 2%	45 ± 2%
Polioses	27 ± 2%	30 ± 5%
Lignina	28 ± 2%	20 ± 4%
Extrativos	5 ± 3%	3 ± 2%

Fonte: KLOCK ( 2005)

Uma das características marcantes da madeira é a polaridade das fibras vegetais, dada pela presença de grupos hidroxilas em sua superfície (MONDARDO, 2006). Na produção de CMP, isso se mostra um problema, pois há uma incompatibilidade entre as fibras vegetais e os polímeros que apresentam características apolares, isso faz com que a adesão interfacial seja muito fraca, dificultando a transferência de tensões. Esse fator é um dos principais agravantes quando se procura produzir um material com boas qualidades mecânicas.

A madeira é um material higroscópico, esse fenômeno é ocasionado pelos grupos hidroxílicos OH presentes. As hidroxilas atraem e retêm moléculas através das pontes de hidrogênio. Os grupos (OH), que são responsável por fazer a madeira ser um material polar, conferem uma uniformidade em sua carga elétrica ao longo da estrutura. Esses compostos formam ligações químicas por meio de atração eletrostática (GALVÃO & JANKOWSKY,1985).

MELO (2006) afirma que alguns defeitos como nós, inclinação das fibras, tensões de crescimento, rachaduras e defeitos de secagem tem influencia diferenciada na resistência da madeira em função do tipo de solicitação. Nos ensaios mecânicos, esses defeitos não refletem a realidade do comportamento da peça de forma geral. Como em CMP usam-se partículas de madeira, esses defeitos são reduzidos ou eliminados, o que, de forma geral, pode ser considerado um fator positivo na hora da confecção de um painel produzido por partículas. O efeito anisotrópico, que é uma característica da madeira, também é minimizado quando a madeira é convertida em partículas.

No processo de produção de CMP deve-se ficar atento a temperatura, pois a madeira inicia o processo de degradação com temperaturas acima de 200°C, a partir desse ponto, a madeira começa a liberar compostos voláteis, provocando descoloração, aparecimento de odor e fragilização do material (STARK *et al.*,1996).

### **3.5 Compósitos Madeira-Plástico**

A fabricação de painéis utilizando farinha ou fibra de madeira como carga em termoplásticos, já é conhecida desde 1970 pela indústria automobilística, que emprega compósitos de polipropileno com farinha de madeira (RAZZINO et al., 2003) . No entanto, segundo os autores, no Brasil ainda existe uma relutância na indústria de painéis em empregar essa tecnologia. Isso ocorre devido a falta de informações técnicas sobre os materiais e os processos, de certificação local de fornecedores de matéria-prima, ausência de equipamentos específicos e desenvolvimentos de novos mercados para esses produtos.

Estudos feitos com CMP vem mostrando vários benefícios em se aplicar esta tecnologia, entre estes podem ser citados a maior resistência à umidade e deterioração ambiental; resistência a pragas e insetos; podem ser extrusados em perfis com formatos diversificados, apresentam melhor estabilidade dimensional; resistência ao empenamento e trincas; possuem menor custo de manutenção de rotina; maior

durabilidade em ambientes agressivos como marinas e piscinas; são totalmente recicláveis e imitam em aspecto a madeira; dispensam o uso de proteção superficial como tintas e vernizes (RAZZINO *et al.*, 2003).

Segundo MARINELLI *et al.* (2008) um outro benefício agregado aos compósitos de polímeros com fibras naturais é que estes vêm sendo apontados como alternativas potenciais economicamente rentáveis para a fixação de carbono na natureza. Reduzindo também a emissão de CO<sub>2</sub> na atmosfera durante o seu ciclo de produção, processamento e utilização, ganhando assim um incremento de seu potencial econômico devido à possibilidade de comércio de créditos de carbonos para a cadeia produtiva.

### **3.5.1 Algumas considerações relativas ao processo de produção dos compósitos madeira plástico**

Considerações importantes a serem feitas no processo de produção dos compósitos é a necessidade do uso de agentes compatibilizantes para evitar processos como o de delaminação da fibra na matriz polimérica, ocorrendo pela incompatibilidade química entre os dois compostos causando uma transferência ineficiente de esforços na interface fibra-matriz. RAZZINO *et al.* (2003) afirma que a necessidade do uso desses aditivos na incorporação de fibras naturais em termoplásticos poliolefinicos apolares, baseia-se no caráter polar da celulose que requer a compatibilização do sistema através da incorporação dos chamados agentes de acoplamento ou de adesão interfacial.

Alguns critérios básicos devem ser seguidos quando se deseja escolher o agente compatibilizante, devem ser escolhidos aqueles que promovem uma melhor adesão interfacial entre o reforço celulósico e a matriz polimérica poliolefinica. Para isso o compatibilizante ou agente de acoplamento deve interagir fortemente com as fibras através de ligações covalentes fortes ou interações secundárias do tipo ácido-base ou ligações de hidrogênio, sugerindo uma quantidade suficiente de grupos funcionais deve estar presente no compatibilizante, possibilitando a reação com as hidroxilas da celulose. O compatibilizante também deve possuir cadeias suficientemente longas de alta massa molecular que permita a formação de emaranhados moleculares com a matriz polimérica, na interface, através de ancoramento mecânico (CORREA *et al.*, 2003).

Em estudos realizados por KEENER *et al.* (2004), foi investigado a eficiência do PEAD-g-MA (polietileno de alta densidade de alta densidade graftizado com anidrido maleico) em compósitos de fibra de madeira e PEAD. Comparando os resultados com e sem o agente de acoplamento verificou-se um aumento considerável na resistência à

flexão e na resistência ao impacto se comparados aos que não possuíam o agente acoplador.

MILAGRES et al. (2006) em experimento de chapas de CPM com PEAD, PEBD e PP, utilizam adesivo à base de uréia-formaldeído que continha 64% de sólidos resinosos. Para o experimento realizado, a porcentagem da resina epóxi foi calculada com base na quantidade de sólidos resinosos e o catalisador para o adesivo uréico K6 foi empregado na proporção de 1,5% em relação ao teor de sólidos do adesivo utilizado. Aplicaram-se 8% de sólidos de adesivo com base na massa da mistura de partículas e para todos os tratamentos foi aplicado 0,5% de parafina em emulsão, calculada com base apenas na quantidade de partículas de madeira de cada tratamento. Os resultados mostraram que para os ensaios de resistência a tração perpendicular e resistência ao arrancamento de parafuso a adição do adesivo não apresentou diferença significativa. Já para os ensaios de módulo de ruptura, todos os experimentos apresentaram aumento significativo com a adição do adesivo, exceto chapas produzidas com madeira e 50% de PEBD, onde o efeito foi oposto. Esse fenômeno de redução em painéis com 50% de PEBD também foram percebidos nos ensaios de módulo de elasticidade onde a adição de adesivo diminuiu o módulo de elasticidade do painel, para os outros experimentos a adição do adesivo não foi significativa. Para ensaios de inchamento em espessura, a adição do adesivo reduziu significativamente a porcentagem de inchamento em painéis de madeira pura e PP.

CORREA et al (2003) utilizam o agente compatibilizante polipropileno modificado com anidrido maleico (PP-MAH) para produção de chapas de PP com dois diferentes tipos de farinha de madeira. Constatou que todas as misturas contendo o PP-MAH apresentaram uma menor viscosidade em relação à mistura não compatibilizada. Nas misturas em que se adicionou o compatibilizante observou-se claramente o aumento da rigidez e da resistência mecânica para os dois resíduos de madeira analisados em comparação com as amostras não compatibilizadas.

Os aumentos de resistência à tração observados nas amostras compatibilizadas indicam uma melhor transferência de tensão da matriz para o reforço celulósico na interface decorrente de uma provável ocorrência de ancoramento mecânico ou interações químicas entre os grupos anidrido e as hidroxilas da celulose na interface polímero-madeira (CORREA *et al.*,2003).

REDIGHIERE & COSTA (2008) utilizaram como agente compatibilizante o polietileno funcionalizado com anidrido maleico (PE-g-MA) para melhorar a adesão entre partículas de madeira de eucalipto e polietileno de baixa densidade reciclado (PEBD reciclado). O resultado apontou que o PE-g-MA atuou como agente compatibilizante

entre a matriz e a carga desses materiais, provocando também uma pequena melhora nas propriedades térmicas e mecânicas dos compósitos.

Outro aspecto importante relativo ao processo de produção desses compósitos é a umidade. Em estudos feitos por YAMAJI (2004), a produção dos compósitos sem uma pré secagem da madeira limitou a produção a formulações com um conteúdo máximo de 40% de madeira. Em relação aos polímeros utilizados, deve-se ficar atento também a umidade do material, porque usualmente no processo de reciclagem a adição de água que pode ficar retida no plástico. Outro problema também acarretado pelo alto teor de umidade e o volume de gases produzidos no interior da extrusora. Segundo YAMAJI (2004) em seus experimentos na confecção desses painéis, observou que, dependendo da quantidade desses gases gerados, quando eliminados na matriz, causavam o rompimento do extrudado, interrompendo a produção dos compósitos.

MARINELLI et al. (2008), citam que na produção de artigos moldados pelo processo de injeção, a formação de gases é um dos problemas pois ocorre o aprisionamento dessas substâncias voláteis durante o ciclo de moldagem por injeção, o que leva a um produto final com porosidade e com microestrutura semelhante a um expandido estrutural, sem contar que a água absorvida pode acelerar a degradação térmica da celulose. Esta distribuição de porosidade é influenciada pelas condições de processamento e, conseqüentemente, trará comprometimento às propriedades mecânicas do material modificado.

### **3.5.2 Alguns resultados obtidos em ensaios mecânicos para compósitos madeira plástico.**

A composição dos CPM ( proporções entre madeira e plástico) e a formulação adesiva influenciam de forma significativa a resistência à tração perpendicular, ao arrancamento de parafuso, à absorção de água, flexão estática, dureza Janka e inchamento em espessura (MILAGRES *et al.*, 2006).

Em um experimento feito pelos mesmos autores citado acima, foram utilizados diferentes combinações entre madeira, PP, PEAD e PEBD para fabricação de painéis com adesivo a base uréia-formaldeído, obteve valores médios de densidade e expansão linear iguais a 0,74 g/cm<sup>3</sup> e 0,35%, respectivamente, não observando diferenças significativas entre os tratamentos. Os valores obtidos pelo autor nos ensaios mecânicos mencionados no parágrafo acima podem ser observados nas tabelas 2 e 3.

Tabela 2: Valores médios de resistência à tração perpendicular (kgf), Arrancamento de Parafusos (Kgf) e Dureza Janka (kgf/cm<sup>2</sup>) em painéis de partículas em função da composição das partículas.

Composição do Pannel	Tração Perpendicular (kgf)	Arrancamento de Parafusos (kgf)	Dureza Janka (kgf/cm <sup>2</sup> )
100%M	7,48	122,82	494,95
75%M 25%PP	4,96	138,20	536,28
50%M 50%PP	4,42	128,42	667,29
75%M 25%PEAD	11,75	153,87	571,41
50%M 50%PEAD	9,67	139,87	409,31
75%M 25%PEBD	9,06	144,40	518,99
50%M 50%PEBD	6,07	131,52	445,33

Fonte: MILAGRES et al., 2006

Tabela 3: Valores médios de MOE, Módulo de Ruptura e absorção de água em painéis de partículas em função da composição das partículas.

Composição do Pannel	MOE (kgf/cm <sup>2</sup> )	Módulo de Ruptura (kgf/cm <sup>2</sup> )	Absorção de Água (%)
100%M	22668,12	187,00	38,79
75%M 25%PP	14911,03	138,38	33,49
50%M 50%PP	14833,85	142,20	23,90
75%M 25%PEAD	21623,35	176,25	28,49
50%M 50%PEAD	17489,05	154,98	17,58
75%M 25%PEBD	19230,87	170,57	34,81
50%M 50%PEBD	16301,95	154,82	18,26

Fonte: MILAGRES et al., 2006

TEIXEIRA et al. (2002) confeccionaram painéis CPM utilizando prensa hidráulica. Foi utilizado resíduos de madeira de *Eucalyptus grandis* em forma de cavacos e plástico pós-consumo tipo PEBD, nas proporções de 40%/60%, 50%/50% e 60%/40% de madeira/plástico no composto. Encontrou-se valores de MOR variando de 9,47 MPa a 12,96 MPa e os valores de MOE que variaram de 1520 MPa a 1747 MPa. Os valores obtidos pelo autor no teste de ligação interna variaram de 0,56 MPa a 0,72 MPa. No teste de dureza Janka os painéis variaram de 4409 N a 4419 N e a taxa de absorção de água, após 24 horas de imersão, variou de 25,50% a 2,77% nas diferentes proporções.

ABGONA et. al., (2012) produzindo compósitos a base de polipropileno reciclado, fibra de abaca (*Musa textilis* Nee) e maleato de polipropileno (3%), nas proporções 40/60

e 50/50 de madeira e plástico, adicionando ou não o maleato encontrou os melhores valores para o ensaio de flexão estática no tratamento 50/50/0 em MOE no tratamento 50/50/3 em MOR, 3,59 GPa e 54Mpa respectivamente.

Em estudos realizados por PAULESKI (2005), os valores encontrados para massa específica em painéis de farinha de madeira e polietileno de alta densidade foram 0,91g/cm<sup>3</sup> para proporção de 60% PEAD e 40% farinha de madeira, 0,98g/cm<sup>3</sup> para a proporção de 75% PEAD e 25% farinha de madeira e 0,96g/cm<sup>3</sup> para a proporção de 90% PEAD e 10% farinha de madeira. Nos ensaios mecânicos realizados, foram feitos testes de módulo de elasticidade, tensão no limite proporcional e a 2,5cm de deslocamento e testes de inchamento para o material imerso em água por 24h, os valores encontrados podem ser vistos na tabela 4:

Tabela 4: Valores encontrados para ensaios de modulo de elasticidade, tração, tensão e inchamento para diferentes combinações de PEAD com farinha de madeira.

Combinações		Testes Mecânicos (de acordo com a norma ANSI A 208.1)				
Madeira (%)	PEAD (%)	MOE (kgf/cm <sup>2</sup> )	TENSÃO (kgf/cm <sup>2</sup> ) (limite proporcional)	TENSÃO (kgf/cm <sup>2</sup> ) (2,5 cm de deslocamento)	Tração (kgf/cm <sup>2</sup> )	Inchamento (%)
40%	60%	12289	190,54	262,58	2,85	13,87
25%	75%	20075	218,65	374,3	6,65	4,47
10%	90%	15487	207,86	366,96	16,20	0,65

Fonte: PAULESKI (2005).

Para os dados referentes ao ensaio de MOE, de acordo com a norma ANSI A 208.1, nenhum tratamento atingiu o mínimo estabelecido pela norma, que é de 24694 kgf/cm<sup>2</sup> e para os ensaios de tração, o valor mínimo de 9,14 Kgf/cm<sup>2</sup> somente foi atingido pelo tratamento com 90% de PEAD (PAULESKI, 2005).

YAMAJI (2004) produziu painéis de CMP através da extrusão reativa de PP na presença de anidrido maleico, peróxido dedibenzoila e resíduos de madeira nas formas de serragem e pó de lixa concluiu que os compósitos a partir da serragem apresentaram um desempenho superior aos preparados com o pó-de-lixo. A adição de agentes compatibilizantes resultou em compósitos com melhores propriedades mecânicas. O maior ganho na resistência à tração foi de 19,1% para o compósito 30% de pó de lixa com 2% de compatibilizante em relação ao mesmo compósito sem compatibilizante. O autor também afirmou que os compósitos são recicláveis e, para algumas formulações, a reciclagem dos compósitos melhorou as propriedades. O maior ganho na resistência à

tração foi observado para o produto 10% de serragem com três extrusões que foi 7,7% superior à sua primeira extrusão.

Em estudos realizados por YAMAJI & BONDUELLE (2004) utilizando madeira na forma de pó e serragem misturados ao polietileno de baixa densidade – PEBD reciclado testando as seguintes formulações 10%, 20%, 40% e 50% (em peso) de madeira, foi averiguado o teor de umidade dos materiais e se a produção era afetada pelo vapor liberado pela extrusora durante o processo. Com os resultados obtidos os autores afirmaram que a produção dos CMP foi diretamente afetada pelo volume de gases gerados no interior da extrusora, desses, quanto maior o volume de madeira presente na composição maior era a quantidade de vapor produzido necessitando de uma constantemente interrupção para liberação dos gases que eram formados no interior da extrusora. A formulação com 40% de madeira já apresentaram restrições, inviabilizando os testes para a formulação de 50% de madeira. Portanto deve se ficar atento ao teor de umidade durante a confecção de compósitos, o ideal é que a madeira esteja com umidade bem próxima a 0%.

#### **4. MATERIAL E MÉTODOS**

##### **4.1 Material**

Para produção dos compósitos de madeira-plástico foi utilizado madeira proveniente de resíduos de marcenaria na forma de maravalha e PP reciclado já na forma de grânulos. As partículas de madeira foram doadas pela Marcenaria da Prefeitura da Universidade de Brasília e devidamente armazenadas em sacos plásticos. Por serem resíduos de marcenaria, não se sabe ao certo as espécies trabalhadas nem as proporções das mesmas, no entanto sabe-se que há resíduos de *Eucalyptus sp.* e *Tabebuia sp.* (Ipê).

As resinas termoplásticas de polipropileno foram obtidas de fornecedores comerciais de plástico reciclado. De acordo com a Recicla Brasil, uma das fornecedoras do termoplástico, e empresa recebe, diariamente, de 9 a 12 toneladas de plástico por dia, sendo as maiores quantidades de PEAD.

## 4.2 Métodos

### 4.2.1 Pré-teste



Figura 2: Termoplásticos testados no pré-teste na temperatura de 200°C, sendo 1= PP puro, 2=PP colorido, 3=PP branco, 4= PP preto, 5= PEAD branco, 6= PEAD colorido, 7= PP cadeira, 8= PEAD em pellets, 9= PEBD em pellets.

Foram testadas todas as resinas termoplásticas para averiguar qual respondia melhor a temperatura de 200°C, temperatura utilizada na confecção dos painéis. As amostras foram postas em estufa laboratorial a temperatura de 200°C e conferidas de 15 em 15 minutos para se examinar alguma mudança visual no material. Na tabela 5 pode-se conferir os termoplásticos testados.

Tabela 5: Termoplásticos testados em temperatura de 200°C

POLIPROPILENO	
1	PP cadeira
2	PP preto
3	PP puro
4	PP colorido
5	PP branco
POLIETILENO DE ALTA DENSIDADE	
6	PEAD em pellets

7	PEAD branco
8	PEAD colorido
POLIETILENO DE BAIXA DENSIDADE	
9	PEBD em pellets

Com os dados do pré-teste foi possível concluir os polímeros que melhor responderam a temperatura de 200°C foram o PP cadeira, PP colorido e PP branco, os quais se fundiram completamente. Desses, dois foram escolhidos para confecção dos painéis, o PP colorido e o PP branco, a escolha também foi baseada na disponibilidade dos produtos no mercado.

O PP branco é utilizado para confecção de recipientes para embalagem, sacaria, pisos tipo carpete, seringas de injeção descartáveis, peças automotivas, carcaças de eletrodomésticos; brinquedos; tubos para cargas de caneta esferográfica; bocal de pistolas para aplicação de aerossóis; material hospitalar (GUERRICA-ECHEVARRIA et al., 1998). O PP colorido é normalmente encontrado em embalagens de produtos de limpeza, indústria têxtil, brinquedos, baldes, entre outros produtos.

#### **4.2.2 Preparação do material**

A maravalha foi processada em picotador agrícola com abertura da lâmina de 9 mm. Posteriormente o material foi classificado, sendo a maravalha selecionada aquela que ficou retida entre as peneiras de 1 mm e 5 mm de abertura. Para a confecção dos painéis, a maravalha foi seca em estufa laboratorial na temperatura de  $100 \pm 3$  °C até que atingisse 0% de umidade.

As dimensões das resinas termoplásticas com densidade média de 0,95 g/cm<sup>3</sup> variaram entre 5 mm a 15 mm no diâmetro. A espessura das partículas e a geometria eram variadas, pois o material, como encontrado comercialmente, é uma mistura de vários produtos a base de PP, não apresentando uma uniformidade.



Figura 3: Partículas de termoplástico e madeira após o processo de classificação.

#### 4.2.3 Metodologia de fabricação de painéis

As chapas de CPM foram produzidas com diferentes proporções de maravalha e polipropileno, para cada formulação foi considerado um tratamento, sendo produzidos quatro painéis por tratamento. As diferentes formulações de madeira e plástico podem ser conferidas na tabela 6. As dimensões do painel foram de 30 cm de comprimento x 30 cm de largura x 1,2 cm de espessura, com densidade nominal de  $1 \text{ g/cm}^3$  e todos foram produzidos sem a utilização de compatibilizante ou adesivo.

Tabela 6: Diferentes misturas de madeira em formato de maravalha e polipropileno para produção de chapas de compósitos madeira plástico.

Tratamentos	PP branco (%)	PP colorido (%)
T1	50	-
T2	60	-
T3	70	-
T4	-	50
T4	-	60
T6	-	70

As chapas de CMP foram confeccionadas pelo método de prensagem a quente. A produção foi feita utilizando prensa hidráulica, com controle de temperatura e pressão. O colchão foi montado manualmente após a mistura previa dos materiais, que foram misturados com o auxílio de uma betoneira. A mistura foi disposta uniformemente em uma caixa formadora para dar forma ao painel, depois de retirada, dois espaçadores de ferro de 12 mm de espessura foram despostos em dois dos lados do colchão.

Foram utilizados também folhas de alumínio entre as placas e o colchão para evitar que o painel ficasse grudado nas placas depois da prensagem. A temperatura de prensagem foi de 200°C, a pressão específica foi de 6 MPa e o tempo total de prensagem foi de 25 minutos. Depois da prensagem, as chapas foram identificadas e esquadrejadas.

Os painéis foram submetidos aos ensaios de flexão estática (módulo de elasticidade e módulo de ruptura), dureza janka, compressão e estabilidade dimensional (inchamento e absorção de água) de acordo com a norma ASTM D1037 – 78 1993.



Figura 4: (Foto 1) mensuração da espessura dos corpos de prova usados no ensaio de inchamento em espessura; (Foto 2) Ensaio de flexão estática; (Foto 3) Ensaio de dureza janka; (Foto 4) Ensaio de compressão.

Para cada ensaio foram utilizados 8 corpos de prova, nas dimensões 50 mm de largura x 12,5 mm de espessura x 300 mm de comprimento para os ensaio de flexão estática, 25 mm de largura x 12,5 mm espessura x 50 mm de comprimento para os ensaios de compressão e 50 mm de comprimento x 50 mm de largura x 12,5 mm de espessura para os ensaios de dureza janka, ligação interna, absorção de água e

inchamento em espessura. As dimensões dos corpos de prova podem ser conferidas na figura 5 abaixo.



Figura 5: Corpos de prova (cp) utilizados nos ensaios mecânicos, sendo 1= cp utilizado no ensaio de flexão estática, 2= cp utilizado nos ensaios de dureza janka, inchamento em espessura, densidade aparente e ligação interna e 3= cp utilizado no ensaio de compressão.

### 4.3 Análise Estatística

Primeiramente, os resultados foram interpretados com auxílio do teste de média, teste Duncan e com o teste de correlação de Pearson. Os dados foram processados no programa IBM SPSS Statistics 20. Para as propriedades cuja correlação com a densidade foi alta, foi feita uma análise fatorial de dois fatores, proporção e tipo de polímero, utilizando o teste LSD e considerando a densidade como um cofator, gerando médias estimadas para um valor fixo de densidade aparente. Dessa forma foi possível eliminar o efeito da densidade e avaliar o real efeito das diferentes proporções e tipo de polímero.

## 5. Resultados e Discussão

### 5.1 Projeto Piloto

O projeto piloto possibilitou confirmar que o uso da prensa hidráulica e dos materiais de menor grau de processamento eram viáveis na produção de CMP. Durante a confecção dos painéis também foi constatado que a umidade da madeira influenciava significativamente as propriedades mecânicas no teste de flexão.

Em relação aos polímeros escolhidos, verificou-se também que ambos eram viáveis na confecção do painel. Nas tabelas 7 e 8 pode-se verificar as proporções e condições testadas e os resultados obtidos com o teste de flexão.

Tabela 7: proporções e condições testadas nos testes pilotos.

MARAVALHA	PP Branco	PP Colorido
Maravalha Úmida (30%)	T1	T2
Maravalha Seca	T3	-
Maravalha Fina e Seca	T4	-

Tabela 8: resultados obtidos nos testes mecânicos do projeto piloto

Tratamento	Fm (Mpa)	Em (Mpa)
T1	496,19	7,84
T2	1147,69	10,09
T3	1224,48	10,28
T4	1627,53	11,93

### 5.2 Dados médios observados e correlação

Abaixo, na Tabela 9 e 10, podem-se verificar todos os valores médios observados encontrados a partir de estatística descritiva. Fazendo uma análise prévia, pode-se perceber que a variação na proporção de madeira influencia diretamente nas propriedades físicas e mecânicas, no entanto, os diferentes PP testados não possuem diferenças aparentes entre si. Pode-se observar, com auxílio da figura 6 abaixo, que a densidade aumenta conforme a adição de madeira.

Tabela 9: Valores médios observados para as proporções e seus respectivos coeficientes de variação

Proporção	50P/50M	60P/40M	70P/30M
Densidade (g/cm <sup>3</sup> )	0,715	0,657	0,514
CV%	(6,314)	(6,074)	(10,341)
Modulo de elasticidade (MPa)	2390,564	1366,958	694,089
CV%	(16,130)	(15,529)	(22,121)
Modulo de ruptura (MPa)	13,835	10,278	6,109
CV%	(9,606)	(9,431)	(15,392)
Dureza Janka (N)	4019,459	2989,203	1800,993
CV%	(12,117)	(20,162)	(31,410)
Compressão seca (MPa)	9,419	6,906	4,985
CV%	(15,449)	(24,447)	(21,247)
Compressão úmida (MPa)	9,039	6,249	4,758
CV%	(12,208)	(22,863)	(18,075)
Inchamento 2h%	1,091	1,130	0,698
CV%	(44,587)	(48,736)	(62,128)
Inchamento 24h%	2,452	2,348	1,342
CV%	(26,276)	(27,205)	(47,894)
Absorção 2h%	5,784	6,994	7,427
CV%	(32,376)	(28,862)	(47,042)
Absorção 24h%	11,217	13,724	13,237
CV%	(25,129)	(24,180)	(24,341)

Tabela 10: Valores médios observados para tipo de plástico e seus respectivos coeficientes de variação.

Tipo de Plástico	PP colorido	PP branco
Densidade (g/cm <sup>3</sup> )	0,626	0,632
CV%	(1,597)	(1,582)
Módulo de elasticidade (MPa)	1434,865	1533,516
CV%	(2,478)	(2,317)
Módulo de ruptura	9,969	10,185

(MPa)		
CV%	(1,464)	(1,433)
Dureza Janka (N)	3004,892	2867,676
CV%	(3,813)	(4,181)
Compressão seca		
(MPa)	7,699	6,501
CV%	(3,390)	(4,107)
Compressão úmida		
(MPa)	6,475	6,89
CV%	(3,583)	(3,440)
Inchamento 2h%	1,016	0,966
CV%	(10,137)	(10,559)
Inchamento 24h%	2,035	2,101
CV%	(6,732)	(6,425)
Absorção 2h%	7,647	5,827
CV%	(7,140)	(9,301)
Absorção 24h%	14,637	10,866
CV%	(4,030)	(5,383)

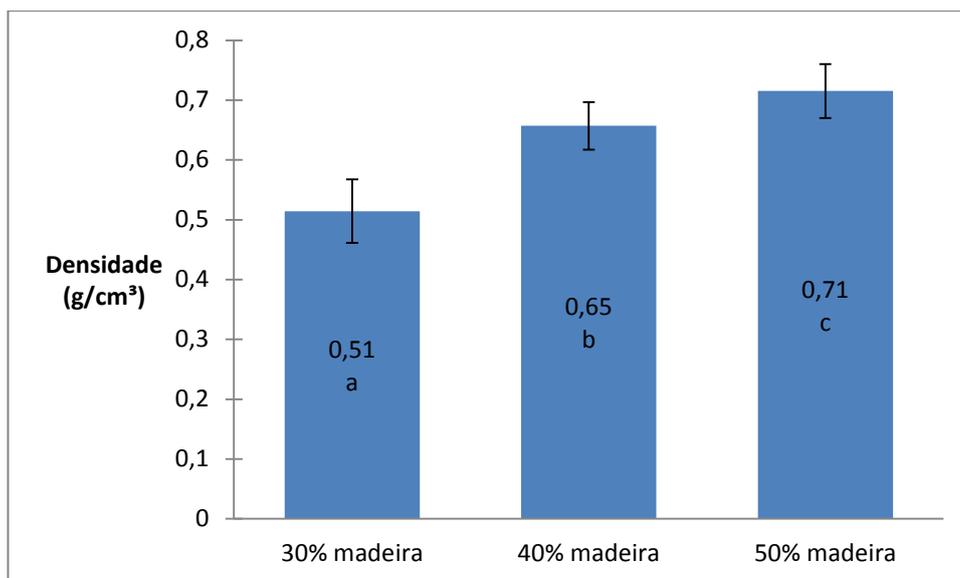


Figura 6: Valores médios observados de densidade aparente em g/cm<sup>3</sup>.

A Tabela 11 mostra a correlação de Pearson. Nota-se a forte correlação entre a densidade e as propriedades mecânicas e inchamento em espessura após 24h. Essa alta correlação permite uma análise estatística fatorial, onde a densidade entra como cofator, excluindo o efeito da mesma e permitindo a análise direta do efeito da adição de madeira nas propriedades físicas e mecânicas. As médias foram estimadas estatisticamente a partir de um valor fixo de densidade igual a 0,64 g/cm<sup>3</sup>.

Foi analisado o efeito dos diferentes tipos de polipropileno e o efeito da adição de madeira. Verificando, de fato, quais os fatores que influenciavam diretamente nas características dos painéis.

Tabela 11: Resultado obtido para a Correlação de Pearson, sendo: \*\* Correlação significativa a 0,01 e \* Correlação significativa a 0,05.

	Dur.	Dens.	Comprsec.	Comprum.	ie2h	ie24h	aa2h	aa24h	Em	fm
Dur.	1	0,646**	0,718**	0,716**	0,207	0,467**	-0,019	-0,238	0,798**	0,806**
Dens.	0,646**	1	0,802**	0,680**	0,275	0,553**	-0,196	-0,224	0,737**	0,808**
Comprsec.	0,718**	0,802**	1	0,673**	0,072	0,338*	-0,162	-0,253	0,810**	0,782**
Comprum.	0,716**	0,680**	0,673**	1	0,216	0,467**	-0,119	-0,314*	0,790**	0,756**
ie2h	0,207	0,275	0,072	0,216	1	0,871**	-0,038	0,114	0,12	0,288
ie24h	0,467**	0,553**	0,338*	0,467**	0,871**	1	-0,017	-0,033	0,391**	0,561**
aa2h	-0,019	-0,196	-0,162	-0,119	-0,038	-0,017	1	0,525**	-0,155	0,032
aa24h	-0,238	-0,224	-0,253	-0,314*	0,114	-0,033	0,525**	1	-0,326*	-0,122
Em	0,798**	0,737**	0,810**	0,790**	0,12	0,391**	-0,155	-0,326*	1	0,861**
fm	0,806**	0,808**	0,782**	0,756**	0,288	0,561**	0,032	-0,122	0,861**	1

Sendo dur. (Dureza Janka), Dens. (densidade aparente), Comprsec. (compressão à seco), Comprum. (compressão no estado úmido), ie2h (inchamento em espessura após 2h), ie24h (inchamento em espessura após 24h), aa2h (absorção de água após 2h), aa24h (absorção de água após 24h), Em (módulo de elasticidade), fm (módulo de ruptura).

### 5.3 Efeito dos diferentes tipos de polipropilenos nas propriedades físicas e mecânicas

O processo de pigmentação do polipropileno é feito a partir de grupos químicos que agem como colorantes ou pigmentos. Alguns compostos como o alumiato de cobalto, ultramarinho, sulfito de cádmio, entre outros são alguns exemplos de pigmentos utilizados no processo (SARON & FILISBERTI, 2005). A pigmentação do PP é capaz de mudar algumas propriedades do material, entre elas as propriedades reológicas, de acordo com (DUTRA & BRETAS, 2009). Em experimento avaliando o efeito do tipo e concentração de pigmentos

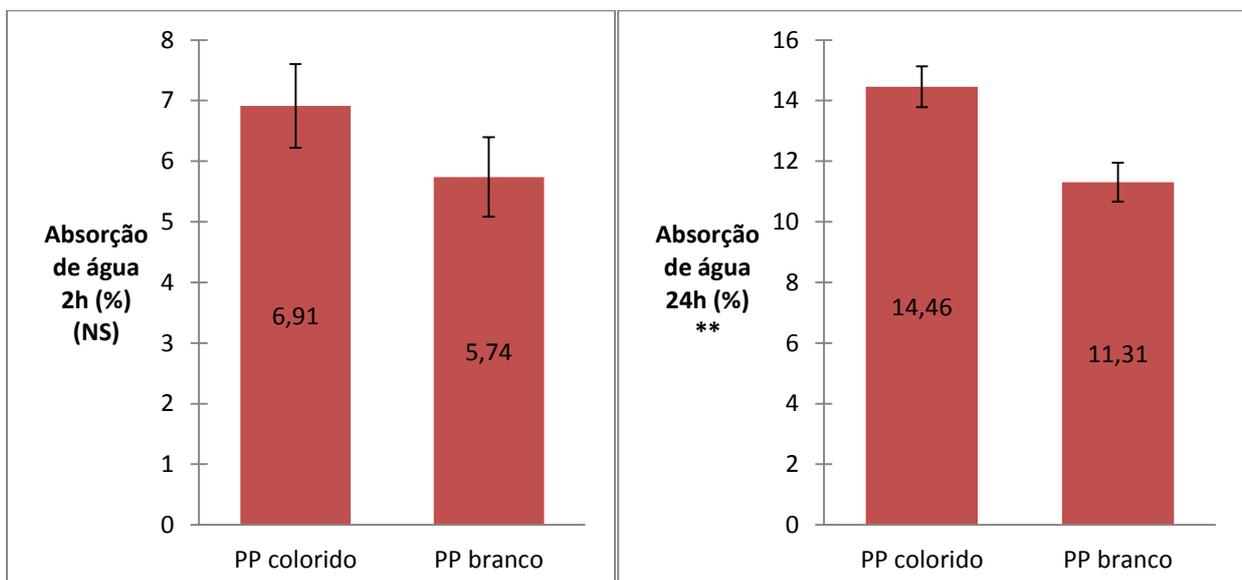
dispersos em polipropileno na presença de dois pigmentos diferentes (ftalocianina de cobre, ácido beta-oxinaftólico) concluiu que a presença do pigmento, independente da concentração, afeta fortemente o comportamento reológico do polipropileno, diminuindo a viscosidade.

Avaliando o efeito do pigmento nas propriedades do PP e considerando a possibilidade desta influenciar nas propriedades físicas e mecânicas dos painéis de CMP, foi analisado se os diferentes tipos de polipropilenos influenciavam nas propriedades testadas.

As figuras 7 e 8 abaixo mostram que o efeito dos diferentes tipos de plástico nas propriedades testadas não é significativo, exceto para compressão na condição úmida e absorção de água após 24 horas. No entanto, essa diferença não está relacionada com a pigmentação do material, e sim com a estrutura interna do painel. Essa afirmação pode ser considerada pois a pigmentação não afetou nenhuma das outras propriedades, o que era esperado, se este fosse um fator significativo.

No caso da absorção de água, o painel produzido com PP colorido absorveu mais água do que o PP branco. Uma das hipóteses é que o PP colorido, da forma como é vendido ao mercado, nesse grau de processamento, é um material com partículas menos uniformes se comparado ao branco, composto por uma gama menor de subprodutos a base de polipropileno, fazendo com que haja maior quantidade de espaços vazios nos painéis, aumentando o acúmulo de água, sem necessariamente estar relacionado com a absorção de água pela própria madeira.

Na compressão na condição úmida, a quantidade de espaços vazios também pode ter sido o motivo da diferença significativa, não estando relacionado diretamente com o tipo de plástico.



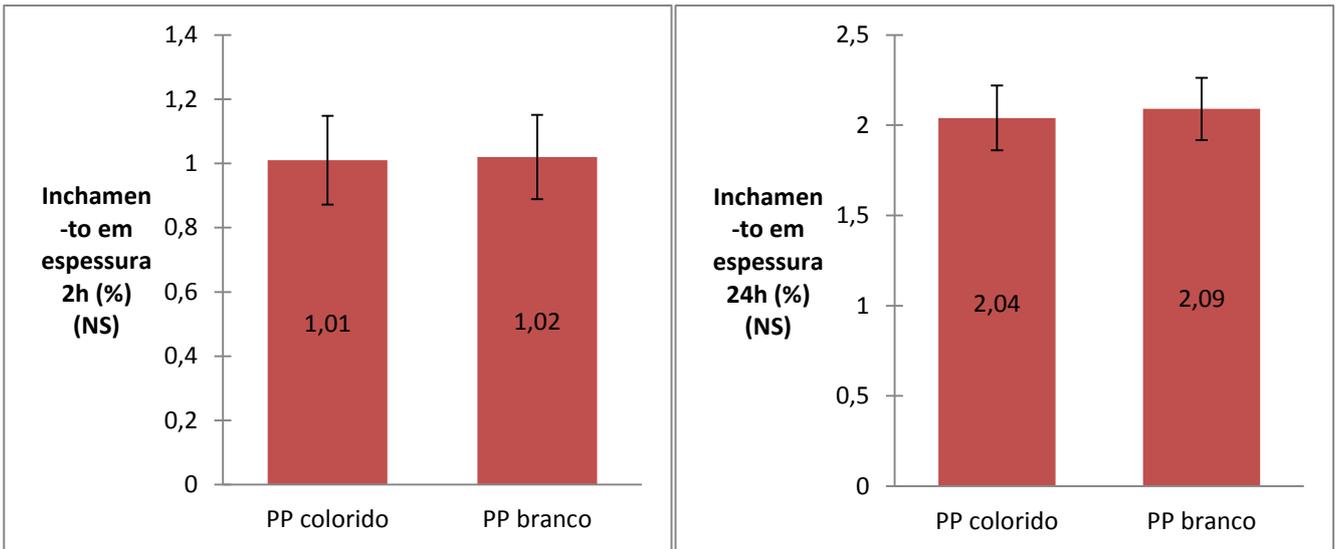
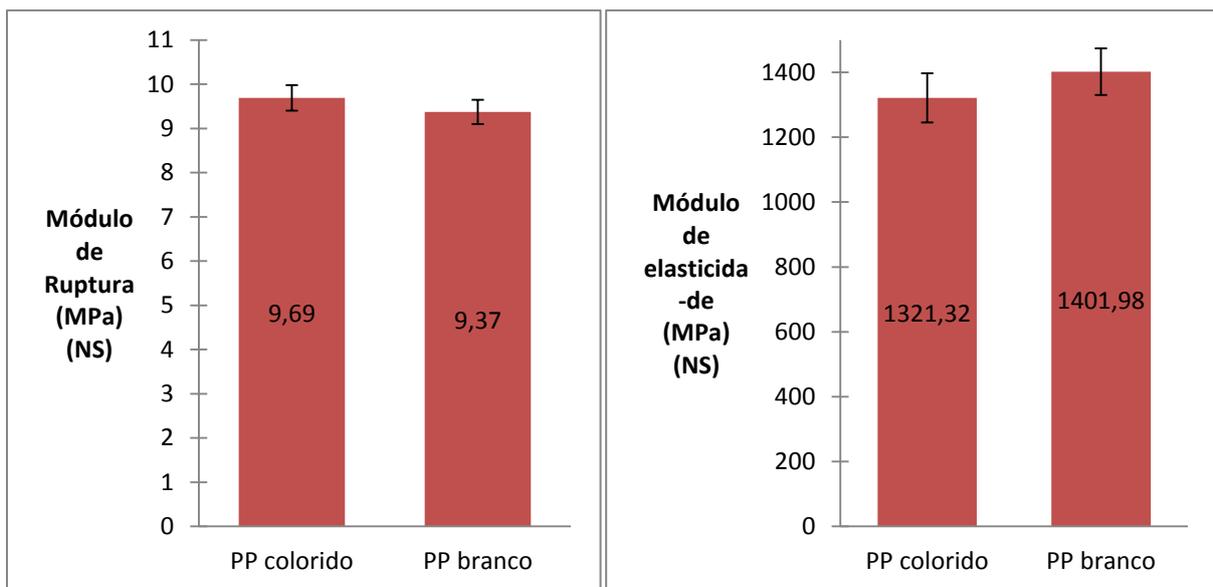


Figura 7: Efeito dos diferentes tipos de polipropileno nas propriedades físicas de absorção de água (aa %) e inchamento em espessura (ie %).

NOTA: \*\*Significativo pela ANOVA ao nível de  $\alpha$  0,05; (NS) não significativo.



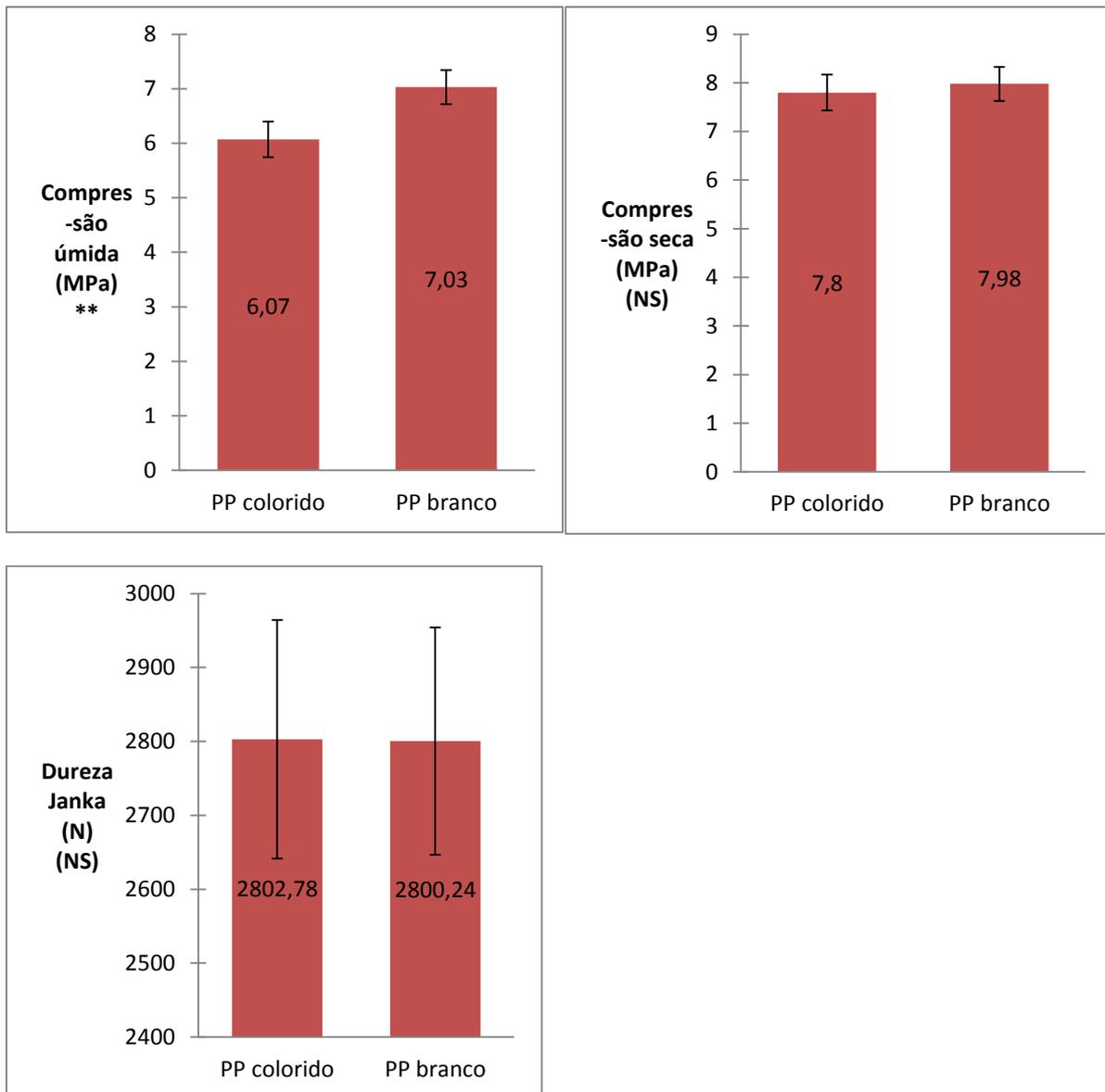


Figura 8: Efeito dos diferentes tipos de polipropileno nas propriedades mecânicas de compressão, dureza janka e flexão estática (Em e Fm).

NOTA: \*\*Significativo pela ANOVA ao nível de  $\alpha=0,05$ ; (NS) não significativo.

## 5.4 Efeito das diferentes proporções de madeira nas propriedades físicas e mecânicas

### 5.4.1 Propriedades físicas

A densidade aparente variou significativamente para cada uma das proporções testadas, tendo seu menor valor de  $0,51\text{g/cm}^3$  na proporção de 70% plástico e 30% madeira e seu maior valor  $0,71\text{g/cm}^3$  na proporção de 50 % plástico e 50% madeira.

Diferente do esperado, em que os tratamentos com maior quantidade de polímeros fossem os de maior densidade, devido o PP possuir densidade média em torno de  $0,9\text{g/cm}^3$  (MANO, 1991), os tratamentos com maior proporção de madeira foram os mais densos. A maior quantidade de espaços vazios nos tratamentos com 30% madeira, que durante a prensagem liberaram mais gases formando bolhas nos painéis, pode ser a explicação para essa diferença de densidade entre os tratamentos. Nos painéis com maior proporção de madeira, as partículas de PP se aderiram melhor a maravalha, formando um painel mais denso e com menor quantidade de defeitos.

Os valores encontrados para inchamento em espessura com imersão em água por duas horas variaram de 0,69% a 1,12% e com imersão por 24 horas de 1,21% a 2,6%. A absorção de água após duas horas variou de 5,7% a 7,42% e após 24 horas 11,21% a 13,72%.

Os resultados apresentados mostram uma considerável variação para os resultados de absorção de água e inchamento nos diferentes tratamentos. No entanto, estatisticamente, quando analisados pelo teste Duncan, nem sempre essas diferenças foram significativas. A Figura 11 mostra os resultados obtidos para inchamento em espessura após duas horas de imersão, a diferença entre os tratamentos foi significativa para o teste Duncan, na proporção de 30% madeira o inchamento foi significativamente menor. No ensaio de absorção de água, vide figura 9, a diferença não foi considerada significativa.

Na análise dos corpos de prova imersos em água por 24 horas, pode-se observar a mesma diferença significativa para os tratamentos com 30% madeira, tendo estes menor variação dimensional. Para o ensaio de absorção de água, houve diferença significativa entre as proporções 40% madeira e 50% madeira. O esperado era que os tratamentos com 50% madeira absorvessem mais água devido a menor quantidade de plástico, material hidrofóbico. No entanto esse tratamento foi o que absorveu menor quantidade de água, isso pode ser explicado não pela quantidade de madeira presente, mais sim pela quantidade de espaços vazios. Nos painéis produzidos com 50% madeira havia menor quantidade de bolhas, se comparado com outros painéis com menor proporção. Dessa forma a água ficava retida nesses espaços, sendo contabilizada na balança não a absorção de água pelo material, mas sim a retenção de água nos espaços vazios.

Os resultados para os ensaios de absorção de água e inchamento realizados por MILAGRES et al.(2006) e PAULESKI (2005), que podem ser conferidos no tópico 3.6.2, mostraram valores significativamente maiores em porcentagem para os mesmo testes. Os valores encontrados se assemelham com os valores obtidos por YAMAJI (2004) no teste de inchamento em espessura, onde o autor encontrou valores que variaram de 0,2% e 0,4% para os compósitos com 10% de madeira (pó-de-lixo e serragem) e de 0,7 e 0,9% compósitos com 30% de madeira.

Já os valores encontrados pelo mesmo autor para absorção de água, que variaram de 0,3 e 0,4%, nos compósitos com 10% de madeira e 0,7 e 1,5%, para os compósitos 30P3% (30% de pó-de-lixia com 3% de compatibilizante), foram significativamente menores se comparados com os CMP testados. Isso pode ser explicado pelo método utilizado, no qual os painéis foram confeccionados em uma extrusora monorroscas. Nesse processo o material já é aquecido e misturado, eliminando quase que por completo os espaços vazios dentro do painel, diminuindo ainda mais a absorção de água.

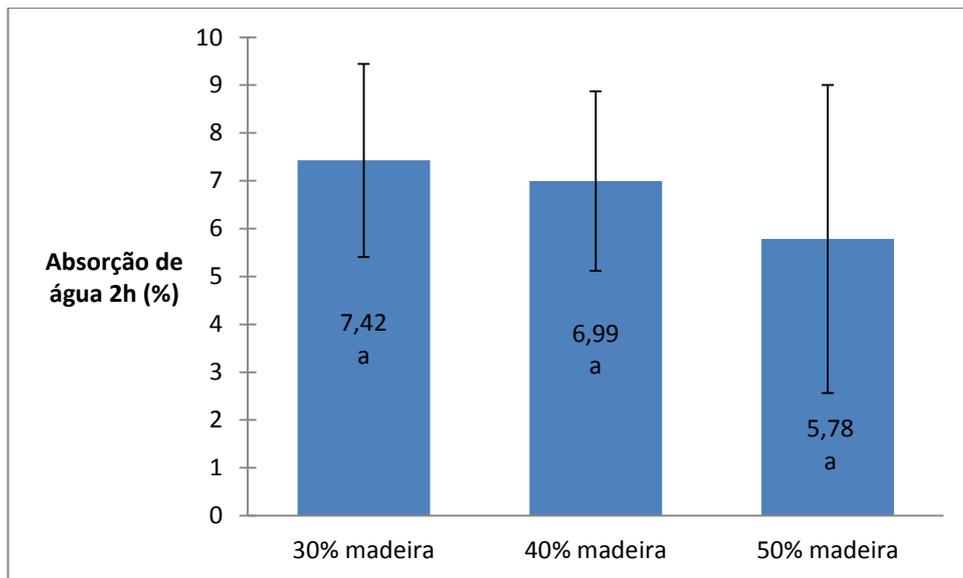


Figura 9: Valores médios observados para o ensaio de absorção de água após 2h

Nota: letras diferentes indicam médias estatisticamente distintas pelo teste Duncan ao nível de 5% de significância.

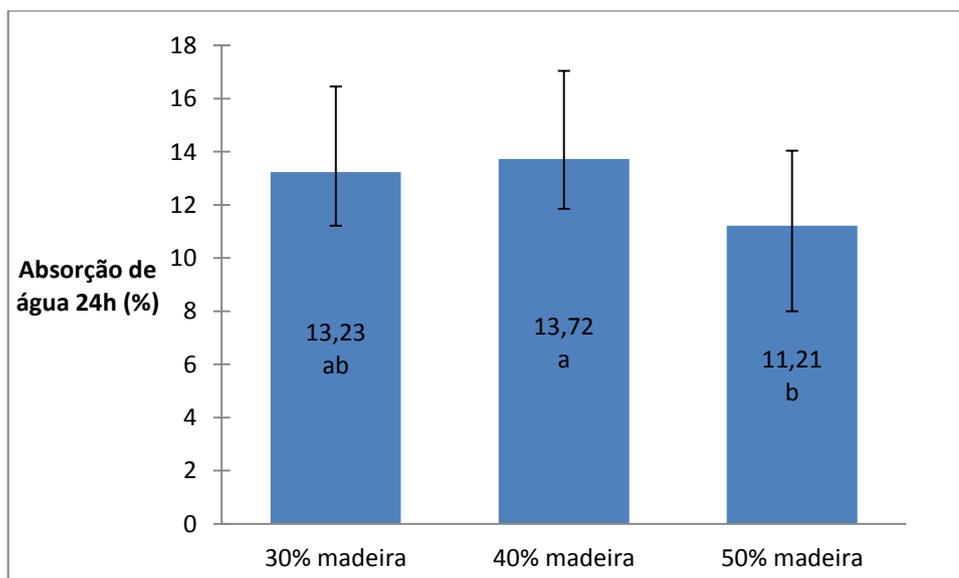


Figura 10: Valores médios observados para o ensaio de absorção de água após 24h

Nota: letras diferentes indicam médias estatisticamente distintas pelo teste Duncan ao nível de 5% de significância.

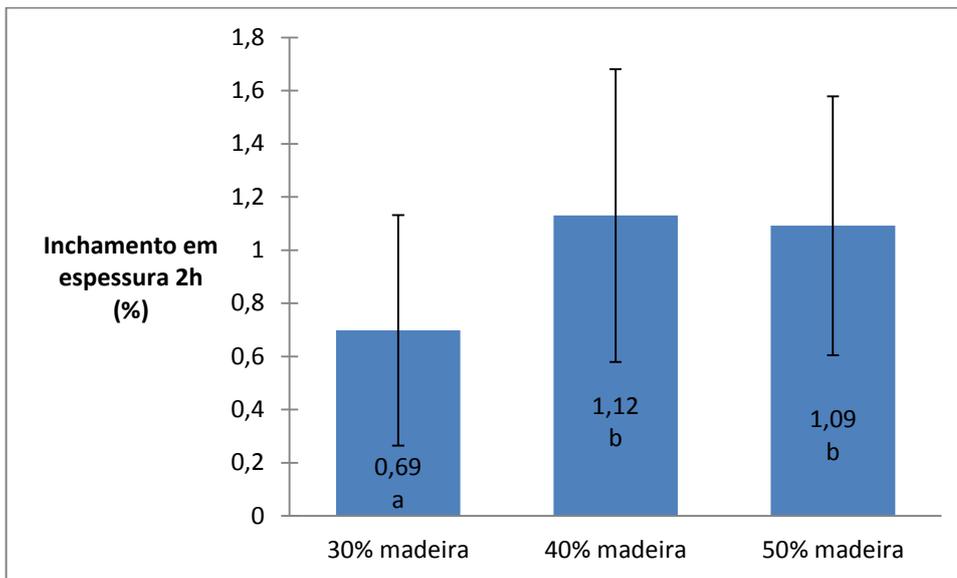


Figura 11: Valores médios observados para o ensaio de inchamento em espessura, após 2h.

Nota: letras diferentes indicam médias estatisticamente distintas pelo teste Duncan ao nível de 5% de significância.

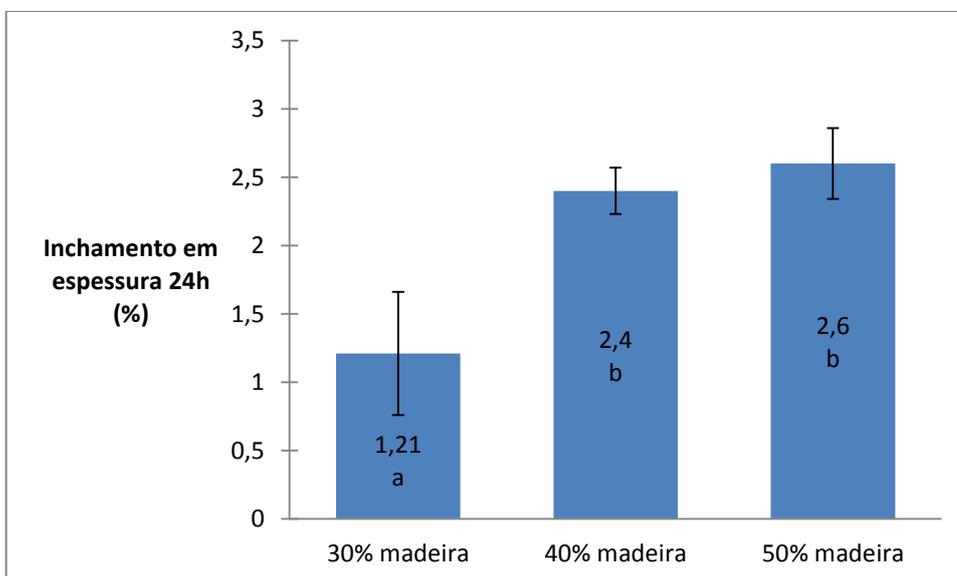


Figura 12: Valores médios estimados de inchamento em espessura após 24h (densidade média igual a  $0,64\text{g/cm}^3$ ).

Nota: letras diferentes indicam médias estatisticamente distintas pelo teste LSD ao nível de 5% de significância.

#### 5.4.2 Propriedades mecânicas

CORREA et al. (2003) afirmam que, normalmente, em compósitos termoplásticos de PP e farinha ou fibra de madeira, a adição de 20% em massa do reforço celulósico, produz um acréscimo de 30% no módulo em flexão do compósito. Os resultados produzidos pelos testes de flexão estática mostraram que quanto maior a quantidade de material celulósico, maiores valores de módulo de elasticidade e módulo de ruptura.

Em média, os valores de módulo de ruptura variaram de 5,28 a 13,10 MPa e os valores de módulo de elasticidade variaram de 451,76 a 2330,06 MPa (valores estimados para densidade igual a  $0,64\text{g/cm}^3$ ). Os melhores resultados correspondem aos painéis com maior proporção de madeira, havendo diferença significativa entre as proporções. Analisando de forma comparativa, de acordo com a norma ANSI A208, o mínimo exigido para aglomerados de média densidade é de 11 MPa para módulo de ruptura e de 1725 MPa para módulo de elasticidade. Os tratamentos com proporção de 50% madeira foram os únicos que atingiram os valores mínimos requeridos pela norma.

A grande quantidade de bolhas causadas na hora da prensagem foi um fator limitante para os painéis com 30% de madeira, junto a isso se acrescenta a resistência ganha pela adição das fibras de madeira, justificando a grande diferença entre os valores obtidos nas diferentes proporções. O resultado das médias pode ser analisado nas Figuras 13 e 14.

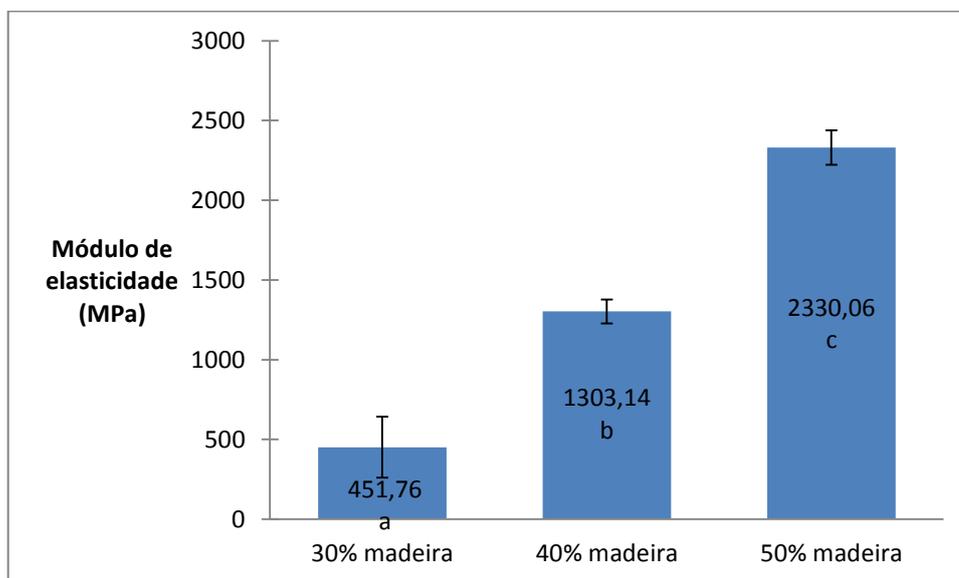


Figura 13: Valores médios estimados de módulo de elasticidade (densidade média igual a  $0,64\text{g/cm}^3$ ).

Nota: letras diferentes indicam médias estatisticamente distintas pelo teste LSD ao nível de 5% de significância.

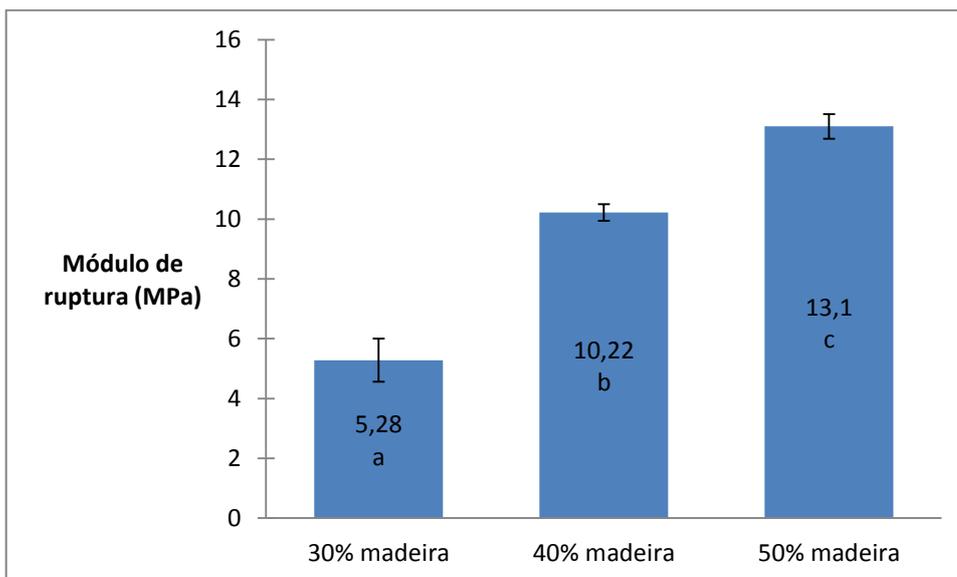


Figura 14: Valores médios estimados de módulo de ruptura ( $F_m$ ), em MPa (densidade média igual a  $0,64\text{g/cm}^3$ ).

Nota: letras diferentes indicam médias estatisticamente distintas pelo teste LSD ao nível de 5% de significância.

De acordo com a norma ASTM D1037 78-1993, para o teste de compressão, o material deve ser testado nas condições seca e úmida, isso possibilitou analisar a queda nas propriedades mecânicas quando o material entra em contato com a água. Os resultados mostraram que há uma queda na resistência a compressão na condição úmida, no entanto, na estatística descritiva, esse valor não é significativo a 5%.

Os valores obtidos para o ensaio com o material seco variaram de 6,14 MPa a 9,93 MPa e os valores para ensaiados com o material úmido variaram de 4,05 MPa a 9,40 MPa, sendo os melhores resultados para os tratamentos com 50% madeira.

SANTOS et al. (2011) trabalhando com painéis de resíduos de madeira, polietileno tereftalato (PET), parafina e adesivo ureia-formaldeído (12%), nas proporções de 25% e 50% de PET e na presença e ausência de 1% de emulsão de parafina, encontraram valores de 2,54 MPa a 5,39 MPa no ensaio de compressão, com os maiores valores para os tratamentos com menor adição do PET e presença de parafina. Valores inferiores aos encontrados nos CMP testados com PP. Os resultados das médias podem ser analisados nas figuras 15 e 16 abaixo.

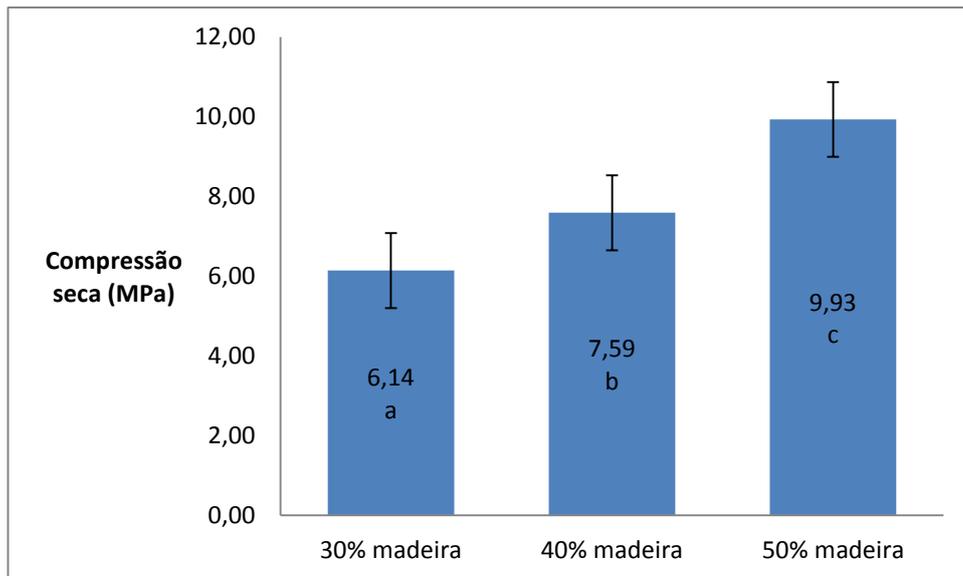


Figura 15: Resultado das médias estimadas para os valores de compressão na condição seca, em MPa (densidade igual a  $0,64\text{g/cm}^3$ ).

Nota: letras diferentes indicam médias estatisticamente distintas pelo teste LSD ao nível de 5% de significância.

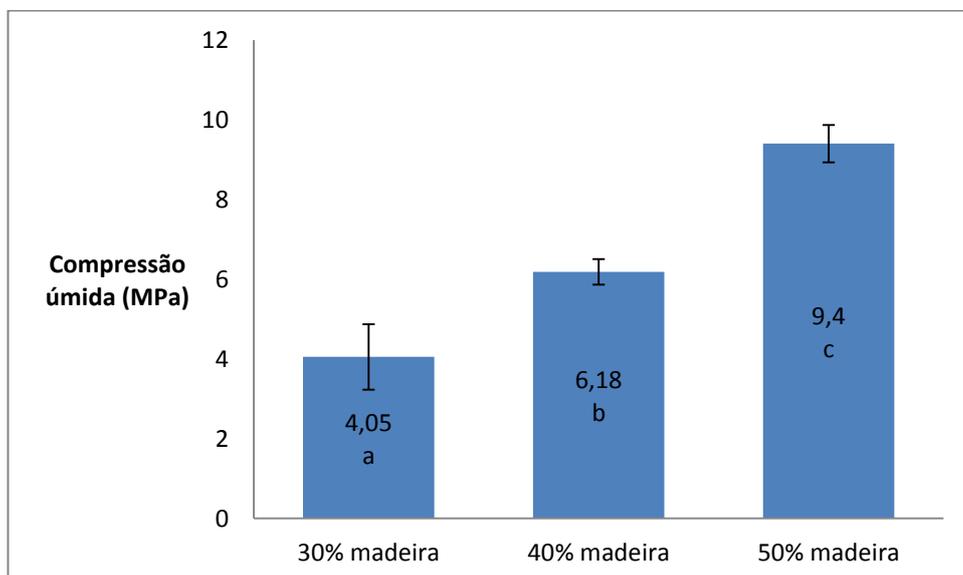


Figura 16: Resultado das médias estimadas para os valores de compressão na condição úmida, em MPa (densidade igual a  $0,64\text{g/cm}^3$ ).

Nota: letras diferentes indicam médias estatisticamente distintas pelo teste LSD ao nível de 5% de significância.

Os valores de dureza Janka variaram de 1089,46 N para a proporção 70% PP a 4314,29 N para a proporção de 50%PP. De acordo coma a norma ANSI A208, o valor mínimo exigido para aglomerados de média densidade é do 2225N. Nessas condições, as proporções 40% e 50% madeira se enquadram na norma.

O teste de dureza tem significativa importância quando se quer testar o material para o uso em pisos, neste caso, os valores superam o esperado pela norma, podendo ser indicados para tal finalidade. Os resultados das médias estimadas podem ser analisados na figura 17.

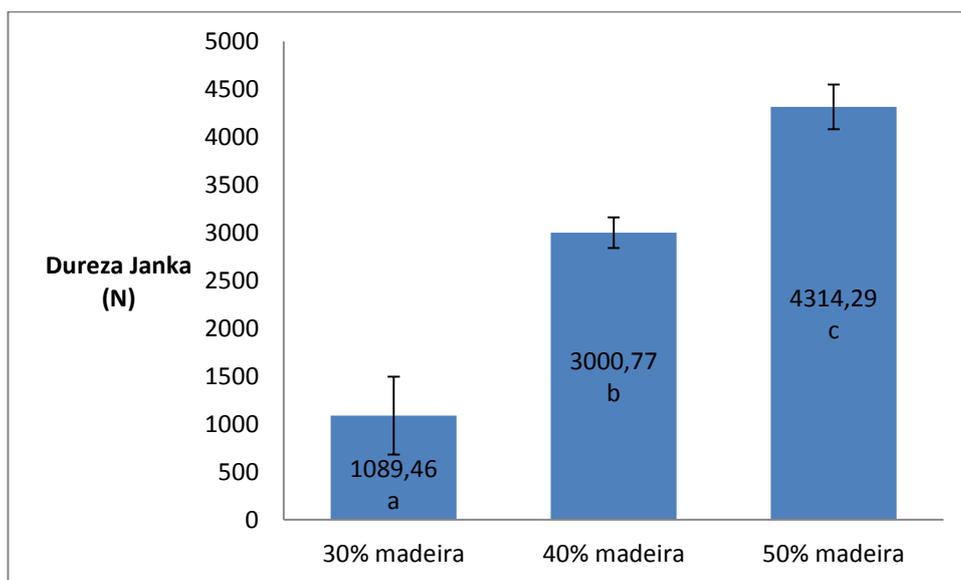


Figura 17: Resultado das médias para os valores de dureza janka, em N.

Nota: letras diferentes indicam médias estatisticamente distintas pelo teste LSD ao nível de 5% de significância.

Seguem, na Tabela 12, os modelos obtidos a partir de análise de regressão significativo a  $\alpha = 0,05$  para os valores médios estimados para densidade de  $0,64\text{g/cm}^3$  onde Y= variável dependente e x= proporção de madeira. Os modelos de regressão obtidos só reforçam a hipótese testada de que a madeira agiria como reforço estrutural para os painéis CMP. A presença de lignina e celulose é o principal fator que diferencia a madeira do plástico a tornando um material mais resistente. Os melhores modelos obtidos foram os de módulo de ruptura e módulo de elasticidade, com os maiores valores para  $R^2$  e F e os menores valores para erro padrão.

Tabela 12: Modelos de regressão obtidos para os valores médios estimados.

Propriedade	Modelo	R <sup>2</sup>	F	Erro Padrão
Em (MPa)	$Y = 87,34 \times e^{0,06x}$	0,90	417,68**	0,17
Fm (MPa)	$Y = -4,17 + 0,34x$	0,84	170,88**	1,13
Dureza janka (N)	$Y = -1392,54 + 107,26x$	0,67	63,23**	576,12
Compressão s. (MPa)	$Y = -1,59 + 0,23x$	0,66	62,71**	1,26
Compressão u. (MPa)	$Y = -2,41 + 0,22x$	0,64	55,79**	1,28
ie 24 h (%)	$Y = 0,103 + 0,051x$	0,24	10,21*	0,67
aa 24h (%)	$Y = 19,20 - 0,153x$	0,15	5,49*	2,77

Sendo  $y$  = variável dependente e  $x$  = proporção

Nota: \*\* Significativo a 1%, \* significativo a 5%.

### 5.5 Análise da metodologia aplicada na produção dos painéis CMP.

Durante a fabricação dos painéis observou-se algumas dificuldades relativas à metodologia desenvolvida, levando a uma redução na eficiência do processo e a produção de alguns defeitos no material final.

A primeira dificuldade foi manter a uniformidade dos painéis, visto que o colchão era confeccionado a mão. Alguns resíduos ficavam na betoneira e, no momento da retirada da caixa formadora, ocorria um pequeno desmanche no formato do colchão.

A granulometria das partículas de PP também é outro fator relevante, visto que partículas menores aumentariam a superfície de contato entre o plástico e a madeira, produzindo, possivelmente, um painel mais resistente e com menos espaços vazios.

Outro problema encontrado durante o processo foi a remoção da folha de alumínio dos painéis, isso reduzia a eficiência do processo e o próprio ato de retirar a folha causava danos ao painel.

O colchão tinha suporte de dois espaçadores de ferro, que impediam a expansão lateral dos painéis e, ao mesmo tempo, mantiam uniforme a espessura. No entanto essa estrutura não impedia que os painéis com maior proporção de plástico vazassem pelas laterais que não possuíam as hastes, causando perda do material.

Conforme o aumento da proporção de madeira, defeitos como a formação de bolha e vazamento do material na hora da prensagem foram reduzidos ou até mesmo eliminados.



Figura 18: Defeitos dos painéis CMP.



Figura 19: Alumínio no painel CMP

## 6 Conclusões

É possível a produção de CMP utilizando resíduos minimamente processados. Os melhores resultados obtidos nos ensaios mecânicos e físicos foram dos painéis produzidos com 50% madeira e 50% plástico. As diferenças entre o tipo de polipropileno utilizado não foram consideradas significativas pelos testes estatísticos aplicados. Os ensaios mecânicos mostram que o CMP 50/50 pode ser indicado para o uso comercial de pisos, acabamentos e móveis que não exijam muita resistência a flexão.

O desempenho do material, em contato com água, pode ser melhorado pela aplicação de algum tratamento impermeabilizante, amenizando os problemas causados pelas bolhas. De acordo com a norma ANSI A208, somente as proporções de 50/50 são aptas para uso comercial, pois atingem os valores requeridos pela norma. Em relação à metodologia de produção, o rendimento não é alto, visto que boa parte do processo é feito manualmente. O uso de uma extrusora iria aumentar significativamente a produtividade, podendo viabilizar o uso comercial do produto.

O uso do alumínio também não é indicado, pois reduz o rendimento do processo de produção e danifica o material, uma alternativa a ser testada é o uso de óleo mineral ou invés deste. O tamanho das partículas de termoplástico também influenciou na qualidade do painel, principalmente naqueles de maior proporção de polipropileno, sendo indicadas partículas de menor granulometria.

## 7 Referências Bibliográficas

ABGONA R.V; MANALO R.D; PEDROSA M.A; BARCELONA P.R; Properties of biocomposites from abaca fiber (*Musa textiles* Nee) and recycle polypropilene. BIOCOMP2012. 11th Pacific Rim Bio-based Composites Symporium.

CARASCHI J. C; LEÃO A.L; Avaliação das propriedades mecânicas dos plásticos reciclados provenientes de resíduos sólidos urbanos. Acta Scientiarum. Maringá, v. 24, n. 6, p. 1599-1602, 2002

CORREA C.A; FONSECA C.N.P; NEVES S; RAZZINO C.A; HAGE E. Compósitos Termoplásticos com Madeira. Polímeros: Ciência e Tecnologia, vol. 13, nº 3, p. 154-165, 2003

COUTINHO F.M.B; MELLO I.L; MARIA L.C.S. Polietileno: Principais Tipos, Propriedades e Aplicações. Polímeros: Ciência e Tecnologia, vol. 13, nº 1, p. 1-13, 2003

DIAS F.M; LAHR F.A.R; Estimativas de propriedades de resistência e rigidez da madeira através de densidade aparente. SCIENTIA FORESTALIS. n 65, p 102-113. Jun. 2004.

DUTRA R. D., BRETAS R. E. S; Efeito do tipo e da concentração de pigmento nas propriedades reológicas do polipropileno na presença de diferentes dispersantes. Anais do 10o Congresso Brasileiro de Polímeros – Foz do Iguaçu, PR – Outubro/2009.

DUTRA G; SOARES A.L; CARLETTO M.R; Eração e reaproveitamento de resíduos na indústria madeireira. UTFPR 2010

ENGLISH B.; CLEMONS C.M; STARK N.; SCHNIEDER J.P; Waste –wood derivad fillers for plastic. Gen. Tech Rept. FPT-GTR 91. USDAFS. Forest Products Laboratory. WI. Pg 282-291. 1996.

GALVÃO A.P.M; JANKOWSKY I.P; Secagem racional da madeira. Editora Nobel, São Paulo, 1985. Pg 31.

GUERRICA-ECHEVARRIA, G.; EGUIAZABAL, J.I.; NAZABAL, J. Influence of molding conditions and talc content on the properties of polypropylene composites. European Polymer Journal, 34 (8): 1213-1219, 1998.

KAMDEM, D.P.; JIANG, H.H.; CUI, W.N.; FREED, J.; MATUANA, L.M. Properties of wood plastic composites made of recycled HDPE and wood flour from CCA-treated wood

removed from service. Composites part A – Applied Science and Manufacturing, v.35, n.3, p.347-55, 2004.

KEENER, T.J.; STUART, R.K.; BROWN, T.K. Maleated coupling agents for natural fibre composites. Composites: Part A v. 35, p. 357-362, 2004

KLOCK U; BOLZON G.I; HERNANDEZ J.A; ANDRADE A.S; Química da Madeira (3ª edição revisada). UFPR Curitiba, 2005 .

KOENIG, K.M.; SYPKENS, C.W. Wood-plastic composites vie for market share. Wood and Wood Products, v.107, n.5, p.49-58, 2002.

MANO ,E. B. Polímeros como materiais de engenharia. São Paulo: Editora Edgard Blucher Ltda, 1991

MARINELLI A.L; MONTEIRO M.R; AMBRÓSIO J.D; BRANCIFORTI M.C; KOBAYASHI M; NOBRE A.D; Desenvolvimento de Compósitos Poliméricos com Fibras Vegetais Naturais da Biodiversidade: Uma Contribuição para a Sustentabilidade Amazônica. Polímeros: Ciência e Tecnologia, vol. 18, nº 2, p. 92-99, 2008.

MELO J.E; Estruturas de madeira. Universidade de Brasília/FAU/TEC, Laboratório de produtos florestais/IBAMA. Brasília, novembro de 2006. Pg 19.

MILAGRES E.G; VITAL B.R; DELLA R.M. PIMENTA L; PIMENTA A.S. Compósitos de partículas de madeira de Eucalyptus grandis, polipropileno e PEAD.R. Árvore, Viçosa-MG, v.30, n.3, p.463-470, 2006.

MONDARDO F.H; Compósitos de polipropileno e farinha de madeira. Programa de Pós-graduação em Química da UFRG, Porto Alegre, 2006.

PAULESKI D.T; Características de compostos manufaturados com polietileno de alta densidade(PEAD) e diferentes proporções de casca de arroz e partículas de madeira. Dissertação de Mestrado da UFSM. Santa Maria- RS, 2005.

REDIGHIERI K.I; COSTA D.A; Compósitos de Polietileno Reciclado e Partículas de Madeira de Reflorestamento Tratadas com Polietileno Modificado. Polímeros: Ciência e Tecnologia, vol. 18, nº 1, p. 5-11, 2008

REZENDE E; KAMEOKA F; OLIVEIRA J.A; Wood Plastic Composites (WPC). Escola Politécnica da USP. São Paulo 2009.

SANTOS R. C; MENDES L. M; CARNEIRO A. C. O; MORI F. A; CASTRO R. V. O; MENDES R. F. utilização de resíduos da madeira de candeia (*Eremanthus erythropappus* (DC.) macleish) na produção de painéis aglomerados com adição de PET. *Ciência Florestal*, Santa Maria, v. 21, n. 1, p. 149-158, jan.-mar., 2011.

SARON C.; FELISBERTI M. I.; Ação de colorantes na degradação e estabilização de polímeros. *Quim. Nova*, Vol. 29, No. 1, 124-128, 2006.

SPINACÉ M.A.S; PAOLI M.A; A tecnologia da reciclagem de polímeros. *Quim. Nova*, Vol. 28, No. 1, 65-72, 2005.

STRAPASSON R; Valorização do polipropileno através de sua mistura e reciclagem. Dissertação de pós-graduação em Engenharia Mecânica, Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2004.

STADLER K; BALBINOT R; SCHIRMER W.N; VANZETTO S.C; Análise do processo produtivo e geração de resíduos em uma indústria de painéis compensados. *ACTA AMBIENTAL CATARINENSE* v. 6. n.1 jan./jun./2009.

TEIXEIRA, D. E; MOREIRA, I.M.A; COSTA, A. F; Confecção de composto de madeira-plástico utilizando resíduos de *Eucalyptus grandis* Hill Ex Maiden e polietileno de baixa densidade (PEBD). *Revista Floresta e Ambiente, Seropédica*, V.9, n.1 , p. 72-80. Jan./dez. 2002.

YAMAJI F.M; BONDUELLE A; Utilização da serragem na produção de compósitos plástico madeira. *Revista Floresta* jan/abr 2004, pg 59-66. Curitiba-PR.

Site: <http://www.braskem-ri.com.br/show.aspx?idCanal=YlvXIS7BgoLxL7WvVwvP5A==>  
Acesso no dia 29/01/2013.

## 1. Apêndice

Tabela 13: Valores obtidos nos testes mecânicos e físicos usados para rodar a estatística descritiva.

trat	plastico	propor	dur.	dens.	Em(Mpa)	Fm(Mpa)	comp.s	comp.u	i2h	i22h	aa2h	aa22h
1	1	1	1921,2	0,489484	429,0901	5,679588	4,875828	6,8158	0,544135	1,435913	15,82822	15,88957
1	1	1	1889,55	0,594339	643,6351	7,041217	6,819672	5,521265	0,446879	0,807265	10,93474	13,22751
1	1	1	1646,26	0,45041	594,1247	5,957638	5,011966	4,485874	0,29051	0,855391	5,824647	17,41263
1	1	1	1748	0,604257	594,1247	4,816814	5,4953	5,30242	1,281403	1,989546	9,506619	14,80144
1	1	1	2357,92	0,395392	965,4527	5,650965	3,563876	3,484524	0,232847	0,651971	9,288991	12,84404
1	1	1	3019,04	0,489508	514,9081	5,593719	5,076039	4,206186	0,467727	0,823199	6,030769	12,49231
1	1	1	882,23	0,516304	482,7263	5,708211	4,350456	4,798225	-0,11331	0,437035	4,071856	15,1497
1	1	1	699,97	0,566959	514,9081	5,900393	5,822094	3,353727	0,643087	1,16771	3,13253	18,6747
2	1	2	3241,44	0,648937	1053,221	9,216552	5,172196	7,803801	1,302528	2,449992	6,684734	16,03433
2	1	2	3944,15	0,631612	1287,27	10,9421	6,911109	6,068402	1,57683	3,00885	8,109319	13,17204
2	1	2	3704,3	0,601878	1930,905	11,69038	6,629055	8,974403	1,184999	2,035411	10,27754	20,7719
2	1	2	3100,32	0,68521	1158,543	8,018482	9,375634	4,785765	0,651572	2,280502	4,592526	12,87708
2	1	2	2032,61	0,680891	1287,27	11,08113	8,3249	6,243683	1,550031	3,00798	5,477107	12,15233
2	1	2	3625,65	0,646843	1287,27	11,41233	8,230984	4,528641	0,41564	1,524015	9,840311	15,62365
2	1	2	3483,46	0,628693	1287,27	10,24289	6,674595	7,754141	-2,48407	-1,51986	2,632839	11,96745
2	1	2	2332,04	0,73432	1287,27	9,46598	8,990785	4,023242	1,377452	2,260817	6,824264	17,12756
3	1	3	3916,84	0,754339	1716,36	12,55316	11,26124	9,175656	2,923055	2,550509	4,401269	10,70579
3	1	3	4714,12	0,710463	2206,749	12,55316	11,78461	8,08813	0,938967	1,378161	7,34438	12,58397
3	1	3	3071,03	0,646538	2574,541	12,41413	10,21532	8,846725	1,347936	3,046897	7,292475	15,47711
3	1	3	3543,58	0,715827	2574,541	13,75123	9,550138	6,585375	1,483767	1,953871	7,142857	13,15126
3	1	3	4546,78	0,689459	2206,749	14,14377	11,10642	7,839162	1,351155	2,557025	5,507813	11,28906
3	1	3	4443,6	0,692521	1716,36	13,11335	9,623785	7,43361	1,501998	3,334711	8,999224	16,56323
3	1	3	3456,5	0,792609	2206,749	13,97612	10,65085	10,33727	1,349123	2,548344	7,557643	11,8275
3	1	3	4796,82	0,647966	2574,541	13,97612	9,265211	8,946314	1,719615	3,249781	5,706305	12,2506
4	2	1	3226,36	0,49316	643,6351	5,679588	6,8158	3,983008	0,670042	1,354973	7,264472	8,569807
4	2	1	1611,11	0,559071	702,1474	7,041217	5,521265	4,853229	0,956599	9,512843	5,797101	10,2029
4	2	1	1526,09	0,544073	702,1474	5,957638	4,485874	4,82172	1,580778	2,323743	6,588921	13,41108
4	2	1	1532,26	0,480391	772,3622	4,816814	5,30242	5,540858	-0,40643	0,212052	4,756312	11,33294
4	2	1	2334,96	0,515043	643,6351	5,650965	3,484524	4,679173	-0,88374	1,386561	5,177112	10,79019
4	2	1	1916,17	0,482936	772,3622	7,098463	4,206186	6,295789	0,948826	2,255405	5,291005	9,406232
4	2	1	1815,53	0,519751	772,3622	6,849035	4,798225	4,63096	1,379415	2,228286	6,718656	13,91722
4	2	1	2114,6	0,528852	551,6873	4,285247	3,353727	4,889152	0,476124	0,854222	4,790065	9,75754
5	2	2	2907,97	0,694848	1287,27	8,991658	7,803801	4,961736	0,994951	1,856252	3,269145	7,433945
5	2	2	3639,19	0,587354	1287,27	10,32875	6,068402	7,253149	1,480764	2,574038	7,162285	15,59383
5	2	2	2666,61	0,638149	1448,179	9,854432	8,974403	6,828781	1,834021	3,469357	5,913739	9,737661
5	2	2	3084,44	0,674614	1158,543	9,715407	4,785765	6,374284	0,686642	2,028714	4,796711	9,867519
5	2	2	2248,75	0,615702	1287,27	9,883055	6,243683	7,993444	1,851009	3,064785	8,644973	15,39582
5	2	2	2086,61	0,663735	1448,179	10,66405	4,528641	5,571871	0,540925	1,765125	7,262823	12,84612
5	2	2	2956,89	0,712558	1655,062	11,10566	7,754141	4,90948	1,475015	2,724262	6,635294	12,37647
5	2	2	2772,82	0,667296	1053,221	9,715407	4,023242	5,914959	0,026846	1,167785	9,424327	14,85608
6	2	3	3903,61	0,801489	2206,749	10,9421	9,175656	9,808383	1,58219	3,206385	5,614035	10,21442

6	2	3	4180,78	0,689991	2206,749	13,6122	8,08813	9,91074	1,167603	2,793379	3,753457	8,336626
6	2	3	4310,67	0,719031	3089,449	14,19693	8,846725	10,49693	0,336984	1,446223	4,74696	8,709298
6	2	3	4049	0,68108	2574,541	16,20052	6,585375	8,842109	0,921538	2,119537	9,436179	17,73688
6	2	3	3663,81	0,70201	1930,905	12,41413	7,839162	8,811907	0,678896	1,63224	3,724469	8,04966
6	2	3	3770,6	0,696668	1930,905	10,63543	7,43361	9,875777	0,775946	2,203131	8,02139	12,79309
6	2	3	5026,34	0,739907	3861,811	12,11155	10,33727	9,588908	0,513859	1,89972	3,451178	7,744108
6	2	3	3924,14	0,762498	1930,905	11,46958	8,946314	10,04145	0,380068	1,998874	3,669725	9,413642

Tabela 14: resultado do teste ANOVA para as diferentes proporções.

ANOVA						
Variáveis Dependentes		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Dureza Janka	Contrast	11791566,806	2	5895783,403	17,874	0,000
	Error	8576169,854	26	329852,687		
Compressão seca	Contrast	27,521	2	13,760	7,729	0,002
	Error	46,291	26	1,780		
Compressão úmida	Contrast	52,402	2	26,201	19,302	0,000
	Error	35,293	26	1,357		
Inchamento em espessura 2h	Contrast	,220	2	,110	,459	0,637
	Error	6,244	26	,240		
Inchamento em espessura 24h	Contrast	2,167	2	1,084	2,627	0,091
	Error	10,724	26	,412		
Absorção 2h	Contrast	4,907	2	2,454	,407	0,670
	Error	156,864	26	6,033		
Absorção 24h	Contrast	11,912	2	5,956	1,030	0,371
	Error	150,302	26	5,781		
Módulo de elasticidade	Contrast	5556854,547	2	2778427,273	38,494	0,000
	Error	1876645,413	26	72178,670		
Módulo de Ruptura	Contrast	65,183	2	32,591	30,896	0,000
	Error	27,427	26	1,055		

Tabela 15: resultado do teste ANOVA para os diferentes tipos de plástico.

ANOVA						
Variáveis Dependentes		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Dureza Janka	Contrast	46,351	1	46,351	0,000	0,991
	Error	8576169,854	26	329852,687		
Compressão seca	Contrast	,231	1	0,231	0,130	0,722
	Error	46,291	26	1,780		
Compressão úmida	Contrast	6,626	1	6,626	4,881	,036
	Error	35,293	26	1,357		
Inchamento em espessura 2h	Contrast	5,192E-5	1	5,192E-5	0,000	0,988
	Error	6,244	26	0,240		
Inchamento em espessura 24h	Contrast	,019	1	0,019	0,045	0,834
	Error	10,724	26	0,412		
Absorção 2h	Contrast	9,816	1	9,816	1,627	0,213
	Error	156,864	26	6,033		
Absorção 24h	Contrast	71,021	1	71,021	12,285	0,002
	Error	150,302	26	5,781		
Módulo de elasticidade	Contrast	46668,899	1	46668,899	0,647	0,429
	Error	1876645,413	26	72178,670		
Módulo de Ruptura	Contrast	0,754	1	0,754	0,715	0,406
	Error	27,427	26	1,055		